

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO ACADÊMICO EM ENSINO DE FÍSICA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**O ENSINO DE CONCEITOS DO
ELETROMAGNETISMO, ÓPTICA, ONDAS E FÍSICA
MODERNA E CONTEMPORÂNEA ATRAVÉS DE
SITUAÇÕES NA MEDICINA.**

MARA FERNANDA PARISOTO



**PORTO ALEGRE
2011**



Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Instituto de Física
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física
Mestrado Acadêmico em Ensino de Física



**O ENSINO DE CONCEITOS DO
ELETROMAGNETISMO, ÓPTICA, ONDAS E FÍSICA
MODERNA E CONTEMPORÂNEA ATRAVÉS DE
SITUAÇÕES NA MEDICINA.**

Mara Fernanda Parisoto

Dissertação¹ de Mestrado, realizada sob a orientação do Prof. Dr. Marco Antonio Moreira, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Porto Alegre
2011

¹ Trabalho financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

AGRADECIMENTOS

Ao professor Marco Antonio Moreira, meu orientador, pelos seus ensinamentos e, principalmente, pela sua enorme paciência com meus erros.

Ao professor José Tullio Moro, meu consultor, principalmente pelos seus ensinamentos, críticas, dedicação, leitura e correções dos materiais. Pelos sábados de manhã que passou assistindo e criticando a primeira aplicação do curso, melhorando-o conseqüentemente.

A todos os professores (as) que passaram na minha vida e que me ensinaram muito do que sei. Principalmente ao professor Itacir que me estimulou a fazer Licenciatura em Física; aos professores (as) Nobrega, Neila, Paulo, Alex, Daniel que me ensinaram muito do que aprendi na faculdade; aos professores (as) Eliane, Lang, Gay, Ziebell e Alba pelos conhecimentos nas disciplinas cursadas durante o Mestrado.

À pesquisadora Teca pelas frutíferas discussões e pelas manhãs dos sábados em que foi assistir a primeira aplicação do curso, fornecendo importantes sugestões. Também devo a ela a organização, junto com o professor Tullio, da primeira aplicação do curso.

Ao professor Mauro pela paciência com que me atendeu várias vezes, me explicando partes importantes do funcionamento de aparelhos eletrônicos.

Aos bolsistas do Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência (PIBID) e aos bolsistas do Serviço de Proteção Radiológica (SPR) que participaram da primeira aplicação do curso.

Aos professores de Física, do Estado de Santa Catarina, que participaram da segunda aplicação do curso.

A Salete e equipe que organizaram o curso na cidade de Chapecó, para os professores de Física do estado de Santa Catarina.

Ao professor Nobrega, que organizou o curso na UNOCHAPECÓ, com bastante dedicação e empenho.

Aos alunos de Licenciatura em Física da UNOCHAPECÓ que participaram da terceira aplicação do curso.

A Vera que ajudou, com muita paciência, a organizar o curso para os professores do estado do Rio Grande do Sul.

Aos alunos da quarta aplicação do curso, pelas trocas de ideias e conhecimentos.

Enfim, a todos os alunos e pessoas que me auxiliaram na implementação das quatro aplicações do curso, principalmente, pelas trocas de ideias e, por muitas vezes, apontado caminhos melhores para ensinar.

A CAPES pela bolsa de estudos.

A UFRGS, pela infraestrutura e por ter proporcionado que fizesse o Mestrado.

A Roberta, por ser essa amiga, sempre presente, preocupada, esforçada, alegre, amiga dos animais e das pessoas a quem que não mede esforços para ajudar.

Ao Nathan, um grande amigo que, muitas vezes, abriu mão de suas coisas para poder me ajudar. Graças a ele e ao Glauco pude conhecer mais de Porto Alegre e, dessa forma, não

me sentir tão sozinha, longe da família e num ambiente, frequentemente, pouco acolhedor. Com ele também aprendi a não dar valor para coisas supérfluas, o valor da simplicidade, a fazer a nossa parte no mundo, a criticar os outros menos e a nos avaliar mais. Através do Nathan e da Roberta conheci muitas pessoas, muitas das quais pensam muito diferente de mim, o que me ajudou a “abrir” mais minha cabeça, a fazer mais planos. Conheci através deles o Couch Surfing e, com isso, muitas pessoas legais e acolhedoras.

A Thais, pelos momentos de descontração, de “jogar conversa fora”. Pelos aniversários organizados, nunca deixando que passassem em branco. As críticas duras e as sugestões que me ajudaram a aprender a escrever melhor.

Ao Everton, pela amizade e pelas bibliografias sugeridas para redigir o material de apoio.

Ao Leonardo, sempre alegre, amigo, companheiro de congressos e descontrações. Nunca me deixando esquecer o que precisava fazer.

A Eliane, pelas ajudas nas minhas dificuldades, por lembrar de mim em momentos importantes.

A Cappelletto, pela ajuda com a estatística, por nos levar para conhecer a cidade de Rio Grande e pelas conversas sempre animadas.

A Maria Cecília, pelo seu jeito de mãe, sempre muito humana, lembrando de mim nos momentos em que mais precisei, fazendo sugestões importantes para o meu trabalho.

Ao Mozart, pelos momentos de descontrações, pelas jantãs, pelas conversas, pelas ajudas nos exercícios de Física.

Ao Elias, Ricieri, Diomar e Jorge. Amigos que entraram a pouco no curso, mas já me encantaram pelo seu jeito alegre, humano, companheiro e autêntico de ser.

A Josi, pelas conversas e por se preocupar em achar um lugarzinho na sua casa para passarmos as festividades de final de ano.

Ao Glauco, pelas conversas sinceras, pela ajuda nas matérias de Física, pela sua paixão contagiante pelo Ensino da Física, pela sua constante confiança em que eu conseguiria, quando, às vezes, nem eu acreditava mais, e com isto me deu forças para continuar. Foram motivações como as dele que me levaram a passar por esta etapa, para mim tão difícil, pois precisei superar muitas dificuldades, como a distância e a saudade. Agradeço imensamente aos seus conselhos, mesmo que, sabendo tanto, sempre foi humilde, nunca julgando mal alguém com dificuldades em aprender, característica essa de um bom professor, de uma boa pessoa. Agradeço também sua confiança em mim, sua paciência, sua autenticidade, e por deixar, às vezes, de fazer as suas coisas para me ajudar, para me ouvir, para me aconselhar. Também o admiro por falar as coisas que pensa, por não falar mal, por não julgar.

Agradeço ao Pedro pelos doces deliciosos, por conhecer a arte de repartir e de dar sem pedir nada em troca, pelo empréstimo do telefone, pelas conversas, pela paciência, pelos filmes e pelas pipocas comidas juntos, pela companhia. Também agradeço por ficar em meu lugar quando não pude mais dar aulas no cursinho, pois não fosse isso, seria impossível a conclusão da Dissertação no prazo. Também agradeço pelos momentos de estudo.

Agradeço a Julia pela companhia, pelas refeições feitas juntas. A recepção calorosa, a amizade, a companhia, aos momentos de estudo e de descontração, aos churrascos e almoços em conjunto que tive com os meus amigos e antigos vizinhos, Dinalva e Marcelo que me receberam carinhosamente quando me mudei para Porto Alegre.

Aos meus parentes, que ficaram torcendo por mim. Em especial minhas tias Luci Marlene, meu tio Renato, minhas primas Nadia, Elisa, Adriana, Iriane e a minha nona Cleme!

A Adriana por ter conseguido um lugar para eu morar quando vim para Porto Alegre e por ter dado a ideia do assunto para a pesquisa.

Ao meu namorado, por ser essa pessoa maravilhosa, sempre pronto a ouvir minhas angústias, minhas tristezas, minhas alegrias. Sempre com muita paciência nos vários

momentos em que não pude lhe dar a devida atenção. Agradeço ainda sua dedicação, as discussões feitas durante horas, as leituras e sugestões muito úteis referentes à Dissertação, discussões essas que me permitiram ver pontos que sozinha não teria percebido. Agradeço, ainda, por sempre estar ao meu lado, pelo companheirismo que nunca lhe faltou, pelas conversas, pelos momentos de estudo e descontração, pela preocupação que tem comigo, para com as outras pessoas e para com os animais.

A Nair, Dirceu, Douglas, Marciano, minha família. Pessoas maravilhosas que, mesmo distantes, sempre acreditaram em mim, me apoiaram, dando sempre uma palavra de conforto que me ajudou a continuar. Nunca conseguirei expressar em palavras o quanto sou grata a estas pessoas por tudo que fizeram e fazem por mim, pelo companheirismo, apoio e amor incondicional.

Também sou muito grata a Deus por ter me auxiliado a superar minhas dificuldades e por ter me enviado esses vários anjos que tenho na minha vida. Também sou grata por me mandar as dificuldades, para me tornar mais forte e saber melhor com quem posso contar.

Enfim, há muitas pessoas que foram fundamentais para meu trabalho, algumas aqui não citadas, mas também imensamente importantes, seja para aprender com elas como para me manter bem. Dessa forma, agradeço a todos aqueles que, de uma forma ou de outra, colaboraram com a conclusão deste trabalho.

Obrigada.

RESUMO

O ensino de Física, geralmente, está desvinculado não apenas de outras disciplinas, mas também, de qualquer contexto que lhe possa dar significado. No entanto, segue diretrizes estaduais e nacionais que apontam para necessidade de interdisciplinaridade e contextualização. Assim, enfatiza-se a importância da utilização de várias estratégias para atingir alunos que aprendem de diversas maneiras: cinestésica, visual e auditiva. Sob essa perspectiva, o presente trabalho tem por objetivo principal, a partir do desenvolvimento de vários recursos didáticos, promover a aprendizagem significativa nos alunos. Para tanto, utilizaram-se várias ferramentas, tais como texto de apoio, atividades experimentais, novas tecnologias, mapas conceituais, diagramas *V de Gowin* e situações-problemas. Tais ferramentas foram utilizadas em cursos para professores, futuros professores de Física do Ensino Médio e, também, para pessoas que utilizam radiações ionizantes para tecidos biológicos em seu trabalho, usando, para tal, conceitos de Eletromagnetismo, Óptica e Física Moderna e Contemporânea na área de Física aplicada à Medicina. Através de análise qualitativa e quantitativa, verificamos se tais recursos tiveram algum impacto positivo, no sentido de perceber se houve indícios de aprendizagem significativa junto aos alunos do curso. Para alcançar os objetivos propostos, na metodologia, foram seguidas as seguintes etapas: 1º) extensa revisão bibliográfica em periódicos CAPES A1, A2 e B1 de 2000 a 2009; 2º) estudo de materiais alternativos para a confecção dos recursos a serem utilizados ao longo do curso; 3º) elaboração de sugestões de atividades educacionais; 4º) organização de entrevistas semiestruturadas, pré-testes e pós-testes; 5º) aplicação do curso, 6º) aplicação das entrevistas, dos pré-testes e pós-testes; 7º) análise dos dados, 8º) melhoria do curso; 9º) reaplicação do curso, 10º) reaplicação das entrevistas, dos pré-testes e pós-testes e 11º) análise dos dados para verificar presença de indícios de aprendizagem significativa; 12º) comparação entre os grupos estudados para buscar indícios de qual seria a melhor forma de ensinar tais conteúdos. Em todas as etapas, foram utilizadas a Teoria de Aprendizagem Significativa de Ausubel (2002), a Teoria de Aprendizagem Significativa Crítica de Moreira (2005) e a Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud (1990). No texto de apoio e na análise de dados, além das teorias de aprendizagem mencionadas, também serviu de referencial teórico a epistemologia de Toulmin (1977). O curso foi aplicado em quatro oportunidades distintas. Dentre outros aspectos a pesquisa permite sugerir: o ensino de Física aplicado na Medicina constitui, ainda, uma área pouco investigada; poucas propostas didáticas têm sido implementadas e avaliadas; os conhecimentos prévios são pouco investigados na Física aplicada à Medicina; o fator tempo parece ser relevante na aprendizagem; é fundamental oferecer *feedback* aos alunos, em relação a seus erros e acertos; as metodologias diferenciadas facilitam o surgimento de indícios de aprendizagem significativa; o uso de simulações computacionais, juntamente com atividades experimentais facilita a aprendizagem significativa; mostra-se importante a existência de questões orientadoras para o desenvolvimento das simulações computacionais; o professor precisa explicar o conteúdo antes de realizar as leituras orientadas e os estudos em grupo; quanto mais detalhado é o material, maiores são os indícios de aprendizagem significativa.

Palavras-chave: Ensino de Física, Física aplicada à Medicina, Aprendizagem Significativa.

ABSTRACT

The teaching of physics is, in general, not only disconnected from the teaching of other disciplines but also from any context that could make it meaningful. However, it complies with state and national guidelines that point to the need of being interdisciplinary and contextualized. Thus, we emphasize here the importance of using multiple strategies to reach all of the students with their different ways of learning: kinesthetically, visually and audibly. In this perspective, this research aims, mainly from the construction of many teaching resources, at promoting students' meaningful learning. With this purpose, we used several tools, such as a supporting text, experimental activities, new technologies, concept maps, Gowin's V diagrams, and problem-situations. Such tools were used in courses for teachers, future teachers, and for people who use ionizing radiation for biological tissues at their work, using concepts of Electromagnetism, Optics, Modern and Contemporary Physics, in the area of Physics Applied to Medicine. Through qualitative and quantitative analysis, we analyzed whether there was any evidence of meaningful learning among the participants of the courses. To achieve the proposed objectives, in our research methodology, we proceeded in accordance to the following steps: 1) an extensive literature review in periodicals CAPES A1, A2 and B1, from 2000 to 2009; 2) the study of alternative materials for the development of materials to be used in the course; 3) the suggestions of educational activities; 4) organization of interviews, pre-tests and post-tests; 5) application of the course; 6) application of the interviews, pre-tests and post-tests; 7) data analysis; 8) course improvement; 9) re-application of the course; 10) re-application of the interviews, pre-tests and post-tests; 11) data analysis to look for evidence of meaningful learning; 12) comparison between groups to seek any evidence for what could be the best way to teach such content. At all stages of the experiment, we used the theory of Meaningful Learning of Ausubel (2002), the theory of Critical Meaningful Learning of Moreira (2005), the theory of Conceptual Fields of Vergnaud (1990). In the supporting text and data analysis, we also used Toulmin's epistemology (1977). The course was applied in four different moments. Research findings, among other things, suggest that: the teaching of physics applied to medicine is an area that has been scarcely researched; only a few didactic proposals have been implemented and evaluated; alternative conceptions have been poorly investigated in Physics Applied to Medicine; time seems to be an important element in learning; it has been essential to offer students some feedback related to their mistakes and successes; the use of different methodologies might facilitate the emergence of evidence for meaningful learning; the use of computer simulations, along with some experiments might facilitate meaningful learning; it seems to be relevant to have guiding questions when using computer simulations; the teacher should explain the content before making any guided readings and group studies; the more detailed the material, the more evidences we might have for meaningful learning.

Keywords: Physics Teaching, Physics Applied to Medicine, Meaningful Learning.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	22
1.1. Problema.....	22
1.2 Objetivo.....	23
1.2.1 Objetivo Geral.....	23
1.2.2 Objetivos específicos.....	23
1.3. Justificativa.....	24
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	26
2.1. Metodologia.....	28
2.2. Resultados.....	28
2.2.1 Conhecimentos prévios dos estudantes relacionados a Física aplicada à Medicina.....	29
2.2.2 Trabalhos com críticas aos cursos introdutórios de Física aplicada à Medicina.....	31
2.2.3 Estudos contendo propostas de novas estratégias didáticas.....	32
2.2.4 Divulgação científica.....	36
3. MARCO TEÓRICO E EPISTEMOLÓGICO.....	40
3.1 Marco Teórico.....	40
3.1.1 O Ensino de Física.....	40
3.1.2 Perspectivas para o Ensino da Física.....	41
3.1.3 Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) de Ausubel.....	42
3.1.4 A Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica (TASC).....	44
3.1.5 A Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud.....	45
3.1.5.1 Campos conceituais.....	47
3.1.5.2 Conceitos de Piaget utilizados por Vergnaud.....	48
3.1.5.3 Conceitos.....	49
3.1.5.4 Invariantes operatórios.....	50
3.1.5.5 Semelhanças com a epistemologia de Toulmin.....	50
3.1.5.6 Semelhanças com a teoria de Ausubel.....	51
3.1.5.7 Papel da linguagem.....	52
3.1.5.8 Papel do professor.....	52
3.2. Marco Epistemológico.....	53
3.2.1 O uso coletivo e a evolução dos conceitos segundo Toulmin.....	53
4. METODOLOGIA.....	56
4.1. Metodologia de Pesquisa.....	56
4.1.1 Pesquisa Qualitativa.....	56
4.1.1.1 Estudos do tipo etnográfico.....	57
4.1.2 Pesquisa Quantitativa.....	58
4.1.2.1 Validade e Fidedignidade.....	58
4.1.3 Delineamento de pesquisa.....	59
4.1.4 Triangulação de Dados.....	59

4.2. O fenômeno estudado e a contextualização dos grupos	60
4.3. Etapas da pesquisa	61
4.4. Metodologia das aulas	61
4.5. Coleta de dados.....	67
4.6. Validação e cálculo da fidedignidade dos instrumentos	67
4.7. Análise dos dados	69
5. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	70
5. 1. Experiência Piloto	70
5. 1.1 Descrição das aulas e do diário de bordo	70
5.1.2 Análise do questionário qualitativo	77
5.1.3 Análise dos mapas conceituais	80
5.1.3.1 Cmap Tools.....	81
5.1.3.2. Formas de analisar os mapas conceituais	82
5.1.3.3. Análise dos mapas na primeira aplicação	83
5.1.4 Análise conhecimentos prévios	90
5.1.5 Análise pré e pós-teste	93
5.1.6 Análise das questões	96
5.1.7 Análise da avaliação do curso.....	99
5.1.8 Mudanças necessárias para a próxima etapa	101
5.2. Aplicação para professores de Física da rede estadual de Ensino de Santa Catarina.....	102
5.2.1 Descrição das aulas e diário de bordo	102
5.2.2. Análise conhecimentos prévios	105
5.2.3 Análise V de Gowin.....	110
5.2.4 Análise dos mapas conceituais	113
5.2.5 Análises das situações-problema	123
5.2.6 Análise comparativa entre pré e pós-teste	128
5.2.7 Análise da avaliação do curso.....	131
5.2.8 Análise das aulas observadas no Ensino Médio	136
5.2.8.1 Oficina: interação da radiação com a matéria, produção de radiação e aparelho de Ultrassonografia	136
5.2.8.2 Avaliação para verificar indícios de ocorrência de aprendizagem significativa.....	139
5.2.9 Mudanças necessárias para a próxima etapa	146
5.3. Aplicação para alunos da Licenciatura em Física.....	146
5.3.1 Descrição das aulas e diário de bordo	146
5.3.2 Análise dos conhecimentos prévios.....	149
5.3.3 Análise V de Gowin.....	155
5.3.4 Análise mapas conceituais	158
5.3.5 Análise das situações-problema.....	177
5.3.6 Análise do pré e pós-teste	184
5.3.7 Análise da avaliação do curso.....	190
5.3.8 Mudanças necessárias para a próxima etapa	194
5.4. Aplicação para alunos da Licenciatura em Física e professores do Ensino Médio do Rio Grande do Sul.....	194
5.4.1 Descrições das aulas e diário de bordo.....	194
5.4.2 Análise conhecimentos prévios	208
5.4.3 Questionário qualitativo	214
5.4.4 Análise V de Gowin.....	227
5.4.5 Análise mapas conceituais	230
5.4.6 Análise situações-problema	250
5.4.7 Análise do pré e pós-teste	259

5.4.8 Entrevistas	263
5.4.8.1 Entrevista com a aluna Janaína.....	264
5.4.8.2 Entrevista com aluna Morgana.....	266
5.4.8.3 Entrevista com aluno Marcelo.....	268
5.4.8.4 Entrevista com aluna Marta.....	269
5.4.9 Análise da avaliação do curso.....	271
5.4.10 Mudanças necessárias.....	274
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	275
REFERÊNCIAS	285
APÊNDICES	294
APÊNDICE A- Questões qualitativas primeira aula experiência piloto	295
APÊNDICE B- Questionário conhecimentos prévios experiência piloto	296
APÊNDICE C- Pré e pós-teste experiência piloto	299
APÊNDICE D – Questionário qualitativo aplicado nos cursos	302
APÊNDICE E - Questionário conhecimentos prévios aplicado nos cursos.....	303
APÊNDICE F- Pré e pós-teste aplicado nos cursos	306
APÊNDICE G- Análise das aulas.....	308
APÊNDICE H - Autorização dos alunos.....	310
APÊNDICE I - Roteiro Entrevista quarta aplicação: aluno Marcelo	311
APÊNDICE J - Roteiro Entrevista quarta aplicação: aluna Morgana.....	312
APÊNDICE K - Roteiro Entrevista quarta aplicação: aluna Janaína.....	313
APÊNDICE L - Roteiro Entrevista quarta aplicação: aluna Marta	314
APÊNDICE M - Material de apoio	315
M.1. Aulas 1 e 2.....	316
M.1.1 Esquema de trabalho	316
M.1.2 Atividade 1. Apresentação em projetor multimídia e complementação dos desenhos abaixo	318
M.1.3 Texto de apoio	325
M.1.3.1 Ultrassonografia	325
M.1.3.1.1 Propriedades do ultrassom	325
M.1.3.1.2. Aparelho de ultrassom.....	326
M.1.3.1.3 Imagens do ultrassom	327
M.1.3.1.4 Vantagens e desvantagens dos exames que funcionam a partir do ultrassom.....	332
M.1.3.2 Radiação Característica.....	332
M.1.3.3 A radiação característica no equipamento de Raios-X.....	333
M.1.3.4 Raios-X Freamento (Bremsstrahlung)	334
M.1.3.5 Radioatividade	334
M.1.3.6 Núcleo Atômico	334
M. 1.3.7 “Tipos” de Radiação Nuclear.....	334
M.1.3.7.1 Partículas alfa (α).....	334
M. 1.3.7.2 Partículas beta (β^- , β^+)	334
M. 1.3.7.3 Radiação gama (γ).....	335
M. 1.4 Atividade 2: Atividades Experimentais.....	335
M.1.4.1 “Mola Maluca” e corda.....	336
M.1.4.2 Cor dos objetos	339
M.1.4.3 Telefone.....	340
M.1.4.4 Temperatura dos corpos	341
M.1.5 Atividade 3: colagem espectro eletromagnético.	343

M.1.6 Atividade 4: exercícios.....	344
M.2 Aulas 3 e 4.....	346
M.2.1 Esquema de trabalho	346
M.2.2 Atividade 1. Apresentação data- show e complementação desenhos abaixo:.....	348
M.2.3 Atividade 2. Estudo em grupo	352
M.2.3.1 Grupo 1: Efeito Fotoelétrico	352
M.2.3.1.1 Fóton X Quantum	356
M.2.3.2. Grupo 2: Efeito Compton.....	356
M.2.3.3 Grupo 3: Produção de Pares.....	358
M.2.3.3.1 Aniquilação de pares	359
M.2.3.4. Grupo 4: Escala do Tempo do Dano da Radiação.....	359
M.2.3.5. Grupo 5: Unidades de Medidas das Radiações e suas Relações.....	360
M.2.3.5.1 Absorção da radiação	362
M.2.3.6. Grupo 6: exposição natural	363
M.2.3.6.1 Exposição natural.....	363
M.2.3.6.2 Legislação	363
M.2.3.6.3 Radiações	364
M.2.3.7 Grupo 7: Efeitos Biológicos das Radiações Ionizantes	366
M.2.3.7.1 Efeitos da radiação ionizante nos seres humanos	367
M.2.3.7.2. Propriedades dos sistemas biológicos.....	368
M.2.3.7.3. Sistema de Proteção Radiológica.....	368
M.2.3.8 Grupo 8: O Equipamento de Raios-X Convencional e da Mamografia	368
M.2.3.8.1 O Equipamento de Raios-X	368
M.2.3.8.1.1 Geradores de Raios-X.....	370
M.2.3.8.2 Mamografia.....	371
M.3.Aulas 5 e 6	376
M.3.1 Esquema de trabalho	376
M.3.2: parte expositiva-dialogada	377
M.3.3 Atividade 1. Estudo em grupo.....	377
M.3.3.1 Grupo 1: Fluoroscopia, Fluoroscopia Digital	378
M.3.3.1.1. Sinal analógico e digital.....	378
M.3.3.1.2. Meios de contraste	378
M.3.3.1.3. Fluoroscopia.....	378
M.3.3.1.3. 1. Intensificador de imagem.....	379
M.3.3.1.4. Fluoroscopia Digital.....	382
M.3.3.2 Grupo 2: formação de imagens radiográficas	387
M.3.3.2.1 Alta-tensão de pico (kVp)	387
M.3.3.2.2 Corrente do tubo (mA).....	388
M.3.3.2.3 Relação entre kVp e mAs.....	388
M.3.3.2.4. Partes formadoras da imagem radiográfica.....	389
M.3.3.2.5 Densidade radiográfica em exames que usam filmes	389
M.3.3.2.6 Contraste do filme.....	390
M.3.3.2.7 Contraste do objeto	390
M.3.3.2.8 Detalhe radiográfico.....	390
M.3.3.2.8.1 Magnificação.....	390
M.3.3.2.8.2 Angulação	391
M.3.3.2.8.3 Seleção ou distância focal.....	391
M.3.3.3. Grupo 3: Radioterapia: Braquiterapia e Teleterapia.....	393
M.3.3.3.1 Radioterapia	393

M.3.3.3.2 Teleterapia	393
M.3.3.3.3. Braquiterapia.....	397
M.3.3.4 Atividade 2: filme: BBC The Big Bang Machine.....	398
M.3.3.5 Atividade 3: questões.....	398
M.3.3.6 Atividade 4: jogo campo minado.....	398
M.4.Aulas 7 e 8	399
M.4.1 Esquema de trabalho	399
M.4.2 Atividade 1. Jogo (tabuleiro).....	401
M.4.3 Atividade 2: modelagem computacional.....	402
M.4.4 Atividade 3: expositiva dialogada.....	402
M.4.5 Atividade 4: reportagem (como funciona a RMN).....	403
M.4.6 Atividade 5: colagem e questões.....	403
M.4.6.1 Texto 1: Detectores de radiação	403
M.4.6.1.1 Detectores a gás	404
M.4.6.1.2. Detectores de cintilação	405
M.4.6.1.3. Dosimetria de termoluminescência (TLD)	406
M.4.6.1.4. Luminescência estimulada opticamente	408
M.4.6.1.5 Dosímetros de filmes	408
M.4.6.2 Texto 2: Ressonância Magnética Nuclear	409
M.4.6.2.1 Histórico.....	409
M.4.6.2.2 Funcionamento.....	410
M.4.6.2.3 Vantagens e desvantagens da RMN	413
M.4.6.3 Texto 3: Tomografia	414
M.4.6.3.1 Histórico.....	414
M.4.6.3.2 Tomografia Computadorizada e Linear	414
M.4.6.3.3 Funcionamento.....	415
M.4.6.3.4 Componentes do sistema.....	418
M.4.6.3.5 Vantagens e desvantagens da TC:	421
M.4.6.4 Texto 4: Tomografia Computadorizada Helicoidal.....	421
M.4.6.4.1 Aquisição de imagens	422
M.4.6.4.2 Tomografia Computadorizada de múltiplos cortes (Multicortes).....	423
M.4.7 Atividade 6: Estudos em grupo	425
M.5. Aulas 9 e 10.....	425
M.5.1 Esquema de trabalho	425
M.5.2 Atividade 1. Filme: “O Discreto Charme das Partículas Elementares”.....	426
M.5.3 Atividade 2: expositiva-dialogada.....	427
M.5.4 Atividade 3: Estudos em grupo	427
M.5.4.1 Texto 1: Medicina Nuclear.....	427
M.5.4.1.1 História.....	427
M.5.4.1.2 Visão geral da Medicina Nuclear	427
M.5.4.1.3 Vantagens e desvantagens	429
M.5.4.2 Texto 2: Tomografia por Emissão de Pósitrons (PET).....	429
M.5.4.2.1 História.....	429
M.5.4.2.2 Exame	430
M.5.4.3 Texto 3: Tomografia Computadorizada por Emissão de Fóton Único (SPECT).....	433
M.5.4.3.1 História.....	433
M.5.4.3.2 Exame	433
M.5.4.3.3 Captação da Imagem.....	434
M.5.4.3.4 Imagem	434

M.5.4.3.5. Vantagens e desvantagens	435
M.5.5 Atividade 4: Mesa redonda	436
M.5.6 Atividade 5: Apresentação das colagens	436
APÊNDICE N- CD com material exposto em aula.....	437
APÊNDICE O –Algumas fichas	438
APÊNDICE P – Tabuleiro	439
ANEXOS.....	440
ANEXO A - Critérios para avaliar os V construídos pelos estudantes.....	441
ANEXO B - Valores críticos da razão t de student.....	443

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: relação dos artigos encontrados em periódicos nos últimos dez anos.	39
Figura 2: relação dos artigos encontrados em periódicos nacionais e internacionais nos últimos dez anos.	39
Figura 3: a Teoria de Aprendizagem Significativa de Ausubel, representada em um diagrama V.....	46
Figura 4: mapa conceitual com os conteúdos de Física e suas aplicações na Medicina. Tais conteúdos e aplicações foram utilizados na elaboração do curso que foi implementado em quatro oportunidades.	66
Figura 5: utilização dos referenciais teóricos, epistemológicos e metodológicos para alcançar os objetivos propostos.	69
Figura 6: mapa conceitual relacionado à água. Incluem-se alguns exemplos específicos de acontecimentos e objetos.	81
Figura 7: mapa conceitual referente à Medicina Nuclear.	87
Figura 8: mapa conceitual da PET.	88
Figura 9: mapa conceitual referente à fluoroscopia.....	88
Figura 10: mapa conceitual referente aos detectores de radiação	90
Figura 11: V número 1- segunda aplicação.	111
Figura 12: V número 2- segunda aplicação.	112
Figura 13: mapa conceitual do aluno Silvio (<i>nome fictício</i>): Ultrassonografia, produção e interação da radiação com a matéria.....	120
Figura 14: mapa conceitual do aluno Marcos: radioterapia.	121
Figura 15: mapa conceitual da aluna Hérica (<i>nome fictício</i>): fluoroscopia.	122
Figura 16: mapa conceitual de produção de radiação do aluno Anderson.	140
Figura 17: mapa conceitual de produção de radiação do aluno Paulo.....	141
Figura 18: mapa conceitual de produção de radiação do aluno Matheus.....	142
Figura 19: mapa conceitual de interação da radiação com a matéria do aluno Alex.....	143
Figura 20: mapa conceitual Ultrassonografia do aluno Wiliam.	144
Figura 21: mapa conceitual Ultrassonografia do aluno Juca.....	145
Figura 22: V número três- 3º aplicação.	155
Figura 23: V número quatro- 3º aplicação.....	156
Figura 24: V número cinco- 3º aplicação.	157
Figura 25: mapa conceitual do aluno Darlan representando a hierarquia.	160
Figura 26: mapa conceitual número 10 feito pelo aluno Rafael- antes da correção.....	167
Figura 27: mapa conceitual número 10 feito pelo aluno Rafael depois da correção.....	168
Figura 28: mapa conceitual do aluno Rafael antes das correções.	173
Figura 29: mapa conceitual do aluno Rafael depois das correções.	174
Figura 30: mapa conceitual da aluna Claudia antes das correções.....	175

Figura 31: mapa conceitual da aluna Claudia depois das correções.....	176
Figura 32: V número seis- 4º aplicação.....	228
Figura 33: V número sete- 4º aplicação.....	229
Figura 34: V número oito- 4º aplicação.....	230
Figura 35: mapa conceitual da aluna Janaína antes da correção: hierarquia.....	232
Figura 36: mapa conceitual da aluna Janaína depois da correção: hierarquia.....	233
Figura 37: mapa conceitual número 39 feito pela aluna Marta- antes da correção.....	242
Figura 38: mapa conceitual número 39 feito pela aluna Marta- depois da correção.....	243
Figura 39: mapa conceitual da aluna Janaína antes das correções.....	247
Figura 40: mapa conceitual da aluna Janaína depois das correções.....	248
Figura 41: mapa conceitual da aluna Jaqueline antes das correções.....	248
Figura 42: mapa conceitual da aluna Jaqueline depois das correções.....	249
Figura 47: eco.....	319
Figura 48: efeito Doppler.....	319
Figura 49: efeito piezoelétrico.....	319
Figura 50: esquema do equipamento de Ultrassonografia.....	320
Figura 51: equipamento de Ultrassonografia.....	320
Figura 52: equipamento móvel completo de.....	320
Figura 53: espectro eletromagnético, com suas respectivas nomenclaturas, comprimentos, frequências, energias e relação do comprimento de onda com objetos conhecidos.....	321
Figura 54: efeito fotoelétrico.....	322
Figura 55: modelo atômico de Bohr.....	322
Figura 56: o olho e suas partes.....	322
Figura 57: isótopos.....	323
Figura 58: efeito Compton.....	323
Figura 59: produção de pares.....	323
Figura 60: radiação alfa.....	323
Figura 61: radiação beta.....	324
Figura 62: radiação gama.....	324
Figura 63: diferentes radiações e seus bloqueios.....	324
Figura 64: produção de Raios- X: característico.....	324
Figura 65: produção de Raios-X: freamento.....	324
Figura 66: onda ultrassônica interagindo com a matéria.....	326
Figura 67: transdutor.....	326
Figura 68: formação de imagens ultrassônicas pelas varreduras A (a) e B (b).....	328
Figura 69: esquema da varredura M.....	329
Figura 70: esquema de como medir a velocidade do sangue a partir da técnica Doppler.....	331
Figura 71: apresentação esquemática do diagrama Vê.....	336
Figura 72: diagrama Vê para um experimento de cinemática.....	337
Figura 73: charge características do som.....	338
Figura 74: charge sobre ressonância.....	338
Figura 75: eco cascão.....	339
Figura 77: eco.....	339
Figura 78: charge sobre a cor dos objetos.....	340
Figura 79: choque elétrico e mecânico.....	341
Figura 80: charge de calor X temperatura.....	342
Figura 81: processo de aquecimento.....	343
Figura 82: espectro eletromagnético e suas características.....	343
Figura 83: partes que constituem o corpo humano: órgãos, sistemas, tecidos e células.....	348
Figura 84: molécula.....	348

Figura 85: ligação entre dois átomos de lítio.....	348
Figura 86: partes de uma célula animal.....	349
Figura 87: núcleo de uma célula.....	349
Figura 88: DNA.....	349
Figura 89: cromossomos.....	349
Figura 90: reprodução celular.....	350
Figura 91: célula normal.....	350
Figura 92: célula cancerígena.....	350
Figura 93: efeitos determinísticos.....	350
Figura 94: efeito estocástico.....	350
Figura 95: ação direta da radiação ionizante.....	351
Figura 96: formação radicais livres.....	351
Figura 97: a) Efeitos físicos, b) Efeitos químicos.....	351
Figura 98: c) Efeitos biológicos, d) Efeitos orgânicos.....	351
Figura 99: radiações a que estamos submetidos.....	351
Figura 100: a) formação de uma junção pn com transferência de elétrons do lado n para o lado p e de lacunas do lado p para o n; b) situação de equilíbrio com a formação de barreiras associadas a impurezas ionizadas que detém o avanço de portadores livres de um lado da junção para outro.....	354
Figura 101: a) diodo polarizado diretamente: barreiras diminuídas; b) diodo polarizado inversamente: barreiras aumentadas.....	354
Figura 102: funcionamento de um circuito eletrônico encontrados nos postes de luz públicos.....	355
Figura 103: decaimento radioativo, variáveis que interferem nele e emissão de radiação.....	364
Figura 104: modelo do funcionamento aparelho Raios-X.....	369
Figura 105: aparelho de Raios-X.....	369
Figura 106: transformadores.....	370
Figura 107: gerador de Raios-X.....	371
Figura 108: combinação tela-película e formação de imagem.....	374
Figura 109: esquema do mamógrafo e alguns componentes.....	374
Figura 110: mamógrafo e principais componentes de funcionamento.....	375
Figura 111: o fluoroscópio e suas partes associadas.....	379
Figura 112: intensificador de imagem.....	380
Figura 113: aparelho fluoroscópico e suas partes.....	381
Figura 114: esquema do intensificador de imagem.....	381
Figura 115: fluoroscopia convencional.....	382
Figura 116: fluoroscopia digital.....	383
Figura 117: central de operações.....	384
Figura 118: CCD.....	385
Figura 119: relação sinal ruído.....	386
Figura 120: exame Raios-X do joelho para diferentes valores de kVp mantendo mA constante.....	388
Figura 121: exame utilizando Raios-X de um joelho para diferentes valores de mA mantendo kVp constante.....	388
Figura 122: partes formadoras da imagem radiográfica: a) écran; b) filme radiográfico e c) chassi.....	389
Figura 123: efeito da magnificação.....	391
Figura 124: esquema foco-objeto-filme.....	391
Figura 125: imagens radiográficas.....	392
Figura 126: onde se forma a imagem.....	392

Figura 127: equipamento usado para fazer teleterapia.	393
Figura 128: monitor que envia e recebe informações para o aparelho da teleterapia.	394
Figura 129: esquema de um acelerador de partícula: 1. Fonte de elétrons; 2. Alvo; 3. Feixe de elétrons ou fótons e 4. Mesa de tratamento.	395
Figura 130: acelerador linear de partículas.	395
Figura 131: esquema de um ciclotron.	395
Figura 132: LHC.	396
Figura 133: exemplo de implantes utilizados na braquiterapia.	397
Figura 134: principais efeitos físicos e químicos da radiação ionizante utilizados para a detecção da radiação.	403
Figura 135: aplicabilidade dos diversos sistemas dosimétricos quanto à faixa mensurável de dose absorvida.	404
Figura 136: detector de gás.	404
Figura 137: gráfico sinal de saída relativa X Voltagem da câmara.	405
Figura 138: relação entre fóton incidente e energia emitida.	406
Figura 139: esquema detector de cintilação.	406
Figura 140: dosimetria de termoluminescência.	407
Figura 141: curva de brilho de termoluminescência para o FLi.	408
Figura 142: processo de luminescência estimulada opticamente.	408
Figura 143: equipamento de Ressonância Magnética Nuclear.	410
Figura 144: um núcleo (próton) de um átomo de hidrogênio em precessão sob influência de um campo magnético.	412
Figura 145: a) aparelho da TC; b) aparelho de TC aberto, mostrando o tubo de Raios-X; c) esquema do movimento do tubo de Raios-X na TC.	415
Figura 146: a) imagem radiologia; b) imagem Tomografia Linear.	416
Figura 147: imagem: a) Tomografia axial; b) TC.	416
Figura 148: movimento fonte em relação ao detector.	417
Figura 149: sistema de imagem de TC de quarta geração.	418
Figura 150: a) componentes da TC; b) pórtico com suas partes.	419
Figura 151: colimadores.	420
Figura 152: construção da imagem.	422
Figura 153: movimento tubo Raios-X.	422
Figura 154: anéis deslizantes.	423
Figura 155: matrizes detectoras de dois cortes.	423
Figura 156: matriz de quatro detectores que permite que modifique a largura do corte.	424
Figura 157: detector.	428
Figura 158: aparelho que realiza o exame da PET.	430
Figura 159: produção de Raios gama a partir da emissão de pósitron.	431
Figura 160: esquema da varredura PET.	432
Figura 161: aparelho que realiza a SPECT.	433
Figura 162: tabuleiro.	439

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: número de artigos encontrados em periódicos de interesse, referentes ao tema de pesquisa.	27
Tabela 2: características dos artigos dispostas em termos grupais.	29
Tabela 3: ordem de conteúdos de Física aplicada à Medicina sugerido por Kortemeyer (2007).	30
Tabela 4: estrutura do curso.	62
Tabela 5: resultados individuais do pré-teste e do pós-teste.	93
Tabela 6: análise das respostas à primeira questão.	98
Tabela 7: análise das respostas à segunda questão.	98
Tabela 8: transcrições das justificativas do grupo 2- primeira parte.	100
Tabela 9: transcrições das justificativas do grupo 2- segunda parte.	100
Tabela 10: análise mapas conceituais aplicação 2- Hierarquia.	113
Tabela 11: análise dos mapas conceituais da aplicação 2- quantidade de conceitos apresentados pelos alunos.	113
Tabela 12: análise mapas conceituais aplicação 2- palavras de ligação.	118
Tabela 13: análise das respostas à primeira situação-problema.	124
Tabela 14: análise das respostas à segunda situação-problema.	125
Tabela 15: resultados individuais do pré-teste e do pós-teste: aplicação 2.	128
Tabela 16: transcrições das justificativas do grupo 2- primeira parte.	132
Tabela 17: transcrições das justificativas do grupo 2- segunda parte.	132
Tabela 18: análise mapas conceituais aplicação 3- Hierarquia.	158
Tabela 19: análise mapas conceituais aplicação 3- quantidade de conceitos apresentados pelos alunos.	161
Tabela 20: divisão dos mapas conceituais segundo as palavras de ligação- grupo 3.	169
Tabela 21: análise das respostas à primeira situação-problema.	178
Tabela 22: análise das respostas à segunda situação-problema.	179
Tabela 23: análise das respostas à terceira situação-problema.	180
Tabela 24: análise das respostas à quarta situação-problema.	182
Tabela 25: resultados individuais do pré-teste e do pós-teste: aplicação 3.	184
Tabela 26: transcrições das justificativas do grupo 3- primeira parte.	190
Tabela 27: transcrições das justificativas do grupo 3- segunda parte.	191
Tabela 28: análise pré e pós-teste qualitativo- quarta aplicação.	215
Tabela 29: análise mapas conceituais aplicação 4- Hierarquia.	230
Tabela 30: análise mapas conceituais aplicação 4- quantidade de conceitos apresentados pelos alunos.	234
Tabela 31: divisão dos mapas conceituais segundo as palavras de ligação- grupo 4.	244
Tabela 32: análise das respostas à primeira situação-problema.	251
Tabela 33: análise das respostas à segunda situação-problema.	253

Tabela 34: análise das respostas à terceira situação-problema.	255
Tabela 35: análise das respostas à quarta situação-problema.	257
Tabela 36: análise das respostas à quinta situação-problema.	258
Tabela 37: resultados individuais do pré e do pós-testes- aplicação 4.	259
Tabela 38: transcrições das justificativas do grupo 4: primeira parte.....	271
Tabela 39: transcrições das justificativas do grupo 3: segunda parte.....	272
Tabela 40: variação da ecogenicidade nos tecidos biológicos.....	327
Tabela 41: efeitos danosos da radiação no organismo.	359
Tabela 42: relação entre algumas unidades de radiação.	362
Tabela 43: dose equivalente, equivalente de dose e peso da radiação.....	362
Tabela 44: intervalos recomendados para uma exploração de mama.....	373
Tabela 45: vantagens de uma forte compressão.	373
Tabela 46: níveis de kVp para exames convencionais para películas de fluoroscopia.....	379
Tabela 47: vantagens dos dispositivos de CCD na visualização médica.....	385
Tabela 48: características dos detectores de cintilação.....	428
Tabela 49: valores críticos da razão t de student.	443

1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo foram colocados os problemas e objetivos que guiaram a pesquisa, seguidos de uma justificção para a continuidade do trabalho.

1.1. Problema

Vários autores como Freire (1996), Moreira (2005), Ausubel (2002) afirmam que o ensino da Física está muito desvinculado da realidade dos alunos e que ocorre através de métodos repetitivos que não motivam o interesse dos mesmos, dando-lhes a impressão de ser uma ciência que nada tem a ver com a realidade.

O interesse e o aprendizado, nessa perspectiva, são postos de lado; o estudante, muitas vezes, passa a decorar fórmulas e métodos para a resolução de questões que apenas servem para as provas.

A Física, nessa realidade, é ensinada como uma área do conhecimento isolada das demais, especialmente, da vivência e de aplicações dentro da própria Física. O livro texto ganha ênfase e as aulas são apenas teóricas com exercícios repetitivos que nada acrescentam ao raciocínio lógico.

Quando a teoria é trabalhada em conjunto com a experimentação, geralmente, os professores apenas demonstram os experimentos e os alunos os relatam depois. A maneira adequada, segundo diversos autores, como Ausubel (2002) é deixar que os estudantes realizem as atividades experimentais (como organizadores prévios), captem os significados e utilizem os instrumentos, enquanto o professor serve como mediador. Porém, isso está longe do que ocorre no ambiente escolar.

Nesse sentido, há necessidade de aulas que tenham maior relação com aspectos aplicáveis e úteis aos estudantes. Para isso, parece necessário preparar melhor os professores, para que saibam usar, ao ensinar, diversas estratégias de forma potencialmente significativa.

Nessa linha, a questão foco desta pesquisa foi: *como ensinar conceitos físicos em cursos para professores e futuros professores de Física do Ensino Médio e para pessoas que utilizam radiações ionizantes em seu trabalho, de forma potencialmente significativa, utilizando para isso tópicos de Eletromagnetismo, Ondas, Óptica e Física Moderna e Contemporânea aplicados à Medicina*, tendo como referencial a Teoria de Aprendizagem Significativa de Ausubel (Ausubel, 2002), a Teoria de Aprendizagem Significativa Crítica (Moreira, 2005), a Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud (1990) e a epistemologia de Toulmin (Toulmin, 1977)?

Constituiu-se como questões específicas de pesquisa:

1) Como fazer, organizar e implementar um curso, utilizando a Física aplicada à Medicina, tendo como fundamentação a Teoria de Aprendizagem Significativa de Ausubel (Ausubel, 2002), a Teoria de Aprendizagem Significativa Crítica (Moreira, 2005), a Teoria dos campos conceituais de Vergnaud (1990) e a epistemologia de Toulmin (Toulmin, 1977) de modo a favorecer a aprendizagem significativa?

2) Conceitos de Óptica, Eletromagnetismo, Física Moderna e Contemporânea podem ser utilizados na Física aplicada à Medicina? Essa aplicação facilitaria sua compreensão?

3) Quais são os conceitos que podem ser utilizados para dar sentido à produção de Raios-X (característico, Bremsstrahlung), à interação da radiação com a matéria, à imagem radiográfica, ao processamento de imagens, a fatores de exposição radiográfica, a fatores físicos na qualidade de imagens, à fluoroscopia, à fluoroscopia digital, ao funcionamento do aparelho de Raios-X convencional, à mamografia, à tomografia nuclear, tomografia computadorizada, à radiografia digital, à Ressonância Magnética Nuclear e à Medicina nuclear?

4) Como os mapas conceituais devem ser utilizados para potencializar a aprendizagem significativa?

5) Quais são alguns invariantes operatórios dos alunos em relação aos conteúdos que foram abordados no curso?

6) Como tornar os invariantes operatórios suprarreferidos explícitos?

7) Quais são os conhecimentos prévios dos alunos relativos aos conteúdos abordados no curso? Como utilizá-los de modo a facilitar a aprendizagem significativa?

8) É possível implementar tal proposta no Ensino Médio? Essa implementação facilitaria a compreensão dos alunos?

1.2 Objetivo

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral dessa pesquisa foi o de buscar subsídios para como ensinar teorias físicas em cursos para professores e futuros professores de Física do Ensino Médio e para pessoas que utilizam radiações ionizantes no trabalho, de forma potencialmente significativa, utilizando, para isso, tópicos de Eletromagnetismo, Ondas, Óptica, Física Moderna e Contemporânea aplicados à Medicina, tendo como fundamentação a Teoria de Aprendizagem Significativa de Ausubel (Ausubel, 2002), a Teoria de Aprendizagem Significativa Crítica (Moreira, 2005), a Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud (1990) e a epistemologia de Toulmin (Toulmin, 1977).

1.2.2 Objetivos específicos

1) Organizar, desenvolver e implementar um curso, utilizando tópicos de Física aplicada à Medicina, tendo como fundamentação a Teoria de Aprendizagem Significativa de Ausubel (Ausubel, 2002), a Teoria de Aprendizagem Significativa Crítica (Moreira, 2005), os Campos Conceituais de Vergnaud (1990) e a epistemologia de Toulmin (Toulmin, 1977).

2) Buscar indícios de quais conteúdos de Óptica, Eletromagnetismo, Física Moderna e Contemporânea podem ser utilizados na Física aplicada à Medicina.

- 3) Buscar indícios se essa aplicação facilita a aprendizagem significativa.
- 4) Identificar os conhecimentos prévios dos alunos de modo a ensinar a partir deles.
- 5) Auxiliar os alunos a compreender significativamente a produção de Raios-X (característico, Bremsstrahlung), a interação da radiação com a matéria, a imagem radiográfica, o processamento de imagens, fatores de exposição radiográfica, fatores físicos na qualidade de imagens, fluoroscopia, fluoroscopia digital, funcionamento do aparelho de Raios-X convencional, a mamografia, a tomografia nuclear, tomografia computadorizada, a radiografia digital, a RMN e a Medicina nuclear.
- 6) Identificar quais são os invariantes operatórios dos alunos relativos aos conteúdos trabalhados no curso.
- 7) Encontrar alternativas para tornar explícitos os invariantes operatórios identificados.
- 8) Identificar a melhor forma de utilizar os mapas conceituais.
- 9) Verificar se é possível implementar essa proposta no Ensino Médio.
- 10) Perceber se essa implementação facilita a aprendizagem significativa dos conteúdos envolvidos.

1.3. Justificativa

Nas últimas décadas, a ampliação da rede pública de Ensino Fundamental e Médio viabilizou um crescente aumento da população de origem socioeconômica variada que ingressa no Ensino Superior. Até bem pouco tempo, a maioria dos alunos que entrava no Ensino Médio, utilizava-o como ponte para o Ensino Superior. Isso talvez esteja mudando, pois esse crescente aumento da população estudantil, observado desde o início da década de 70, trouxe em seu bojo um aumento da oferta de vagas para a universidade e tornou, de certa forma, o vestibular desnecessário, em algumas áreas e em algumas universidades.

Nessa nova realidade, muitas mudanças necessitam ser feitas. O ensino de Física que, geralmente, está desvinculado de outras disciplinas, bem como de qualquer contexto que lhe possa dar significado, agora tem diretrizes estaduais e nacionais que apontam para a necessidade de ser interdisciplinar e contextualizado. Assim, segundo diversos autores, tais como Moreira (2005), Prain e Waldrip (2006), é necessário que o professor utilize várias estratégias para atingir aos alunos que, por sua vez, aprendem de diversas formas: cinestésica (aprende fazendo), visual e auditiva.

O ensino, portanto, deve ocorrer mediante aulas práticas e teóricas, partindo do que o aluno já sabe, com ênfase na criatividade, ajudando-o a compreender o significado dos conteúdos a ele ensinados e incentivando-o a pesquisar, ou seja, ensinando-o a aprender a aprender Novak e Gowin (1984).

A repetição e a memorização mecânica, dissociada de uma abordagem crítica, é apenas um processo que não prioriza o raciocínio, deixando o aluno passivo frente à sociedade, quando precisaria ser um sujeito ativo, capaz de trazer soluções para os problemas existentes.

Dessa forma, a compreensão de aplicações da Física, como por exemplo, à Medicina, pode auxiliar no contexto da aprendizagem significativa, já que pode facilitar a interação com outras ideias que compõem as representações mentais do aprendiz.

Como o trabalho foi realizado prioritariamente com professores que lecionam no Ensino Médio, pretendeu-se que essas ideias e metodologias diferenciadas chegassem a um número maior de pessoas e que contribuíssem para uma mudança significativa das práticas desses docentes nas escolas.

Também buscaram-se indícios se tais metodologias diferenciadas realmente melhoram o aprendizado dos alunos e, também, de quais se destacam mais em relação a esse objetivo, justificando, dessa forma, o andamento da pesquisa.

No próximo capítulo, apresenta-se uma extensa revisão da literatura em artigos de quarenta periódicos de ensino de Ciências, nacionais e internacionais, qualis A1, A2 e B1 de 2000 á 2009, relativos à utilização da Física aplicada à Medicina, em todos os níveis de ensino.

No terceiro capítulo, há o marco teórico e epistemológico norteador da metodologia, da confecção do material de apoio e das aulas ministradas, bem como da análise de dados das distintas etapas da pesquisa. Aspectos das teorias de Ausubel, Vergnaud, Moreira e Toulmin vinculados à proposta em desenvolvimento são, então, apresentados.

As etapas de investigação estão descritas na metodologia de pesquisa apresentada no quarto capítulo e referem-se ao desenvolvimento, à coleta e à análise de dados da pesquisa. Como descrito neste capítulo, quatro versões de cursos de curta duração foram oferecidas, uma de 24 horas, uma de 20 horas e duas de 40 horas cada, sendo que, dessas últimas, oito horas foram a distância.

O quinto capítulo apresenta os dados coletados, os resultados obtidos e as respostas às questões propostas. Foram armazenados como dados: gravação de situações-problema, anotações em diário de bordo, pré e pós-teste (dois quantitativos e um qualitativo), diagramas V, mapas conceituais, análise da avaliação do curso e entrevistas semiestruturadas.

Finalmente, o último capítulo apresenta as conclusões e implicações obtidas a partir dos resultados da análise da pesquisa promovida.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Considerando o tema a ser pesquisado, cabe aqui desenvolver uma revisão sobre artigos relativos ao ensino de Física aplicado à Medicina, publicados em periódicos CAPES Qualis A1 e A2 e Qualis B1 na área de Ensino de Ciências, nacionais e internacionais, no período de 2000 a 2009.

A utilização da abordagem da presente pesquisa foi pouco investigada na área de Ensino de Física, visto que, nos 40 periódicos pesquisados, foram encontrados apenas 38 artigos tratando sobre Física aplicada à Medicina, sendo 11 de periódicos brasileiros e 27 de periódicos internacionais. Portanto, a revisão da literatura não ajudou no delineamento da pesquisa tendo em vista que não encontrou-se artigos diretamente relacionados a pesquisa feita. Pode-se ver na Tabela 1 a relação dos periódicos e os respectivos números de artigos encontrados.

Os periódicos pesquisados são: *Ciência e Educação*; *Physics Education*; *Science & Education*; *Science Education*; *Studies In History and Philosophy of Modern Physics*; *Enseñanza de las Ciencias*; *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*; *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences*; *Advances in Physiology Education*; *Revista Brasileira de Ensino de Física*; *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia*; *Philosophy of Science*; *Annales de Didactique et de Sciences Cognitives*; *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*; *Revista Electrónica de Investigación em Educación em Ciencias*; *Cadernos CEDES*; *Computers and Education*; *Investigações em Ensino de Ciências*; *Revista Eletrônica do Mestrado Profissional em Ensino de Ciências*; *Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências*; *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences/ Historical Studies in the Natural Sciences*; *Revista de Enseñanza de la Física*; *Experiências em Ensino de Ciências*; *Cadernos de Pesquisa*; *Science, Technology and Society*; *International Journal of Science Education*; *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*; *Scientiae Studia*; *SEED Journal. Semiotics, Evolution, Energy, and Development*; *Science in Context*; *História, Ciências, Saúde-Manguinhos*; *The Physics Teacher*; *American Journal of Physics*; *Research in Science & Technological Education*; *Revista da Sociedade Brasileira de História da Ciência*; *Public Understanding of Science*; *Journal of Research in Science Teaching*; *Journal of Science Communication*; *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*; *Alambique*.

Além desses periódicos, foi utilizado um artigo de Capelletto, Prestes e Santos (2008), apresentado no XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, totalizando, assim, 39 artigos.

2.1. Metodologia

Inicialmente, procurou-se nos periódicos supracitados, artigos que se relacionassem com a Física aplicada à Medicina. Identificou-se que apenas um dos artigos possuía referencial teórico e nenhum artigo possuía referencial epistemológico. Observou-se que apenas nove artigos foram escritos por profissionais formados em ensino de ciências, justificando assim tal lacuna.

Depois, foram categorizados os artigos com base na divisão proposta por Greca e Moreira (2001), entretanto, fazendo uma transposição uma vez que a divisão proposta pelos autores está voltada para a Mecânica Quântica. Esses autores dividiram os artigos encontrados em três grupos: *artigos sobre concepções dos estudantes, trabalhos com críticas aos cursos introdutórios e estudos contendo propostas de novas estratégias didáticas*. Artigos do primeiro e do segundo grupo são escassos na presente pesquisa. Entre os artigos do terceiro grupo, encontram-se propostas de inclusão de tópicos específicos, de mudança de enfoque, de alterações curriculares e de inclusão de novas tecnologias (sobretudo de recursos computacionais). Dentre tais propostas, poucas foram efetivamente implementadas e avaliadas, referindo-se a conteúdos introdutórios em nível médio e universitário.

Além dessa divisão, também buscou-se caracterizar os artigos em cinco áreas: 1º) estudo dos fluidos no corpo; 2º) radiações; 3º) abordagem histórica; 4º) aparelhos que utilizam a Física na Medicina e 5º) influência dos meios de comunicação na área.

Nas propostas de novas estratégias didáticas, procurou-se distinguir se estas foram, ou não, implementadas, se houve avaliação do processo (qualitativo, quantitativo ou triangulação de dados), ou se o artigo possuía caráter teórico, experimental ou ambos.

A classificação dos artigos em grupos, conforme aqui proposto, não é, obviamente, a única possível e alguns artigos podem se inserir em mais de uma categoria. Cabe esclarecer que os dados aqui apresentados são os que aparecem nos artigos, faltando, em alguns casos, maiores informações. Não foi feito qualquer reinterpretação das concepções dos estudantes sobre conceitos físicos apresentadas pelos autores em cada artigo, supondo que essas correspondam às conceitualizações dos pesquisadores sobre as mesmas. Não faz parte dos objetivos desta pesquisa uma análise crítica da literatura revisada.

2.2. Resultados

Na Tabela 2, as características estão dispostas em termos grupais que foram analisadas na sequência. Dos 39 artigos encontrados, 23 (4 em periódicos brasileiros e 19 em internacionais) são voltados para o ensino e 16 (8 em periódicos brasileiros e 8 em internacionais) são dirigidos à divulgação científica.

Dos autores, foi possível identificar apenas alguns da área do ensino. A maioria está ligado à “ciência dura”. Apenas 4 artigos dos periódicos brasileiros e 5 artigos dos periódicos internacionais estão ligados a profissionais do ensino. Sugere-se que seja por isso que haja apenas um artigo que inclui referencial de aprendizagem e nenhum que apresente referencial epistemológico.

Dos artigos encontrados, apenas 11 dos de periódicos internacionais usam novas tecnologias, enquanto nos nacionais não há menção à utilização dessas tecnologias no ensino.

Outra característica geral dos artigos revisados é que, em sua maioria, são teóricos e apenas 9 são experimentais.

Dos artigos encontrados, 13 referem-se às radiações, 10 ao funcionamento do coração/sistema cardiovascular e 3 ao funcionamento do aparelho respiratório, como se pode constatar mais detalhadamente na Tabela 2.

Tabela 2: características dos artigos dispostas em termos grupais.

Grupo	Periódicos brasileiros	Periódicos Internacionais	Total
Abordagem*			
Concepções dos estudantes:	3	3	6
Análise curricular e crítica ao curso introdutório:	2	3	5
Proposta didática:	1	17	18
Histórico**:	6 (4)	9 (6)	15 (10)
Implementação de propostas didáticas:	1	8	9
Metodologia			
Método qualitativo***:	4 (1)	8 (6)	12 (7)
Método quantitativo***:	1 (0)	2 (2)	3 (2)
Nenhuma	6	9	15
Temas abordados			
Funcionamento do coração:	1	9	10
Funcionamento aparelho respiratório:	1	2	3
Radiações:	6	7	13
Equipamentos:	3	1	4
Influência meio de comunicação:	1	1	2
Outros	0	7	7
Artigos teóricos ou experimentais			
Abordagem apenas teórica:	10	20	30
Abordagem teórica e experimental:	2	7	9
Especialidade autor			
Autor não é do ensino	8	22	30
Autor do ensino:	4	5	9
Artigos científicos ou do ensino			
Ensino:	4	19	23
Divulgação científica:	8	8	16
Novas tecnologias			
Usa novas tecnologias:	0	11	11
Não usa novas tecnologias	12	16	28

*Pode-se observar que a soma passa do total de 39 artigos pesquisados, isso deve-se ao fato de alguns artigos encaixarem-se em mais de uma categoria.

**O número entre parênteses relaciona-se aos artigos que tem ênfase apenas histórica e os números sem parênteses são aqueles artigos que contextualizam o artigo historicamente.

***O número entre parênteses relaciona-se aos artigos nos quais foi usado método qualitativo ou quantitativo para analisar a intervenção didática, os demais foram usados para outras avaliações.

2.2.1 Conhecimentos prévios dos estudantes relacionados a Física aplicada à Medicina

Três artigos de periódicos brasileiros e três de periódicos internacionais desenvolveram pesquisa com o intuito de verificar quais os conhecimentos prévios dos estudantes referentes a um determinado assunto.

No primeiro deles, Aiziczon e Cudmani (2007) utilizam dois questionários, sendo o último mais estruturado que o primeiro, com alunos de Medicina. Tal questionário foi feito para detectar conhecimentos prévios que poderiam constituir obstáculos e/ou subsunções

para a aprendizagem do tema. Esses resultados serviram para realizar atividades que melhorassem o ensino da Física em áreas da saúde, levando em conta os conhecimentos prévios e os interesses dos alunos. Os autores encontraram os seguintes conhecimentos prévios nos estudantes de Medicina:

- não discriminam adequadamente o agente físico onda sonora de percepção acústica;
- apresentam confusão entre onda e vibração e entre ruído e som;
- relacionam de forma equivocada intensidade e dor e intensidade e frequência para o ouvido humano.

O segundo artigo é de Costa e Costa (2002). Os autores aplicaram um questionário constituído de 6 questões dissertativas a 39 estudantes matriculados num curso de auxiliar de enfermagem. A pesquisa sugeriu que o grupo pesquisado pouco sabia sobre radiações e que era necessário enfatizar esse tópico, principalmente seu uso e a forma de prevenir acidentes entre os profissionais da saúde.

O último artigo brasileiro foi o de Capelletto, Prestes e Santos (2008). As autoras descrevem uma investigação piloto que busca as ideias de 25 estudantes de Ensino Médio sobre os conceitos que tinham sobre radiações antes da instrução, através de um questionário com 15 perguntas dissertativas. As respostas mostraram que os alunos apresentavam noções vagas e desarticuladas sobre as radiações.

Bravo e Rocha (2008) realizaram um trabalho que foi desenvolvido a partir de estudo longitudinal de seis anos (três últimos anos do Ensino Fundamental e três anos do Ensino Médio). O objetivo foi descobrir os conhecimentos prévios sobre visão e cores, de um grupo de alunos conforme avançava sua instrução ao longo da educação primária e secundária. Para isso foi feito um estudo qualitativo (estudo de caso). Antes da intervenção, foi aplicado um pré-teste e depois um pós-teste. Foi aplicado também um pós-teste ao final do Ensino Fundamental e outro ao final do Ensino Médio. Os testes eram formados por questões dissertativas cujas respostas eram avaliadas em termos das variáveis (luz²-objeto-sistema visual) e interações (luz-objeto: absorção, reflexão; luz-sistema visual; percepção). Após, as pesquisadoras dividiram essas respostas em quatro categorias: ideias nitidamente intuitivas, ideias intuitivas, ideias “corretas”, mas incompletas e ideias da ciência escolar. Concluíram, então, que ao longo do processo de formação os alunos vão aumentando a qualificação e quantificação das respostas dadas, passando das ideias indutivas para as científicas, embora essa transição não ocorra completamente ao longo do período escolar.

Kortemeyer (2007) propõe testes para uma turma de pré- médicos, nos quais lhes são feitas várias indagações para saber como a Física lhes é ensinada e se acreditam que a disciplina lhes parece importante. O objetivo do autor foi desenvolver um currículo que ligasse os conteúdos físicos às aplicações necessárias na Medicina. A sua pesquisa sugere que muitos estudantes expressam interesse por imagens médicas, exemplos de anatomia e fluxo sanguíneo e que os alunos parecem não perceber conexão entre Física e Medicina. Para tal problema, o autor aponta como solução: 1) livros textos que conectem a Física à Medicina ou às ciências da vida; 2) utilização, por parte do professor, de exemplos da Medicina; 3) utilização de uma abordagem mais conceitual; 4) estratégia de resolução de problemas. Através dessa pesquisa, sugere que a ordem de conteúdos da Tabela 3 deveria ser utilizada na disciplina de Física aplicada à Medicina.

Tabela 3: ordem de conteúdos de Física aplicada à Medicina sugerido por Kortemeyer (2007).

Primeiro semestre	Segundo semestre
Energia e trabalho	Eletrostática, campo elétrico

² sempre que surgir a palavra luz, esta se refere ao espectro das ondas eletromagnéticas visível para o ser humano.

Na escala do corpo Momento e colisão Relacionando com ferimentos Cinemática rotacional, dinâmica rotacional Músculos Temperatura, sólidos, líquidos e gases Placa arterial Aneurisma Pressão sanguínea Ossos e fratura de ossos Ondas e sons Imagem de ultrassom O ouvido humano Ondas de choque externas ao corpo Calor; termodinâmica Metabolismo	Equilíbrio membrana Capacitores Desfibrilador Corrente Neurônios O axônio Magnetismo; Indução Magneto cardiograma Corrente variando com o tempo Marca-passo cardíaco Eletrocardiograma Ondas Eletromagnéticas Espelhos e lentes; Instrumentos ópticos O olho humano Lentes corretivas Cirurgia a laser nos olhos Endoscopia Interferência e difração Limitação para imagens médicas Teoria quântica Fluoroscopia Microscópio eletrônico Física Subatômica Imagem na RMN Dosagem de Raios-X Radioterapia Isótopos traçadores
---	--

West (2008) comenta sobre as dificuldades e os conhecimentos prévios que os alunos de Medicina e demais estudantes de graduação possuem para entender o sistema respiratório, especialmente por envolver muitos conceitos de Física. Esse artigo não apresenta nem busca conhecimentos prévios, apenas cita que a metodologia de trabalho, proposta pelo artigo, visa amenizar dificuldades e conhecimentos prévios errôneos que os alunos possuem, mas não cita quais são tais conhecimentos prévios.

2.2.2 Trabalhos com críticas aos cursos introdutórios de Física aplicada à Medicina

Há poucos trabalhos que criticam os cursos introdutórios de Física aplicada à Medicina, apenas cinco. Desses, dois são de periódicos brasileiros e três são de periódicos internacionais.

Costa e Costa (2002), ao aplicarem um questionário com estudantes do curso de auxiliar de enfermagem, percebem que esses alunos pouco ou nada sabem sobre radiações ionizantes e formas de prevenir acidentes em relação a elas. Os autores atribuem tal deficiência ao ensino que, de maneira geral, ou não existe, ou a Física ministrada nesses cursos não é voltada para a Medicina e, portanto, apresenta-se descontextualizada. Os autores propõem que seja diminuído esse problema, através de aulas mais contextualizadas, em que haja uma ligação entre Física e Medicina.

Toigo (2006) critica as aulas de Educação Física, sugerindo que é de fundamental importância introduzir aulas teóricas nessas classes. Segundo a autora, é importante que o aluno saiba como evitar lesões, como realizar determinados movimentos de forma a potencializá-los, além de desenvolver um trabalho interdisciplinar, utilizando o movimento para dar sentido a conceitos de Biologia e Física. Nesse artigo, a autora desenvolveu

atividades referentes à biomecânica para trabalhar com alunos das séries iniciais do Ensino Fundamental, em aulas de Educação Física. Foram feitas duas intervenções: a primeira trabalhando sobre, dentre outros, cargas que atuam sobre o corpo e a segunda sobre os conceitos que envolvem músculos e força.

Duarte e Rezende (2008) criticam como é oferecida, aos alunos do curso de Educação Física, a disciplina de Biomecânica. Esse é o único artigo que utiliza uma teoria de aprendizagem, usando a teoria sócio interacionista de Vygotsky. Para os autores, os alunos demonstram dificuldades nessa disciplina e não conseguem relacionar os conceitos físicos às suas aplicações. Isto ocorre, especialmente, porque a Biomecânica envolve muitos conceitos de Física, as aulas são bastante teóricas, há poucas práticas e os professores não relacionam Física ao corpo humano. Tendo em vista tais problemáticas os autores investigaram em que medida os alunos de graduação em Educação Física interagem colaborativamente com o sistema de hipermídia *Biomec*. Também investigaram de que forma essa interação se relaciona com processos de internalização de conceitos de Mecânica e de Biomecânica.

Bravo e Rocha (2008) criticam a forma como são ministrados, no Ensino Fundamental e Médio, os conteúdos de visão e de cores, sem considerar o que os alunos já sabem a respeito. Também fazem uma crítica em relação aos professores começarem a tratar esse assunto apenas no Ensino Médio, de forma descontextualizada e formal antes de haver contextualização e conceitualização. Para buscar diminuir esses problemas, os autores seguem uma proposta didática que se caracteriza por: 1) apresentar inicialmente atividades que permitem começar o processo de ensino e de aprendizagem com a abordagem de fenômenos cotidianos, possíveis de serem explicados a partir das ideias dos alunos; 2) aumentar gradativamente a complexidade dos fenômenos estudados; 3) incorporar, até o final da instrução, a abordagem de situações problemáticas que levem a contemplar todas as variáveis e interações que a ciência propõe para explicar os fenômenos analisados; 4) apresentar uma seleção de conteúdos que seja adequada às características da natureza, do conhecimento intuitivo e do científico, as prescrições curriculares e ao tipo de aprendizagem que se deseje potencializar; 5) propor uma abordagem interrelacionada e recorrente dos conteúdos (conceituais, procedimentais e atitudinais), permitindo aos estudantes interpretar os fenômenos da visão e da cor em contextos de situações cotidianas, fazendo uso de modelos, modos de fazer e atuar cada vez mais coerentes com o proposto pelas ciências; 6) sequenciar os conteúdos tentando favorecer a elaboração de explicações cada vez mais complexas, o que implica atender a um maior número de variáveis e relações entre elas.

Kortemeyer (2007) critica a forma descontextualizada como é ensinada a disciplina de Física aplicada à Medicina. Os estudantes de Medicina não conseguem ver a importância da Física, considerando-a desnecessária em seu currículo. O autor chegou a essas conclusões a partir da aplicação de um questionário aberto. O autor propõe que o ensino deva ser contextualizado e ligado à Medicina, menos formal e mais conceitual e que se deve seguir a ordem de conteúdos listados na Tabela 3.

2.2.3 Estudos contendo propostas de novas estratégias didáticas

Dos 39 artigos analisados, 18 propõem novas estratégias didáticas para o ensino, destes apenas um é de periódico brasileiro. Desses artigos, nove foram implementados, sete foram avaliados, sendo dois de forma qualitativa e quantitativa e os outros cinco apenas qualitativamente. Os demais foram categorizados como sendo de divulgação científica.

Na sequência, analisam-se os artigos que propõem uma didática de ensino, implementando-a e avaliando-a qualitativamente.

Toigo (2006), depois de desenvolver atividades sobre Biomecânica para trabalhar com os alunos das séries iniciais do Ensino Fundamental em aulas de Educação Física, como

visto anteriormente, analisa os comentários feitos pelos alunos. A partir de uma análise subjetiva, conclui que essa atividade foi muito produtiva e facilitou o aprendizado dos mesmos, que puderam utilizar os conhecimentos teóricos na prática.

Bravo e Rocha (2008) desenvolveram o artigo a partir de um estudo longitudinal (estudo de caso) de seis anos (três últimos anos do Ensino Fundamental e três anos do Ensino Médio). As autoras tiveram como objetivo estudar o modo de conhecer sobre a visão e as cores que foram verificadas em um grupo de alunos ao longo da educação primária e secundária, apresentando os conhecimentos predominantes nesses alunos ao longo de sua instrução. Para realizar a descrição e caracterização do modo de conhecer dos alunos, as autoras realizaram uma análise minuciosa dos problemas resolvidos pelos alunos nos diferentes níveis de coleta de dados. Avaliaram as respostas em termos das variáveis (luz-objeto-sistema visual) e interações (luz-objeto: absorção, reflexão; luz-sistema visual; percepção). A partir disso, as autoras confeccionaram, para cada aluno, um esquema conceitual a fim de representar o modelo explicativo compartilhado. Dado que os estudantes nem sempre utilizam em uma tarefa o mesmo modo de conhecer para explicar os fenômenos, as autoras consideraram que os alunos compartilham o modelo se o utilizam em pelo menos 60% dos problemas propostos. A caracterização e exemplificação dos modos de conhecer foram divididos em quatro grupos: ideias nitidamente intuitivas, ideias intuitivas, ideias “corretas” mas incompletas e ideias da ciência escolar. As autoras concluíram que, à medida que os alunos recebem mais instrução formal, mais eles abandonam ideias intuitivas e se apropriam de ideias da ciência escolar.

Duarte e Rezende (2008), como já foi visto, analisam qualitativamente a importância da interação colaborativa de estudantes com um sistema hipermídia de Biomecânica chamado *Biomec* e de que forma essa interação se relaciona com processos de internalização de conceitos de Mecânica e de Biomecânica. Para isso, 12 alunos do curso de Educação Física (bacharelado e licenciatura), foram distribuídos aleatoriamente em seis duplas para trabalharem com hipermídia e fala que ocorriam durante o trabalho, o que foi gravado e analisado. A análise microgenética de três episódios, nos quais duplas de estudantes interagiam com o *Biomec*, mostrou que a ação mediada pela linguagem foi determinada pelo suporte dos recursos semióticos (imagem, vídeo, animação, textos e palavras-chave) do sistema de hipermídia e também por diferentes fatores socioculturais. Os autores descobriram, através da fala entre os alunos e do registro de navegação deles na hipermídia, que a interação colaborativa das duplas de alunos com um sistema pode apresentar diferentes estruturas. Apresentaram: 1) o padrão clássico I-R-F (I- iniciação feita pelo professor, por exemplo, uma pergunta; R- resposta dada pelo aluno; o professor fornece um feedback (F) ao aluno em forma de avaliação da sua resposta); 2) o “diálogo persuasivo” e/ou o 3) “diálogo interno”. Essas relações entre indivíduo- indivíduo e indivíduo- hipermídia, segundo os autores, podem favorecer os mecanismos de internalização. Os resultados apontam para a relevância de planejar situações colaborativas de ensino de ciências que estimulem interações sociais no uso de ferramentas culturais, tais como sistemas de hipermídia de aprendizagem.

Swain (2000) explicou uma forma de ensinar o sistema cardiovascular a partir da analogia com a distribuição de água em uma cidade que utiliza uma torre para fazer isso. Nesse sistema, a água de um rio ou de outra fonte é bombeada para a torre, a qual tem a função de dar pressão suficiente para a água ir para as caixas das casas, através de um arranjo de tubos paralelos. Os donos das casas controlam seu uso através de torneiras, enquanto é mantida sua pressão através do monitoramento do nível da torre. Na analogia com o sistema cardiovascular, o coração é a bomba, a aorta a torre de água, as artérias a distribuição paralela de tubos, as arteríolas as torneiras. O reflexo do controle dos baroreceptores é discutido bem como o papel da capacidade das veias, dos músculos em torno do esqueleto, e a vaso dilatação e a vaso constrição. A análise do autor, para verificar se analogia foi útil para o entendimento

do sistema cardiovascular, foi subjetiva, baseada em relatos orais e na observação. O autor afirma que houve indícios de que a analogia foi útil para a compreensão desse tópico.

Na sequência, há uma análise dos artigos que propõem uma didática de ensino, a implementam e a avaliam de forma quantitativa.

Kuebler, Mertens e Pries (2007) basearam-se em uma atividade experimental que representa o sistema respiratório humano. Tal atividade simula a mudança de pressão e volume em diferentes formas de ventilação. O volume do pulmão muda, bem como a pressão pleural e interna do pulmão, as quais são monitoradas durante a simulação de respiração espontânea, expiração forçada e ventilação mecânica, para a construção de uma curva do volume de ar respirado em função da pressão. Esse modelo mecânico foi utilizado com 232 estudantes de Medicina divididos em 13 grupos na disciplina Fisiologia. A metodologia utilizada pelos autores foi a seguinte: 1) leitura de texto dirigida sobre o funcionamento do aparelho respiratório; 2) aplicação de um pré-teste; 3) posteriormente eles foram instigados a explicar as relações entre pressão e volume durante os diferentes momentos da respiração; 4) utilização da atividade experimental de modo a testar as hipóteses teóricas dos alunos; 5) a observação das características mecânicas e a medida da curva da pressão e do volume foram discutidas em grupo; 6) pós-teste. Segundo os autores, o resultado estatístico deu indícios de que houve melhora de setenta por cento no aprendizado dos alunos devido à atividade experimental. Os autores não citaram qual foi o tipo de análise estatística utilizada.

Anderson et al. (2009) fizeram uma atividade experimental para demonstrar o funcionamento do sistema respiratório nos seres humanos. Essa atividade contém um medidor de pressão digital e um computador integrado em tempo real para demonstrar as mudanças que resultam das variações de pressão decorrentes das diferentes fases da respiração. Esse modelo experimental foi ligado a um sistema virtual de coleta de dados denominado *BioPac*.

Esse aparelho foi utilizado para ensinar 427 estudantes, que cursavam a disciplina de Fisiologia no Ensino Superior. Esses alunos foram divididos em dois grupos (grupo experimental e de controle) de forma aleatória. A metodologia utilizada foi: 1) pré-teste; 2) leitura sobre o funcionamento do sistema respiratório; 3) atividade experimental; 4) pós-teste. Para o grupo de controle não foi dada a atividade experimental; as questões dos pós-testes e pré-testes eram iguais e foram dadas em aula pelo mesmo professor. O teste estatístico ANOVA foi usado para comparar os pré-testes e os pós-testes do grupo experimental e de controle. O índice de significância estatística encontrado foi menor que 5%, valor é significativo. Os autores concluíram que o modelo mecânico respiratório é uma ferramenta institucional valiosa para o ensino do sistema respiratório.

Os artigos analisados na sequência propõem uma didática de ensino, entretanto não aplicam a proposta e conseqüentemente não a avaliam.

Uehara, Sakane e Bertolotti (2002) propõem a utilização de equação diferencial parcial em sistemas cardiovasculares para medir as batidas do coração e a variação de volume de sangue em diferentes partes do sistema.

Urhausen, Sperber e Kindermann (2004) também se preocupam com o ensino do sistema circulatório. Para promover seu ensino, os autores explicam as técnicas para a medida dos intervalos entre as batidas alternadas do coração.

Paul e Symes (2008) propõem a utilização de duas atividades envolvendo Ballistocardiografia (representações gráficas do recuo da ação de bombeamento do coração).

Goodman (2001) explica treze diferentes exemplos de exercícios envolvendo pressão-fluxo-resistência e a relação entre concentração de sangue e seu fluxo. O autor também apresenta algumas ideias para buscar promover a aprendizagem ativa através de figuras relacionadas aos sistemas renal, respiratório e cardiovascular.

Carroll (2001) trabalha com exemplos conhecidos pelos alunos, fazendo analogias para ensinar pressão (P), fluxo sanguíneo (Q) e a resistência (R) do sistema cardiovascular. O

autor também utiliza analogias para ensinar a lei de Ohm para sistemas cardiovasculares. Essa lei é expressa pela equação: $Q = P \text{ gradiente } (\Delta P) / R$. Uma dessas analogias refere-se ao fluxo de um rio através de um cânion. O autor comenta, com os alunos, o que ocorre com cada uma das variáveis em cada parte do cânion. Na sequência, ele aplica esse exemplo para o que ocorre com o sistema cardiovascular, mostrando as diferenças e semelhanças entre os dois sistemas. O autor sugere que esse material deve ser utilizado pelos alunos através de uma leitura formal, no qual os problemas são dados a eles e é deixado tempo para que resolvam antes de prosseguirem. O autor sugere que junto com o material escrito pode ser utilizado fotografias, vídeos ou áudio para a apresentação dos problemas.

O artigo de Kozlova, Chernysh e Matteys (2000) surgiu de uma pesquisa, nas aulas de Medicina relacionadas aos conceitos da fisiologia do fluxo sanguíneo. Para ensinar esse assunto os autores propuseram utilizar modelos matemáticos, utilizando a lei de Poiseuille em sua forma diferencial. O modelo matemático sugerido no artigo pode ser utilizado para estimar numericamente o valor de quantidade de água entre a capilaridade e o tecido e para estimar o fluxo sanguíneo. Segundo os autores, o modelo é eficiente no ensino relacionado à fisiologia de fluxo sanguíneo, embora não tenham apresentado nenhum relato de sua aplicação em sala de aula, nem análise qualitativa e quantitativa das aulas para justificar tal afirmação.

Möllmann e demais autores (2001) exploram diversas atividades que podem ser realizadas a partir de um detector de radiação de infravermelho, propondo atividades para Mecânica, Acústica, Termodinâmica, Eletricidade, Magnetismo e Óptica, citando suas aplicações na tecnologia.

No trabalho de Maclsaac e Hämäläinen (2002) há a recomendação, através de um aparelho ultrassônico móvel, de quatro situações em que se pode utilizar o aparelho em sala de aula.

Kortemeyer (2007), diferentemente dos demais, não dá sugestões de aulas, de formas de ensinar alguns conteúdos específicos, mas, após pesquisa qualitativa, sugere como estruturar a disciplina de Biofísica para a Medicina. O resultado da sua pesquisa pode ser observado na Tabela 3.

Segue, na sequência, a síntese dos artigos que propõem uma didática de ensino, implementando-a, entretanto, sem avaliá-la.

Anderson e Dicarlo (2000) desenvolveram um experimento virtual para ensinar sobre o eletrocardiograma (ECG) e o eixo elétrico médio (MEA). Tal experimento visa substituir as atividades com seres vivos para a compreensão do funcionamento do coração, pois essas ocasionam muitos debates éticos, além de possuírem valor monetário maior do que um software. O programa foi desenvolvido, pois os autores acreditam que apenas atividades teóricas dificultam o aprendizado dos alunos. Segundo os autores, o experimento pode ajudar os alunos na aprendizagem ativa e crítica através de discussões em pequenos grupos, instigando-os a resolverem problemas. Os autores mencionam que esse material foi aplicado, entretanto, não detalha sua aplicação. A metodologia utilizada pelos autores na implementação do material foi: 1) estudo formal sobre o assunto através de leitura; 2) os alunos foram ensinados a trabalharem com o software; 3) foram instigados a reduzir os dados, analisando-os posteriormente, calcular e plotar o MEA; 4) finalmente, deveriam responder questões relacionadas a teoria e a aplicação do ECG. Os autores colocaram as perguntas feitas aos alunos e as respostas corretas para possível reprodução da aplicação por outros profissionais.

O artigo de Pontiga e Gaytán (2005) surgiu do desenvolvimento de uma atividade experimental para ensinar aos alunos princípios da hidrodinâmica, mais precisamente, a lei de Poiseuille e a equação de Bernoulli. Através da atividade experimental os estudantes deviam perceber a relação entre pressão e fluxo sanguíneo, facilitando a compreensão dos mais

complexos problemas envolvendo essa relação. Este experimento é um modelo do funcionamento do sistema circulatório, ligado a um programa de captação de dados via computador (Pico ADC-16), que utiliza os dados das atividades experimentais, sendo possível comparar os dados obtidos experimentalmente com a teoria.

O último artigo, referente a propostas didáticas, é de West (2008). O autor comenta sobre a dificuldade que os alunos de Medicina e demais estudantes de graduação possuem para entender o sistema respiratório, especialmente por envolver muitos conceitos físicos. Com o intuito de diminuir essa problemática, o autor elaborou um material e o aplicou com alunos que cursavam a disciplina Fisiologia na graduação (o autor não quantificou esse dado). A metodologia foi a seguinte: 1) leitura em grupos (aproximadamente 12 alunos), de cada um dos três textos entregues pelo professor (o primeiro texto referia-se a uma introdução sobre a estrutura e a função do pulmão, o segundo referia-se à ventilação e o terceiro sobre o mecanismo de respiração); 2) desenvolvimento, pelos alunos, de seis atividades experimentais, três em uma tarde e três em outra; 3) cada aluno, individualmente, devia responder uma situação-problema que era apresentada para os demais grupos. Os seis tópicos no laboratório versavam sobre: espirometria (incluindo curvatura do fluxo em função do volume), medida da capacidade de difusão do pulmão para monóxido de carbono, controle de ventilação, exercício, expiração de gases diferentes, tais como nitrogênio e medida cardíaca da respiração.

2.2.4 Divulgação científica

Há também vários artigos (16) que foram caracterizados como de divulgação científica. Estes artigos foram subdivididos em três categorias: 1) artigos essencialmente históricos (10); 2) artigos que explicam o funcionamento de equipamentos utilizados na Física aplicada à Medicina (4); 3) artigos que tratam de algum aspecto da influência dos meios de comunicação (2).

Dos dez artigos considerados históricos, quatro são de periódicos nacionais e seis são de periódicos internacionais. A seguir, há uma análise de tais artigos.

Schickore (2000) preocupa-se com a diversidade das pesquisas microscópicas no século XIX nas ciências da vida. Mais precisamente o artigo analisa dois pesquisadores, Ernest Wilhelm Brücke and Heirich Müller, que investigaram a estrutura e a função da retina.

Seguiram para isso diferentes caminhos, assim desenvolvendo relatos completamente diferentes a respeito desse órgão e de seu papel no processo de visão. Ambos usaram investigação microscópica, preocupando-se com a interpretação psicológica e, também, empregaram a Física na pesquisa microscópica. As suas abordagens diferiam em relação à maneira de lidar e preparar os tecidos e, também, em relação às ferramentas conceituais aplicadas aos dados encontrados. Esta pesquisa indica que a tendência comum de associar pesquisa microscópica, principalmente com estudos morfológicos de material orgânico, não é apropriado.

Navarro et al. (2008) apresentam o histórico da descoberta das radiações ionizantes, seus efeitos biológicos e a conseqüentemente necessidade de controle dos respectivos riscos à saúde. Também descreveram a evolução histórica do controle de risco em radiodiagnóstico no Brasil, demonstrando que esse pode estar associado não apenas à dose absorvida, mas a erros de diagnóstico e a custos para o sistema de saúde.

Almeida (2008) busca descobrir os motivos que levaram Carlos Chagas Filho a não seguir a carreira de Medicina em Manguinhos (uma instituição de pesquisa) para, ao invés disso, estudar Biofísica e trabalhar em uma Universidade. A principal contribuição de Carlos

Chagas Filho, citada pelo autor, foi à ideia de que a universidade não é apenas lugar de ensino, mas também de pesquisa, pois através da pesquisa se aprende.

Ortega (2006) descreve que a utilização de aparelhos, que utilizam radiação e que possibilitam as pessoas observarem o próprio interior, causou muitas críticas no seu surgimento, pois possibilitavam a visualização do interior do corpo humano, de partes íntimas. Tais aparelhos trouxeram também muitos mitos, como a utilização dos Raios-X para espionar a vida alheia, por esse motivo, segundo muitos na época, tal tecnologia não deveria ser utilizada. Hoje, alguns exames que utilizam os Raios-X são utilizados para defender pessoas que cometeram crimes, justificando que há anomalias cerebrais que são responsáveis pelo ato criminoso. Portanto, segundo o autor, essas tecnologias extrapolam o campo estritamente científico e se introduzem no campo cultural e jurídico.

Tossato (2005) busca, através da história do olho humano, compreender o desenvolvimento das teorias Ópticas no período que vai da Grécia antiga até o final do século XVI. No século XVII, iniciaram-se os trabalhos revolucionários de Keppler que não fizeram parte do artigo. O autor procurou levantar alguns pontos relativos à importância do olho humano, no ato da visão, em relação à Filosofia, à Anatomia e à Matemática.

Borck (2001) buscou fazer uma descrição histórica da utilização da eletricidade para o desvendamento do funcionamento do cérebro, relacionando a eletricidade com a vida psíquica. Tal artigo traçou a emergência da eletrofisiologia como uma ferramenta anterior a do eletroencefalograma, o qual usava ondas elétricas do cérebro para tentar diagnosticar a personalidade controlada por fenômenos elétricos. Esse tipo de diagnóstico abriu as portas para a cultura científica e pública da eletricidade e processos físicos em Weimar, Alemanha. Segundo essa teoria, era possível saber a personalidade das pessoas através da leitura das ondas elétricas enviadas pelo cérebro. Essa teoria espalhou-se por várias instituições de orientação vocacional. Mais tarde, os neurocientistas adaptaram o eletroencefalograma para representar as variações neuropsicológicas. Dessa forma, o aparelho deixou de ser utilizado apenas para tentar diagnosticar a personalidade, passando a ser usado também para compreender processos psíquicos.

Hyder (2001) faz um relato histórico a partir da leitura de artigos de Helmholtz entre 1860 a 1870, distinguindo entre intuição e Óptica geométrica, analisando que os trabalhos de geometria de Helmholtz foram essenciais para seu trabalho sobre psicologia sensorial. Segundo Hyder (2001), as principais contribuições de Helmholtz foram: 1) a propriedade de um continuum das cores; 2) a influência da distância e das medidas; 3) o comportamento da anatomia para realizar medidas através da geometria. Helmholtz dividiu a teoria das cores primárias em três grupos: teoria Física, de pigmentos e fisiológica. A conclusão do autor é que Helmholtz percebe a geometria como uma ferramenta de medida. A exata forma que esse sistema toma dependerá do meio e do ambiente físico que os cientistas experimentais utilizam.

Debru (2001) escreveu um artigo histórico que relata sobre a descoberta de Helmholtz no ano 1850 por Helmholtz, da velocidade do impulso nervoso em sapos e as consequências de tal fato para a fisiologia humana. As concepções de Helmholtz do espaço temporal da percepção possuem aplicação tanto na Psicologia quanto na Fisiologia. As duas principais consequências de seus estudos são que ele mostra que nem estímulo ambiental chega simultaneamente ao cérebro e nem que as informações vindas do cérebro chegam imediatamente a serem transformadas em ação.

Nye (2000), em seu artigo, visa resumir os trabalhos de Linus Pauling, que possui contribuições importantes na Biologia, na Física e na Química. Pauling, muitas vezes, trabalhava de forma conjunta com mais de uma disciplina, por exemplo, no caso de sua descoberta sobre a ressonância de energia, descoberta na Física Quântica, mas que Pauling encontrou na Química uma aplicação maior. Para fazer esse trabalho, a autora utilizou 89

referências bibliográficas, a maioria escrita pelo próprio Linus Pauling, ou seja, o trabalho é bem fundamentado.

Mosini (2000), busca a história da ressonância a partir do surgimento dessa teoria, com a interpretação de Pauling e Wheland, até sua aplicação na Medicina, mais especificamente, nos aparelhos de Ressonância Magnética Nuclear (RMN).

Dos quatro artigos que explicam o funcionamento dos equipamentos utilizados na Física aplicada à Medicina, três são de periódicos brasileiros e um de periódico internacional. Na sequência, há sua descrição.

Nos periódicos brasileiros há: Machado, Pleitez e Tijero (2006) que expõem a forma como a antimatéria tem aplicações na Tomografia por Emissão de Pósitron (PET); Carneiro et al. (2000) que descrevem, de forma sucinta, o desenvolvimento e as aplicações de uma nova interface entre a Física e a Medicina que é o Biomagnetismo e Guimarães (2000) que descreve algumas características da RMN e a sua importância no estudo de materiais magnéticos.

Nos periódicos internacionais há apenas o artigo de Jesse (2008) que se autoinjeta um marcador chamado Cardiolite para determinar o tempo que o material demora a ser eliminado do corpo através de um contador Geiger Muller.

Dos dois artigos que surgiram de pesquisas referentes à influência dos meios de comunicação, um é de periódico brasileiro e um é de periódico internacional. Em seguida, há sua descrição.

Chazan (2007) apresenta os resultados de uma pesquisa realizada em três clínicas que realizam exames de Ultrassonografia, para perceber as crenças médicas e não-médicas que rondam esse tipo de exame.

Chew, Schmid e Gao (2006) pesquisaram sobre as influências que os meios de comunicação possuem sobre as mulheres em relação aos exames de mamografia. Para isso as autoras recorreram a dois institutos nacionais de câncer. Obtiveram que o número de mulheres que consideram o exame de mamografia importante, a partir de 40 anos de idade, e não mais com 50 anos, aumentou com a divulgação de diretrizes de segurança da mamografia. A divulgação das diretrizes de segurança da mamografia foi comparada com a percepção das mulheres. Foram realizadas entrevistas com oito jornalistas de periódicos da saúde que enfatizaram a importância de existir uma prática baseada em conhecimentos científicos. Estes devem ser amplamente divulgados para influenciar positivamente a prática das pessoas.

De modo geral, foi possível constatar que pesquisas sobre conhecimentos prévios dos estudantes, embora muito desenvolvidas em áreas como Mecânica, Termodinâmica, Óptica ou Eletromagnetismo, são muito escassas na Física aplicada à Medicina.

As pesquisas mostram que os alunos possuem muitas dificuldades em compreender conhecimentos de Física aplicados à Medicina, por isso têm surgido tentativas, algumas delas utilizando atividades experimentais e novas tecnologias, porém seus resultados estão longe de serem conclusivos.

Como pode-se observar na Figura 1, o interesse a respeito da Física aplicada à Medicina parece ser algo constante e pequeno ao longo do tempo. Se somados os artigos dos periódicos nacionais e internacionais nos cinco primeiros anos pesquisados, há 18 artigos e, nos últimos cinco anos, também há a mesma quantidade. Entretanto, se for observada a Figura 2, pode-se notar que houve um aumento das publicações nacionais na área e um decréscimo das publicações nos periódicos internacionais.

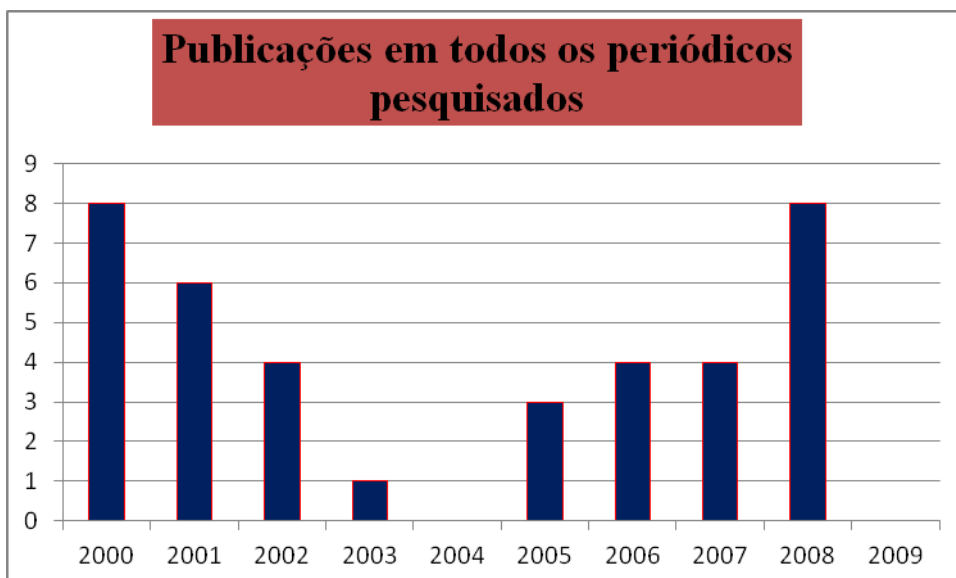


Figura 1: relação dos artigos encontrados em periódicos nos últimos dez anos.

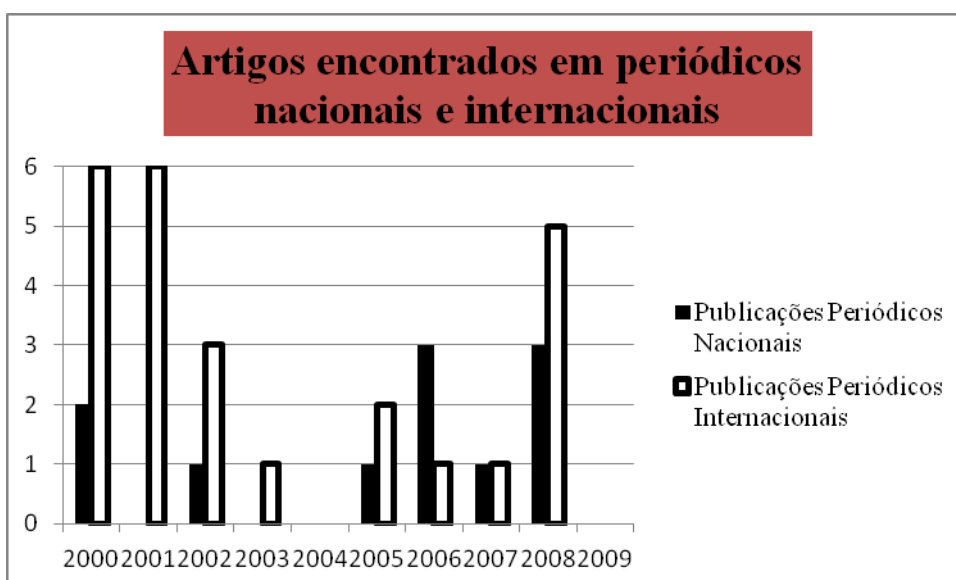


Figura 2: relação dos artigos encontrados em periódicos nacionais e internacionais nos últimos dez anos.

No próximo capítulo será apresentado o marco teórico e epistemológico que guiou a presente pesquisa. Primeiramente, foi feito um apanhado geral da situação atual do ensino de Física no Brasil e as suas perspectivas. Em seguida, foram explicitados os pontos que foram usados da Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel (2002), da Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica de Moreira (2005) e da Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud (1990). Por fim, foi explicitado o referencial epistemológico utilizado na pesquisa, embora o referencial mais importante seja o de aprendizagem, pois nele está baseada a organização do ensino utilizado. O referencial toulminiano foi utilizado devido à ênfase que o trabalho tem em conceitos, analogamente a Ausubel e Vergnaud que também enfatizam muito. Como no curso foi trabalhado a passagem da Física Clássica (F.C.) para a Física Moderna e Contemporânea (F.M.C), também utilizou-se a epistemologia toulmiana para mostrar que alguns conceitos são abandonados quando resolvem problemas, enquanto outros envolvem e continuam sendo utilizados na nova teoria. Este trabalho não prioriza a epistemologia.

3. MARCO TEÓRICO E EPISTEMOLÓGICO

Neste capítulo, é apresentada uma contextualização do ensino de Física no Ensino Médio, algumas leis e projetos que guiam o trabalho dos professores, os referenciais teóricos de aprendizagem e o referencial epistemológico que foram utilizados no presente trabalho.

3.1 Marco Teórico

3.1.1 O Ensino de Física

Analisando o currículo de Física do Ensino Médio no Brasil, pode-se perceber que o mesmo está defasado; os conteúdos previstos para serem ensinados são os formulados antes do século XIX. Conteúdos, por exemplo, de Física Quântica, Física de Partículas, que possuem muitas aplicações em áreas como a Física aplicada à Medicina, na maioria das vezes não são nem vistos no Ensino Médio e se o são não estão associados às tecnologias, ao meio ambiente, ao dia-a-dia do aluno, dificultando a ocorrência da aprendizagem significativa.

Valadares e Moreira (1998), por exemplo, observaram que é muito importante que os estudantes conheçam os fundamentos da tecnologia, já que ela atua diretamente na vida das pessoas.

O ensino de Física, em muitas escolas, ocorre através de métodos repetitivos que não motivam o interesse dos alunos, dando-lhes a impressão de ser uma ciência morta, que não tem muito a ver com sua realidade. O interesse e o aprendizado então são postos de lado; o estudante, muitas vezes, precisa decorar fórmulas e métodos para a resolução de questões, que apenas servem para as provas. Além disso, a Física é ensinada como uma área do conhecimento isolada das demais. O livro texto ganha ênfase, as aulas são apenas teóricas com exercícios repetitivos, que nada acrescentam no raciocínio-lógico.

Felizmente, ainda em meio a muitas problemáticas, está surgindo uma nova consciência, pois muitos estão tentando mudar esta realidade se adequar às novas propostas, por perceberem que o papel da escola vai muito além daquele de, simplesmente, passar informações. Para tanto a criação e confecção de experimentos com materiais de baixo custo (e/ou sucatas) são uma alternativa para o professor, que na maioria das vezes não possui recursos para obter materiais sofisticados. A utilização de tal abordagem permite a facilidade na reposição de materiais em caso de estragos, além de possibilitar que todos os alunos manuseiem os instrumentos.

É do consenso dos professores de Física, e também de acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN's), que a experimentação e a ludicidade são necessárias para a

aprendizagem, uma vez que é através dela que se aprendem muitas das leis físicas. Essa junção da teoria com a prática contribui para o desenvolvimento do raciocínio lógico, para a argumentação, ajudando o aluno (a) a posicionar-se criticamente em relação a temas de ciência e tecnologia (dentre outros).

Nesse sentido, as aulas experimentais precisam deixar de ser meras demonstrações por parte dos professores, não sendo apenas um espaço no qual os alunos manuseiam os instrumentos, sem relacionar a experimentação aos conceitos.

Um erro muito grave que ocorre é o fato de os alunos (e muitas vezes os professores) repetirem conceitos, leis, princípios sem compreender suas relações, ou seja, sem compreender o contexto nos quais eles surgem. Isso, muitas vezes, impede os alunos de dar sentido ao que estudam. De acordo com Robilota:

As teorias físicas são as estruturas que representam este conjunto de conceitos, leis, princípios e convenções, unindo as leis e os fatos em uma unidade coerente, que na maioria das vezes é traduzida por um modelo. Cada conceito tem um significado e um lugar dentro da teoria, determinando a teoria ao mesmo tempo em que é determinado por ela. Os conceitos são articulados entre si de tal modo que partindo-se de um deles pode-se chegar aos demais (Robilota, 1997, p.35).

Esse pode ser um indicativo importante para o ensino de Física ser repensado. Os conceitos devem ser contextualizados. Todos precisam compreender a teia de relações em que os conceitos estão envolvidos. É necessário incentivar o gosto pela Física.

Neste trabalho, propõe-se uma alternativa que parte de situações vivenciadas pelos alunos, enfim do que Ausubel chama de subsunção, utilizando várias estratégias como uma ponte criativa entre o pensamento de caráter não-científico para o científico, proporcionando-lhes, assim, o mínimo de condições para uma iniciativa científica que proporcione uma aprendizagem significativa.

3.1.2 Perspectivas para o Ensino da Física

Segundo os PCN's, o Ensino Médio deve deixar de ser simplesmente preparatório para o Ensino Superior ou estritamente profissionalizante, para assumir a responsabilidade de preparar o aluno para a vida, qualificar para a cidadania e capacitar para o aprendizado permanente, em eventual prosseguimento dos estudos, diretamente no mundo do trabalho e principalmente para o exercício da cidadania e da crítica.

Num mundo como o atual, de tão rápidas transformações e de tão difíceis contradições, estar formando para a vida significa mais do que reproduzir dados, dominar classificações ou identificar símbolos, significa:

- Saber se informar, comunicar-se, argumentar, compreender e agir;
- Enfrentar problemas de diferentes naturezas;
- Participar socialmente, de forma prática e solidária;
- Ser capaz de elaborar críticas ou propostas;
- Especialmente, adquirir uma atitude de permanente aprendizado (Brasil, 1996, p. 09).

Portanto, é necessário ensinar Física para a vida, para a cidadania, ou seja, para ajudar os aprendizes a lidar com situações reais, por exemplo, exames radiológicos.

O desafio dos PCN's é, portanto, buscar meios para concretizar essas novas metas, especialmente dentro da realidade escolar hoje existente no país, orientando, juntamente com

outras propostas, como deve ser o ensino e quais devem ser os caminhos a serem seguidos pelos profissionais da educação para alcançarem os objetivos propostos nos PCN's.

No mesmo sentido, a Proposta Curricular de Santa Catarina (1998), As Lições do Rio Grande (2009) e as Diretrizes Curriculares de Física do Paraná (2009), sugerem que o conhecimento, incluindo o estudo da Física, deve expressar a importância das ciências, da percepção humana, das regularidades naturais, de modo a dar sentido e importância ao que o aluno está aprendendo. Dessa forma, mostrando que o ser humano e a ciência são instrumentos e ao mesmo tempo resultados da capacidade deles de transformar o meio natural e de transformar a si mesmo:

Por isso, as ciências não são independentes das técnicas, das quais dependem e para as quais contribuem o caráter histórico, expressado nas diferentes áreas científicas que revela o trabalho de mediação entre homem e natureza, resultando nos conhecimentos que constituem nossa cultura (Santa Catarina, 1998, p.116).

Dessa forma, as ciências são importantes para o desenvolvimento da cidadania.

Quando os alunos não têm oportunidade de contato com equipamentos elementares da tecnologia, a escola precisa oferecer essa aproximação. Fornecendo-lhes não só o acesso e condição de compreensão ativa dos principais equipamentos de uso difundido, mas encaminhando-os para uma participação efetiva, compreendendo, além do domínio das técnicas, a importância do conhecimento e da disciplina, desenvolvendo neles o gosto pela ciência. “O desrespeito à leitura de mundo do educando, revela o gosto elitista, portanto antidemocrático, do educador que, dessa forma, não escutando o educando, com ele não fala deposita seus comunicados” (Freire, 1996).

Portanto, deve-se partir dos conhecimentos dos alunos e fazer com que esses participem na construção do próprio conhecimento, pois não se aprende pela educação bancária, tão combatida por alguns pensadores como Freire, Ausubel, Piaget e Vygotsky, mas levando o aluno a tornar-se alguém atuante no processo de construção da educação, que deixa de ser um processo em que o professor é o dono do conhecimento e o aluno uma tábua rasa, que nada tem a contribuir. “No fundo, o essencial nas relações entre educador e educando, entre autoridade e liberdade, entre pais e mães, filhos e filhas é a reinvenção do ser humano no aprendizado de sua autonomia” (Freire, 1996).

Na realidade, o aprendizado acontece, com sua total autonomia, quando educador e educando aprendem a construir o conhecimento e não apenas a reproduzi-lo.

3.1.3 Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) de Ausubel

Nesse mesmo enfoque, há a teoria ausubeliana da aprendizagem significativa. Segundo Ausubel, quem quer ensinar significativamente precisa descobrir o conhecimento prévio do aluno e, a partir daí, ensinar de acordo, pois o conhecimento prévio é a variável que mais influencia na aprendizagem.

A aprendizagem significativa envolve a interação seletiva entre o novo material de aprendizagem e as ideias pré-existentes na estrutura cognitiva. Iremos empregar o termo ancoragem para sugerir uma ligação com as ideias pré-existentes ao longo do tempo. Por exemplo, no processo de subsunção, as ideias subordinadas pré-existentes fornecem ancoragem à aprendizagem significativa de novas informações (Ausubel, 2002, p. 3).

Para que a aprendizagem significativa ocorra é necessário que o novo conteúdo se relacione interativamente com a estrutura cognitiva do ser que está aprendendo. Para Ausubel, estrutura cognitiva é “uma estrutura hierárquica de conceitos que são representações de experiências sensoriais do indivíduo” (Moreira, 2004b, p. 28). A denominação recebida por esses conceitos já presentes na estrutura cognitiva é “subsunçor”.

A aprendizagem significativa é progressiva, ou seja, os significados são internalizados e captados progressivamente e, nesse processo, a interação social e a linguagem são cruciais.

No processo de aprendizagem significativa proposta por Ausubel, um elemento muito importante é a ancoragem cognitiva, ou seja, o sujeito, ao adquirir novos conhecimentos de maneira significativa, ancora internamente as informações novas a seus subsunçores.

Como firma Ausubel:

A aprendizagem significativa envolve a interação seletiva entre o novo material de aprendizagem e as ideias pré-existentes na estrutura cognitiva. Iremos empregar o termo ancoragem para sugerir a ligação com as ideias pré-existentes ao longo do tempo. Por exemplo, no processo de subsunção, as ideias subordinadas preexistentes fornecem ancoragem à aprendizagem significativa de novas informações (Ausubel, 2002, p. 3).

Segundo Ausubel (2002), todo o processo de pensamento é composto basicamente por representações mentais, construídas de duas formas: 1) socialmente, através de negociações e construções de significados; 2) individualmente, como os esquemas de assimilação e os conhecimentos prévios.

Para que realmente ocorra uma aprendizagem significativa e não-mecânica é fundamental considerar o conhecimento que o aluno já possui, denominado por Ausubel de conhecimentos prévio. Isto deve-se ao fato de o conhecimento decorrer quase que exclusivamente da interação de conhecimentos antigos e novos. O resultado desse processo Ausubel chama de assimilação.

Porém, segundo Ausubel (2002), os primeiros conceitos, ou seja, quando não há subsunçor, são formados pela observação da criança e pela sua interação com outras pessoas e com o mundo. Trata-se de uma reconstrução de algo já construído pela sociedade e que apenas tem significado no âmbito social, no qual é compartilhado. A socialização de um significado é guiada pelo uso da linguagem verbal e não-verbal. Dessa forma, a construção de conhecimento depende da aprendizagem dos significados compartilhados dos conceitos.

Quando os alunos não apresentam subsunçores, uma forma de ajudar a formá-los é através dos organizadores prévios, que, em conjunto com os diagramas V e os mapas conceituais, são estratégias facilitadoras da aprendizagem:

A fim de melhorar a aprendizagem em sala de aula, pode-se elaborar uma proposta que considere os conhecimentos prévios dos alunos buscando perceber os subsunçores que os alunos possuem para partir desses. Na hipótese de não haver subsunçores haverá a necessidade de produzi-los através dos organizadores prévios e sistematizando esses conhecimentos através de várias metodologias tais como os mapas conceituais e o *V de Gowin* (Moreira, 2006, p. 25).

Os organizadores prévios são mecanismos pedagógicos que auxiliam a aprendizagem significativa, estabelecendo uma relação do que o aluno já sabe com o que precisa saber.

Organizadores prévios são materiais introdutórios apresentados antes do material de aprendizagem em si mesmo, em um nível mais alto de abstração, generalidade e inclusividade, para servir de ponte entre o que o aprendiz já sabe e o que deveria

saber para que esse material fosse potencialmente significativo ou, mais importante, para mostrar a relacionabilidade do novo conhecimento com o conhecimento prévio (Moreira, 2005, p. 16).

Os mapas conceituais são diagramas que apresentam relações apenas entre conceitos e procuram refletir a estrutura conceitual de certo conhecimento através deles. Segundo Moreira (2005), apresentá-los, construí-los, refazê-los, discutir sobre eles são processos que facilitam a aprendizagem significativa.

Os diagramas V são utilizados para analisar o processo de construção do conhecimento. A Figura 3 é um exemplo de diagrama V que sintetiza a TAS. Assim como nos mapas conceituais, apresentá-los, construí-los, refazê-los, discutir sobre eles são processos que facilitam a aprendizagem significativa.

Depois que os primeiros conceitos são formados, inicia-se o processo de assimilação, que é influenciado pelas aprendizagens anteriores e pela interação entre o subsunçor e o novo conhecimento.

Segundo Ausubel (2002), os subsunçores são fundamentais, pois são neles que as informações novas vão sendo ancoradas interativamente durante o processo de aprendizagem significativa.

Um subsunçor pode estar em oposição a um dado conteúdo, mas, ainda assim, pode ser importante para o sujeito, por isso, é necessário compreender os significados que o sujeito possui.

Segundo Moreira (2004b, p. 24), o processo de detalhamento, refinamento e especificidade de um subsunçor é denominado princípio da diferenciação progressiva. Conforme esse princípio parte-se do geral (mais importante) ao específico (trabalhando através de exemplos, exercícios, situações). Já a exploração das ligações entre conhecimentos prévios, recombinação e relacionando conhecimentos, nos quais se buscam diferenças e semelhanças entre o conhecimento, é conhecido por reconciliação integradora.

Para Ausubel (2002), partindo dessas relações, pode-se intervir para modificar um subsunçor, tornando-o adequado para que a ancoragem ocorra significativamente, ou mesmo construí-lo, caso não exista. Outro fator muito importante para que ocorra a aprendizagem significativa é que o aluno esteja pré-disposto a aprender.

Alguns pontos principais da aprendizagem significativa estão no diagrama apresentado na Figura 3.

3.1.4 A Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica (TASC)

Segundo Moreira (2005), “a aprendizagem significativa crítica é aquela perspectiva que permite ao sujeito fazer parte de sua cultura e ao mesmo tempo estar fora dela” (Moreira, 2005, p.12).

Este autor propõe nove princípios para a TASC, mas na presente dissertação foram usados quatro desses princípios, descritos a seguir.

1º Princípio da interação social e do questionamento. Ensinar/aprender perguntas ao invés de respostas.

No processo de ensinar-aprender, é indispensável a interação entre aluno e professor. Essa interação deve visar ao compartilhamento de significados, baseada mais em perguntas do que respostas, valorizando mais a dúvida do que a certeza.

O ensino tradicional valoriza mais as respostas do que as perguntas, pois o professor ensina respostas “corretas” e as cobra nas provas. Se forem mais valorizadas as perguntas do que as respostas, incentiva-se o aluno a aprender a aprender, estimulando-o a criticar e a

construir o seu próprio conhecimento, embora continue sendo importante haver momentos em que o professor explique algo e ministre aulas expositivas.

Quando o aluno faz uma pergunta substantiva e apropriada há indícios de aprendizagem significativa.

2º Princípio da não-centralidade do livro de texto. Do uso de documentos, artigos e outros materiais educativos. Da diversidade de materiais instrucionais

Quando se utiliza exclusivamente o livro de texto, passa-se ao aluno a sensação de que o conhecimento está pronto à espera do aluno aprendê-lo passivamente. Quando se utiliza, por exemplo, um artigo, o conhecimento está sintetizado nele e cabe ao aluno o questionamento, a dúvida.

Para que ocorra uma aprendizagem significativa crítica há necessidade de o professor utilizar vários materiais instrucionais, não que o livro de texto deva ser abandonado, mas deve ser apenas uma das estratégias de ensino.

3º Princípio da aprendizagem pelo erro

O educador deve ter em mente que é da natureza humana errar. Pensando dessa forma deve-se incentivar os aprendizes a aprender a partir da correção de seus erros e ensinando-os que não há verdade absoluta. “Errado é pensar que a certeza existe, que a verdade é absoluta, que o conhecimento é permanente” (Moreira, 2005, p. 6).

Para incentivar o progresso da ciência a partir do erro, os professores devem trabalhar com a evolução da ciência, na qual teorias consideradas certas em uma época são substituídas por outras posteriormente.

Portanto, o professor deve ser um detector de erros, deve buscar encontrar nos alunos erros em seus conhecimentos e habilidades e ajudá-los a saná-los, instigando os alunos a também buscarem e encontrar erros, ou seja, a serem críticos.

O conhecimento não deve ser ensinado como verdade absoluta e acabada.

4º Princípio da não-utilização do quadro-de-giz. Da participação ativa do aluno. Da diversidade de estratégias de ensino

O quadro-de-giz representa um meio pelo qual o aluno espera que esteja imersa a realidade, a verdade absoluta, portanto imutável.

Essa ferramenta é utilizada para passar essas “verdades” ao aluno, para resolver problemas, os quais os alunos apenas copiam e estudam na véspera das provas e depois esquecem, ou seja, para proporcionar apenas uma aprendizagem mecânica.

Deve-se ter cuidado, pois a utilização de outras estratégias de ensino, tais como o *projektor multimídia*, podem reproduzir esse método.

Assim, deve-se promover um ensino centrado no aluno, partindo de diversas estratégias de ensino, tais como jogos, atividades experimentais, debates e apresentações.

3.1.5 A Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud

Vergnaud foi discípulo de Piaget, mas ao contrário deste valoriza o conteúdo do conhecimento e sua análise conceitual, pois o desenvolvimento cognitivo depende de situações e de conceitualizações específicas necessárias para lidar com elas. Quando o professor se interessa pela sala de aula, precisa se preocupar com o conteúdo que irá ensinar, pois as dificuldades dos estudantes não são as mesmas em campos conceituais distintos.

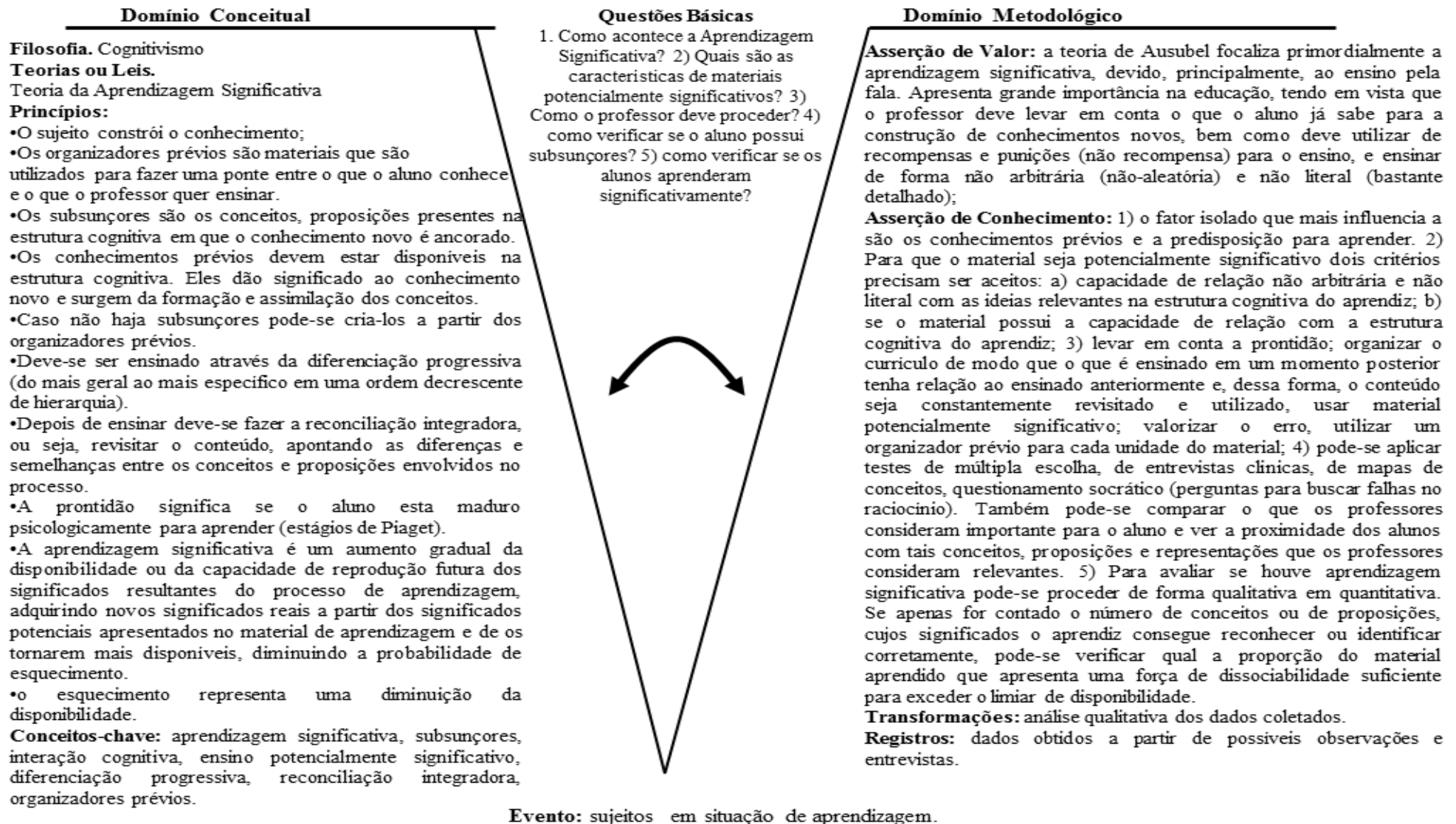


Figura 3: a Teoria de Aprendizagem Significativa de Ausubel, representada em um diagrama V.

O autor enfatiza a relevância dos conhecimentos prévios que os alunos possuem analogamente a Ausubel (2002). Utiliza as noções de esquema, assimilação, acomodação, adaptação de Piaget (1976). Considera a linguagem como uma ferramenta importante na mediação do conhecimento e leva em consideração a Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP) do aluno analogamente a Vygotsky (2007). Teoriza que os conceitos evoluem ao longo do tempo e considera importante a negociação de significados assim como a epistemologia de Toulmin (1977).

3.1.5.1 Campos conceituais

A teoria dos campos conceituais de Vergnaud é uma teoria psicológica cognitivista, que se ocupa do estudo do desenvolvimento e da aprendizagem de conceitos e competências complexas, permitindo explicar como se gera o conhecimento no sujeito. Vergnaud compreende por conhecimento tanto o saber fazer quanto o saber dizer. O saber fazer e o saber dizer estão intrinsecamente ligados a teoria, aos conceitos, teoremas, por exemplo, um aluno apenas conseguirá resolver um problema e dizer como fez baseado em teorias (não apenas dando a solução). Ao fazer e explicitar acaba aprendendo conceitos e teorias, desta forma, o saber fazer, dizer e a teoria estão intrinsecamente relacionados de forma dialética, ou seja, um dependendo do outro.

Campos conceituais são conceitos que estão ligados e, portanto devem ser estudados em conjunto. Estes conceitos se relacionam a partir de situações que os sujeitos enfrentam. Neste processo utilizam-se procedimentos, concepções e representações simbólicas com o objetivo de dominar tais situações. Portanto, um campo conceitual é “um conjunto de situações as que o manejo, a análise e o tratamento que realiza a pessoa requerem uma variedade de conceitos, procedimentos e representações interconectadas em estreita conexão” (Vergnaud, 1990).

De outra forma:

Por campo conceitual eu entendo um conjunto informal e heterogêneo de problemas, situações, conceitos, relações, estruturas, conteúdos e operações de pensamento conectadas, umas com outras e suscetíveis de ser relacionadas durante o processo de aquisição. O domínio do campo conceitual não ocorre em alguns meses, nem tampouco em alguns anos. Ao contrário, novos problemas e novas propriedades devem ser estudadas ao longo de vários anos se quisermos que os alunos progressivamente os dominem. De nada serve rodear as dificuldades conceituais; elas são superadas na medida em que são detectadas e enfrentadas, mas isto não ocorre de uma só vez (Vergnaud, 1995 apud Moreira, 2004a, p.42).

Portanto, o professor deve buscar detectar os erros conceituais ou a falta de conceitos relevantes a estrutura cognitiva dos alunos. Esta detecção precisa ser considerada no ensino, que precisa buscar eliminar tais erros e a falta de conhecimentos relevantes pelos alunos.

Os campos conceituais têm como objetivo dar conta dos conhecimentos contidos nas ações, tais como para analisar as ideias que são interconectadas e como isto gera conceitos e representações através do tempo e na resolução de problemas.

Entretanto, “um problema não é um problema para um indivíduo a menos que o indivíduo tenha conceitos que o capacitem para considerá-lo como um problema” (Vergnaud,

1998 apud Moreira, 2004 a, p. 22).

Para compreender a formação dos campos conceituais há a necessidade de análise de diferentes relações implicadas entre os conceitos e o estudo hierárquico, das distintas classes de problemas que se pode oferecer aos alunos, o estudo de diferentes procedimentos e as distintas representações simbólicas que os estudantes precisam usar.

Para avaliar o campo conceitual que o aluno possui o autor sugere as seguintes metodologias: 1º) analisar as situações definidoras de cada campo conceitual (exemplo: tarefas) e classificá-las; 2º) em cada uma destas classes de situações, descrever as condutas, procedimentos e pensamentos que os estudantes mostram (por exemplo: através de um diário de bordo); 3º) analisar as competências científicas exibidas pelos jovens como esquemas organizados, prestando atenção aos invariantes operatórios (por exemplo: a partir da gravação de situações-problema); 4º) estudar o papel da linguagem e de outras expressões simbólicas na comunicação ou externalização (por exemplo: a partir da análise de gravações de situações-problema e da confecção de mapas conceituais); 5º) observar o papel mediador do professor (por exemplo: a partir da análise de questionários referentes à avaliação do curso); 6º) delimitar a transformação dos invariantes que a docência gera (por exemplo: a partir da análise de testes feitos antes da intervenção do professor e testes depois da intervenção); 7º) analisar o processo em que o aluno se faz consciente da relação necessária entre metas que se devem alcançar (aprendizagem) e procedimentos que precisam ser utilizados (alcançando isto, por exemplo, a partir de gravação de situações-problema e explicação do professor).

Os conceitos estão relacionados a outros conceitos. Estas relações podem ser explicitadas a partir dos mapas conceituais. Entretanto, os campos conceituais não envolvem apenas conceitos e suas relações, mas também as situações, os procedimentos, que o professor também precisa estar atento.

3.1.5.2 Conceitos de Piaget utilizados por Vergnaud

Vergnaud é um neo-piagetiano, pois continua a considerar relevante, em sua teoria, alguns conceitos chave da teoria de Piaget, por exemplo, os conceitos de adaptação, acomodação, assimilação e esquema. Entretanto, diferentemente de Piaget, possui a convicção de que o processo de aprendizagem depende das disciplinas e do conteúdo que é abordado.

O conhecimento humano provém da adaptação. A escola tem como função criar conflito cognitivo bem como ajudar os alunos a assimilar e acomodar o conhecimento.

Segundo Vergnaud todas as pessoas desenvolvem processos de aprendizagem como forma de se adaptar à realidade. Para isto são usados três processos: 1º) transposição da explicação científica para a do ambiente escolar; 2º) mediação; 3º) conceitualização.

Vergnaud também utiliza o conceito piagetiano de esquema que é a forma invariante com que as pessoas se comportam frente a uma situação. Através dos esquemas organiza-se a ação para determinadas situações. Os esquemas são ferramentas de adaptação e dessa forma, determinam o comportamento frente a situações e não somente a objetos.

Os esquemas são geralmente implícitos enquanto que os conceitos são geralmente explícitos de algum modo. “Os esquemas são definidos como uma organização invariante de ação para certa classe de situações” (1990), portanto os esquemas geram as ações não só físicas como mentais.

Os esquemas não trabalham com conceitos diretamente, mas com situações em que os conceitos estão envolvidos. São as situações que dão sentido aos conceitos, gerando sua construção. O esquema gera uma resposta similar frente a situações similares, pois está constituído por uma organização invariante.

Não é a conduta que é invariante, mas sua organização, ou seja, há modos de organizá-la, que não precisam ser únicas. Por exemplo, na sala de aula um aluno pode ter o esquema que o guia a falar baixo, a prestar atenção, a não perguntar, mas pode ser que receba um elogio do professor e dos colegas pelo trabalho e isso forneça segurança para começar a perguntar mais na sala de aula.

De acordo com Vergnaud (1990) os esquemas são formados por:

- 1) metas e antecipações;
- 2) regras de ação do tipo “se... então”;
- 3) invariantes operatórios: teoremas-em-ação e conceitos-em-ação;
- 4) possibilidades de inferência: permitem “calcular”, “aqui e agora”, as regras e antecipações a partir das informações e invariantes operatórios que dispõe o sujeito.

Vergnaud afirma que os esquemas se referem necessariamente a situações ou classes de situações, onde ele distingue entre:

- 1) situações na qual o sujeito dispõe das competências necessárias ao tratamento relativamente imediato da situação;
- 2) situações na qual o sujeito não dispõe de todas as competências necessárias ao aprendizado.

Estas duas situações são análogas a ideia de Vygotsky (2007) de zona de desenvolvimento proximal (ZDP), que é a diferença entre o que a criança consegue fazer com a ajuda do outro (nível de desenvolvimento potencial) e o que ela consegue fazer sozinha (nível de desenvolvimento real).

3.1.5.3 Conceitos

Para Vergnaud: 1) um conceito não se forma com apenas um tipo de situação; 2) uma situação não se analisa com apenas um conceito; 3) a construção e a apropriação de todas as propriedades de um conceito ou todos os aspectos de uma situação é um processo de longa duração.

Desta forma, um conceito se faz significativo através de uma variedade de situações. Diferentes aspectos dos mesmos conceitos e operações estão implicados em distintas situações. Ao mesmo tempo, uma situação não pode ser analisada com a ajuda de apenas um conceito; ao menos são necessários vários conceitos. Esta é a principal razão para que os pesquisadores estudem campos conceituais e não situações e conceitos sozinhos.

Os conceitos formam os esquemas. O conceito não deve se reduzir a sua definição, adquirindo seus significados através do uso e aplicação a diferentes situações e problemas. Portanto, há a necessidade de abordar os conceitos a longo prazo e em mais de uma ocasião.

Quais são as condições para que ocorra a aprendizagem de conceitos?

Para que ocorra a aprendizagem efetiva dos conceitos deve-se: 1º) desenvolver os conceitos por resolução de problemas; 2º) as situações de resolução de problemas fazem os conceitos significativos; 3º) para se desenvolver conceitos complexos é necessário promover situações complexas; 4º) o desenvolvimento de conceitos não ocorre de forma natural.

Desta forma, é papel da escola e principalmente do professor, facilitar a aprendizagem e a evolução de conceitos, direcionando-os para os conhecimentos científicos.

Os conceitos são constituídos por três conjuntos:

- 1º) conjunto de situações que dão sentido ao conceito, o que é chamado de referente;
- 2º) conjunto de invariantes operatórios nos quais se baseia a operabilidade dos conceitos, o que é chamado de significado;
- 3º) conjunto que permite representar simbolicamente os conceitos, suas

propriedades, as situações e os procedimentos de tratamento, o que é chamado de *significante*.

“O conceito de situação não tem aqui o sentido de situação didática, senão sobretudo de tarefas, a ideia é de que toda a situação complexa pode ser analisada como uma combinação de tarefas” (Vergnaud, 1990).

O conceito apenas é completamente compreendido se o sujeito for capaz de explicitá-lo. Entretanto, há muitos conceitos e teoremas implícitos que são chamados de *invariantes operatórios* que guiam a ação do sujeito. O professor precisa buscar tornar os conceitos implícitos em explícitos.

3.1.5.4 Invariantes operatórios

O conhecimento-em-ação é sinônimo aos invariantes operatórios, sendo formado pelos teoremas-em-ação e conceitos-em-ação.

Um conceito-em-ação não é inteiramente um conceito, nem um teorema-em-ação é um teorema. Na ciência os conceitos e teoremas são explícitos e se pode discutir sua permanência e sua validade. Isto não ocorre necessariamente para os invariantes operatórios. Geralmente, estes não são explicitados, pois o sujeito não consegue fazê-lo.

Um conceito-em-ação é um conhecimento necessário para resolver um problema ou uma questão, ou seja, para poder interpretá-lo. São os conceitos-em-ação que levam a buscar informações necessárias para resolver problemas, mas não permitem pensar. Para isso usa-se os teoremas-em-ação que são formados pelos conceitos-em-ação, ambos não podem ser considerados como verdadeiros, mas como relevantes e irrelevantes e formam os esquemas. Apenas os teoremas podem ser considerados verdadeiros ou falsos.

Sem dúvida, a ação operatória não é toda a conceitualização do real, longe disto. Não se debate a verdade ou a falsidade de um enunciado totalmente implícito, e não se identificam os aspectos do real ao que é necessário prestar atenção sem a ajuda de palavras, de enunciados, de símbolos e signos. O uso de significantes implícitos é indispensável para a conceitualização (Vergnaud, 1990 apud Moreira, 2004a, p. 23).

Desta forma, o conhecimento intuitivo é feito essencialmente de invariantes operatórios, que são a parte conceitual dos esquemas.

O desenvolvimento cognitivo depende de situações e das conceitualizações. Por isto, torna-se necessário ao professor descobrir os conceitos que o aluno possui na mente, seus significados, seu desenvolvimento e a funcionalidade de um conceito na aprendizagem do sujeito, o que Ausubel (2002) chama de conhecimento prévio. Precisa prestar atenção às situações, aos invariantes operatórios e as representações, “estes três aspectos devem vir sempre juntos na indagação” (Vergnaud, 1990). Desta forma, os próprios esquemas são objetos de investigação.

3.1.5.5 Semelhanças com a epistemologia de Toulmin

“Alguns erros, frequentemente observados, procedem do fato de que os estudantes atribuem o mesmo significado tanto as palavras usadas em Física quanto ao que fazem na vida diária” (Vergnaud, 1990). Desta forma, do mesmo modo que para Toulmin (1977) é

imprescindível a negociação de significados entre o que determinado conceito representa em contextos diferentes. Esta ideia nos fornece uma nova perspectiva do erro.

Portanto, os professores devem diferenciar os significados dos conceitos para a vida diária e para a ciência. Então, de forma análoga a Ausubel (2002), deve-se levar em conta o que o aluno sabe o que Ausubel chama de conhecimentos prévios.

Há também outra semelhança importante entre a epistemologia de Toulmin e a teoria dos campos conceituais de Vergnaud. Ela se refere à definição de conceitos. Para Toulmin os conceitos são formados por significado (linguagem), símbolo (técnicas de representação) e procedimentos de aplicação na ciência.

Para Vergnaud os conceitos são constituídos por: 1º) conjunto de situações que dão sentido ao conceito; 2º) conjunto de invariantes operatórios (significado); 3º) conjunto que permite representar simbolicamente os conceitos, suas propriedades, as situações e os procedimentos de tratamento, o que é chamado de significante.

Ambas se preocupam com formas de representação dos conceitos. As duas enfatizam a importância do significado, embora tenha uma diferença significativa entre ambas. Enquanto para Toulmin o significado é explícito para Vergnaud é implícito. Para Toulmin os conceitos precisam ter procedimentos de aplicação na ciência e para Vergnaud precisam de situações para dar sentido aos conceitos, ou seja, incluindo a definição de Toulmin, pois as situações podem ser procedimentos de aplicação na ciência.

3.1.5.6 Semelhanças com a teoria de Ausubel

Analogamente a Ausubel, Vergnaud (1990) considera importante fazer uma ponte entre o que o aluno conhece e os conceitos científicos, para isso Ausubel (2002), utiliza os organizadores prévios.

Segundo Vergnaud para ensinar o professor deve levar em conta os modelos, tipos de pensamento, sistemas simbólicos utilizados nas diferentes disciplinas, pois segundo Gardner (1995) há três tipos de aprendizagem: auditiva, visual, cinestésica (aprendem melhor a partir da prática). Assim, enfatiza-se a importância de se utilizar várias estratégias, para cada conteúdo, de modo a atingir todos os alunos que aprendem de diversas formas.

Segundo Ausubel (2002) para que se desenvolva o conhecimento é fundamental as explicações, analogias, esquemas e símbolos que precisam levar em consideração os conhecimentos prévios dos alunos. Para Vergnaud é normal os alunos chegarem ao ensino formal com várias concepções, sendo que, muitas vezes, tais concepções não condizem com os conhecimentos científicos. Estas concepções devem ser ativadas pelo professor para que a partir dela o aluno compreenda o conhecimento científico. Esta aprendizagem demora a ocorrer. Como viu-se, anteriormente, Ausubel (2002) coloca que esta ponte pode ser feita a partir dos organizadores prévios.

Algumas vezes, os conhecimentos prévios dos alunos dificultam a aprendizagem dos mesmos, desta forma, é preciso mostrar os equívocos do modelo do aluno, ensinando a partir disso o (os) modelo (os) cientificamente aceito (os)³. Para diminuir tais dificuldades também é fundamental o papel do professor. Ausubel (2002) sugere que para facilitar a compreensão de conhecimentos novos deve-se fazer a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora, distinguindo conceitos que pareçam semelhantes, utilizando para isto, segundo Vergnaud (1990), diversas situações.

As ideias de Vergnaud sobre o papel do conhecimento prévio como precursor de

³ Escreveu-se no plural, pois às vezes há mais de um modelo científico para explicar o mesmo fenômeno.

novos conhecimentos tem muita ligação com a teoria de Ausubel (2002), pois segundo este autor, o fator que mais influencia para a aprendizagem são os conhecimentos prévios.

Apesar de Vergnaud enfatizar os conceitos e teoremas implícitos ele reconhece a importância do estudo dos conceitos e teoremas explícitos para a aprendizagem, que é um ponto enfatizado na Teoria de Aprendizagem Significativa de Ausubel (2002). Portanto, ambas as teorias podem ser vistas como complementares.

3.1.5.7 Papel da linguagem

A ação é considerada por Vergnaud e por Piaget como principal gerador de conhecimento, tendo a linguagem um papel relevante.

Segundo Vergnaud (1990) a utilização da linguagem é importante por três fatores:

- 1) ajuda a identificação dos invariantes: objetos, propriedades, relações e teoremas;
- 2) ajuda no pensamento e na dedução;
- 3) ajuda a antecipação dos efeitos e metas, a planificação e o controle da ação.

Devido à ampla importância da linguagem é imprescindível pedir aos alunos que apresentem trabalhos, discutam questões, situações-problemas, se aproximando, neste ponto, da importância do sócio-interacionismo proposto por Vygotsky (2007). Nesta questão a teoria de Vergnaud também se aproxima da teoria de Ausubel (2002), pois este também coloca que a linguagem é fundamental para a aprendizagem, sendo utilizada, por exemplo, em aulas expositivas.

3.1.5.8 Papel do professor

O ensino deve ajudar os alunos a desenvolver suas competências já que o desenvolvimento destas, para Vergnaud, também é conhecimento.

A responsabilidade do professor, dentre outros, é mostrar aos alunos um conjunto de situações pertinentes e dar explicações adequadas a tais situações. Deste modo, o professor está fazendo o papel de mediador que conduz a conceitualização do real no aluno, sendo um autêntico facilitador do processo. Vergnaud (1990) resume com os seguintes itens as ideias que o professor precisa ter em mente ao ensinar:

- 1) os professores são mediadores, devem ajudar os estudantes a desenvolver seus esquemas e representações;
- 2) os alunos são capazes de fazer frente a situações cada vez mais complexas desenvolvendo seus esquemas;
- 3) não se pode gerar esquemas novos sem novos invariantes operatórios;
- 4) a linguagem e os símbolos são importantes na explicação, nas perguntas, para selecionar informação, propor metas, regras, dentre outros;
- 5) a ação mediadora mais importante do professor é a de fornecer aos estudantes situações que potencialmente desenvolvam a aprendizagem dos alunos;
- 6) a eleição de situações e sua execução são essenciais para que o aluno desenvolva seus esquemas potenciais, em sua zona de desenvolvimento proximal.

A tarefa do professor é ajudar os alunos a desenvolverem um repertório de esquemas e representações, sendo, dessa forma, capazes de enfrentar situações cada vez mais

complexas. Para que os esquemas surjam, é necessário que ocorra a formação dos invariantes operatórios, dessa forma a ação mais importante do professor é fornecer situações úteis de aprendizagem para os alunos.

Como foi visto, para Vergnaud (1990) situações não são situações didáticas propriamente ditas, mas sim tarefas, problemas. De acordo com tal perspectiva, o professor assume papel de mediador, de provedor de situações-problemáticas, estimulando a interação sujeito-sujeito, sujeito-situação que leva a ampliação e diversificação de esquemas.

O ensino de ciências não pode deixar de lado a simbolização e a formalização, por que a ciência é simbólica, formal e explícita, todavia, é necessário lembrar que o conhecimento dos alunos é, em grande parte, implícito e, portanto, o professor, ao ensinar, precisa levar em conta esses dois tipos de conhecimento.

O conhecimento implícito pode evoluir para o conhecimento explícito. Sem o ensino não há nenhuma razão para acreditar que o sujeito passe a dominar campos conceituais complexos e formalizados como os científicos. Justificando, dessa forma, a imensa importância do professor e da escola no aprendizado de conceitos científicos e na evolução do aprendizado.

3. 2. Marco Epistemológico

Nesta seção, é apresentado o referencial epistemológico que foi utilizada na presente pesquisa.

Utilizou-se a epistemologia de Toulmin, pois tal autor acredita que os conceitos estão na base dos conhecimentos. Também houve, no andamento da presente pesquisa, a preocupação de evoluir os conceitos de senso comum para os científicos, através da negociação e da utilização de significados, das representações, procedimentos de aplicações de conceitos na ciência e da interdisciplinaridade, que são características potencialmente existentes na Física aplicada à Medicina e que são aspectos relevantes da teoria de Toulmin.

Também foram utilizadas, nas aplicações do curso ministrado, a contextualização do surgimento das teorias, mostrando que, ou a teoria evolui (melhor articulam os conceitos), ou a teoria não resiste e é abandonada. Este ponto da epistemologia de Toulmin foi muito relevante para a presente pesquisa, pois nas aulas mostrou-se algumas evoluções e abandonos de teorias, quando se passa dos conceitos envolvidos na Física Clássica aos conceitos envolvidos na Física Moderna e Contemporânea. Através disso, pretendeu-se mostrar aos alunos que a ciência não é algo pronto, não é uma verdade, mas uma visão de mundo científica, às vezes, há mais de uma visão de mundo cientificamente aceita, relacionada ao mesmo fenômeno.

Também foi enfatizada a linguagem, considerada relevante por Toulmin, tanto para ministrar as aulas (aulas expositivas e apresentações orais pelos alunos) como para avaliar o aprendizado dos mesmos (através da gravação de voz e vídeo de discussões de situações-problemas e apresentações de painéis e mapas conceituais).

3.2.1 O uso coletivo e a evolução dos conceitos segundo Toulmin

A epistemologia de Toulmin oferece contribuições que podem ser utilizadas no ensino, por exemplo, ele considera o desenvolvimento histórico dos conceitos nos quais evoluem, se desenvolvem historicamente e alguns caem em desuso.

Segundo Toulmin (1977), para que haja compreensão deve-se ignorar as tentativas contemporâneas de dividir as disciplinas de acordo com as fronteiras acadêmicas. O

conhecimento não deve ser estudado por alguma técnica ou disciplina sozinha. Dessa forma, o conhecimento é um âmbito de indagação interdisciplinar, como é o caso das aplicações da Física na Medicina.

Exige-se, para que se alcance a compreensão, o estudo aprofundado dos conceitos, que são a base de nossa compreensão. Segundo Toulmin (1977), os conceitos são formados por significado (linguagem), símbolo (técnicas de representação) e procedimentos de aplicação na ciência. Para que se possa compreender completamente um conceito, portanto, é necessário que se compreenda essa tríade. Nas escolas, geralmente, utilizam-se apenas os dois primeiros destes componentes, esquecendo-se de utilizar a sua aplicação.

Para ilustrar o descrito no parágrafo anterior, pode-se utilizar o conceito clássico de massa: “massa é tudo que tem matéria e ocupa lugar no espaço”, isso seria o significado. Sua representação simbólica pode ser escrita como:

$$m = \frac{F}{a} \quad (1)$$

Pode-se aplicar a equação (1), por exemplo, para saber a aceleração de um carro se sabe-se a massa do mesmo e a força resultante atuante sobre ele.

Para Toulmin (1977) Os conceitos estão relacionados em uma população de conceitos que forma uma disciplina. No exemplo citado acima, não se pode falar de massa sem falar dos conceitos de força e aceleração, portanto tais conceitos estão relacionados e presentes no mesmo campo conceitual, relacionado assim com a teoria de Vergnaud.

“Para compreender o que são conceitos e que papel desempenham em nossas vidas, devemos considerar a relação central entre nossos pensamentos e crenças, que são pessoais ou individuais, e nossa herança linguística, que é coletiva” (Toulmin, 1977, p. 105).

As disciplinas que compõem a ciência, como citado anteriormente, são formadas por vários conceitos que se relacionam entre si. Essas disciplinas estão articuladas de modo a resolver problemas.

Os problemas são definidos por Toulmin como problemas conceituais internos e problemas conceituais externos. Quando a teoria existente é contraditória à experiência, chama-se de problemas conceituais externos; quando há duas teorias que disputam entre si, chama-se problemas conceituais internos.

O resultado da resolução dos problemas pode ser a evolução da teoria, ou seja, uma melhor articulação entre conceitos (evolução) ou a teoria não resiste à seleção e é abandonada. Situações essas análogas à evolução das espécies segundo Darwin. Dessa forma, pode-se perceber que a mudança conceitual depende de questões intelectuais, sociais, econômicas e culturais da comunidade, em cada época e lugar.

Os conceitos que emprega um homem, os padrões de juízo racional que reconhece, como organiza sua vida e interpreta sua experiência, todas essas coisas dependem, ao que parece, não das características de uma “natureza humana” universal ou da evidência intuitiva de suas ideias básicas somente, senão também do momento em que nasceu e o lugar em que viveu (Toulmin, 1977, p. 63).

O que o autor cita como herança linguística resulta em uma compreensão coletiva, ou seja, que as pessoas compreendem os conceitos através da linguagem. Entretanto, esses conceitos, ao chegarem até os indivíduos, são interpretados de diferentes modos, dependendo, por exemplo, dos conceitos já existentes na estrutura cognitiva, o que o autor chama de compreensão individual.

[...] nosso pensamento reflexivo individual pode inovar, modificar e, com o tempo, repensar esses conceitos herdados. Nesse caso tanto os conceitos originais como suas modificações não serão mero produto de um processo cultural, mas também expressão de nossas capacidades inatas (ibid., p. 54).

A compreensão coletiva é passada para as pessoas através de um processo de enculturação. Esse processo ocorre em toda a sociedade, por exemplo, na família, na igreja e na escola. Pode-se perceber que a escola tem papel fundamental na compreensão coletiva, mas deve procurar entender que cada pessoa terá uma compreensão individual associada à compreensão coletiva.

Outro ponto fundamental da teoria de Toulmin para o ensino é o princípio da racionalidade:

Os homens demonstram sua racionalidade, não ordenando seus conceitos e crenças em rígidas estruturas formais, mas sim na sua disposição de responder a situações novas com espírito aberto, reconhecendo os defeitos de seus procedimentos anteriores e superando-os. (ibid., p.12).

Dessa forma, os professores devem pretender formar um aluno que seja capaz de argumentar e criticar, para que o mesmo se disponha a responder a situações novas, buscando reconhecer os defeitos do conhecimento coletivo e individual e, conscientemente, modificá-los.

Também, segundo a obra de Toulmin, é importante a negociação de significados, pois um conceito pode apresentar mais de um significado, por exemplo, há o conceito trabalho. No sentido usual, trabalho é uma atividade ligada a qualquer ocupação manual ou intelectual, mas para a Física trabalho é a relação entre força e deslocamento, dependendo de um determinado ângulo. Dessa forma, percebe-se a necessidade de haver negociação de significados, análogo as ideias de Vergnaud.

Neste capítulo foram apresentados aspectos relevantes da teoria de aprendizagem de Ausubel, da teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud e da teoria da aprendizagem significativa crítica de Moreira que constituem o referencial teórico desse trabalho e a epistemologia de Toulmin que lhe serve como marco epistemológico. Cabe, no entanto, destacar que o referencial mais importante é o de aprendizagem, pois nele está baseada a organização do ensino utilizado. O referencial toulminiano foi usado devido à ênfase que o trabalho tem em conceitos, consistentemente com Ausubel e Vergnaud que também os enfatizam muito. Também utilizou-se o referencial toulminiano para mostrar que alguns conceitos foram abandonados na passagem da Física Clássica para a Física Moderna e Contemporânea e outros conceitos melhor articularam-se para resolver os problemas e, portanto evoluíram. Este trabalho não prioriza a epistemologia.

No próximo capítulo será abordada a metodologia, tanto do ponto de vista da pesquisa como de ensino.

4. METODOLOGIA

Neste capítulo, são apresentadas as metodologias de pesquisa e de ensino utilizadas no presente estudo. Tais abordagens compreendem a forma com que a pesquisa foi realizada e o modo como os dados foram analisados.

4.1. Metodologia de Pesquisa

4.1.1 Pesquisa Qualitativa

Na perspectiva da pesquisa qualitativa, não existe realidade objetiva independente, pois essa é socialmente construída. O pesquisador preocupa-se mais com a compreensão do que com a identificação das causas. A validade da pesquisa qualitativa é determinada por seu grau de credibilidade, de persuasão. Por isso, o pesquisador qualitativo precisa analisar detalhadamente o objeto de estudo, de modo a possuir vários argumentos para justificar as conclusões a que chega.

A abordagem qualitativa enfatiza ações e experiências das pessoas. Trata-se essencialmente de interpretação, mas não exclui informações quantitativas. Tal enfoque “tem como interesse central a questão dos significados que as pessoas atribuem a eventos e objetos, em suas ações e interações dentro de um contexto social e na elucidação e exposição desses significados pelo pesquisador” (Moreira, 2003, p. 115).

Os significados podem ser conotativos ou denotativos. Significados conotativos são aqueles pessoais e individuais. Os significados denotativos são aqueles compartilhados culturalmente, permitindo a comunicação entre os indivíduos. Estas diferenças de significados estão presentes também no ambiente escolar. Assim, um conceito que possui um significado aceito pela comunidade científica pode ter outro significado para os alunos. Portanto, é indispensável que os professores promovam a negociação de significados, como propõem Toulmin (1977) e Vergnaud (1990).

A pesquisa interpretativa procura analisar criticamente cada significado em cada contexto, já que os significados e as ações são contextuais, portanto tais pesquisas não podem ser generalizadas.

Para Lutz e Ramsey (1974, p. 5 apud Moreira, 2003, p. 122), as diferenças entre os enfoques quantitativos e qualitativos não decorrem do objetivo do pesquisador, mas da forma como ele é abordado. Em um estudo qualitativo, o pesquisador procura desenvolver hipóteses e não, necessariamente, testá-las. Começa com suposições que guiam o pesquisador. Tais suposições, diferentemente da pesquisa quantitativa, podem mudar ao longo da pesquisa.

Metodologicamente, o investigador qualitativo observa o objeto de pesquisa, anotando cuidadosamente tudo o que acontece em um diário de bordo, coletando materiais tais como trabalhos dos alunos e gravações de discussões feitas por eles. O pesquisador, conforme essa perspectiva, descreve detalhadamente o que ocorreu com seu objeto de pesquisa, de modo a buscar convencer o leitor de suas conclusões, permitindo-o ter elementos para que esse leitor concorde ou não com os resultados obtidos. Tal característica da pesquisa qualitativa facilita possíveis repetições da aplicação da pesquisa.

Segundo Massoni e Moreira (2006), a credibilidade está associada à qualidade da análise. É necessário trabalhar os dados, sintetizá-los, organizá-los, descobrir o que é importante e o que é secundário, decidir o que vai ser afirmado, ou sugerido, no produto final da pesquisa. Estas são algumas das características gerais da investigação qualitativa.

Há três metodologias principais dentro deste enfoque: o estudo de caso, a etnografia e a pesquisa-ação. Uma apresentação detalhada destas metodologias encontra-se em Moreira (2002). Será comentada aqui apenas a etnografia, pois ela será usada na presente pesquisa.

4.1.1.1 Etnografia

Segundo Andre (1998) a investigação etnográfica procura descrever e compreender uma cultura, as ideias, valores, pressupostos e crenças, seus comportamentos e ações, a partir principalmente da observação aluno e de entrevistas.

Segundo o mesmo autor, na etnografia as hipóteses são formuladas durante o desenvolvimento da pesquisa, ou seja, as teorias surgem dos dados. O resultado da pesquisa é a compreensão que o autor possui de um grupo social, de uma situação ou de uma cultura.

Na presente pesquisa, preocupou-se com a situação de aprendizagem de grupos de alunos, frente ao ensino potencialmente significativo de conceitos de Física aplicados à Medicina. Quando a etnografia é aplicada no contexto educacional, segundo André (2005), estes estudos denominam-se estudos do tipo etnográfico.

4.1.1.1.1 Estudos do tipo etnográfico

Para André (2005) os estudos etnográficos realizados no contexto educacional podem ser denominados estudos do tipo etnográfico. Por haver uma diferença de enfoques nas duas áreas, antropológica e educacional, certos requisitos da etnografia não precisam necessariamente ser cumpridos em estudos educacionais.

Segundo André (1998) as características principais do estudo do tipo etnográfico são: a observação aluno, a entrevista, a análise de documentos, a interação entre o pesquisador e o objeto pesquisado, a ênfase no processo e não nos resultados finais, a preocupação com o significado, a importância da visão pessoal dos alunos, o trabalho de campo, a descrição e indução e a busca de formulações de hipóteses, conceitos, abstrações, teorias e não sua testagem.

A observação é chamada aluno porque parte do princípio de que o pesquisador tem sempre um grau de interação com a situação estudada, afetando-a e sendo por ela afetado. As entrevistas têm a finalidade de aprofundar as questões e esclarecer os problemas observados. Os documentos são usados no sentido de contextualizar o fenômeno, explicitar suas vinculações mais profundas e completar as informações coletadas através de outras fontes (André, 1998, p.28).

Assim, a pesquisa do tipo etnográfico, que se caracteriza fundamentalmente pelo contato direto do pesquisador com a situação pesquisada, permite reconstruir processos e as relações que configuram a experiência escolar diária (Andre, 1998).

4.1.2 Pesquisa Quantitativa

4.1.2.1 Validade e Fidedignidade

Na abordagem quantitativa, os instrumentos devem possuir fidedignidade e validade.

De acordo com Moreira (2003), a fidedignidade de um instrumento refere-se à estabilidade, à reprodutibilidade, à precisão das medidas com ele obtidas, ao grau de consistência dos valores medidos. Portanto, se um instrumento é perfeitamente fidedigno, ao aplicá-lo duas vezes, nas mesmas circunstâncias, seriam fornecidos os mesmos resultados.

Entretanto, não é possível ou desejável aplicar várias vezes o instrumento no mesmo grupo, por isso há a necessidade de utilizar procedimentos estatísticos que permitam estimar a fidedignidade do instrumento, a partir das respostas de certo número de indivíduos.

A ferramenta estatística para estimar a fidedignidade é a correlação. Correlações de 1 (100%) indicam perfeita fidedignidade, enquanto correlações próximas a zero indicam ausência de fidedignidade. Correlações entre zero e um significam níveis intermediários de confiança. Segundo Moreira e Rosa (2002), os valores aceitáveis do coeficiente de fidedignidade (alfa de Cronbach) de um instrumento dependem do que se está medindo. Na área de atitudes e interesses onde os dados são mais flexíveis e mutáveis, correlações da ordem de 0,7 são aceitas. Em outras áreas é necessário valores acima de 0,85.

Segundo Silveira e Moreira (1989), para que o valor do alfa de Cronbach seja pouco influenciado por flutuação estatística, é desejável que o número de respondentes seja de, pelo menos, cinco vezes maior do que o número de questões.

Além de fidedigno um instrumento precisa ser válido. A validade de um instrumento está relacionada com até que ponto ele está medindo o que se pretende medir. Uma das formas de garantir isso é entregar o teste para especialistas corrigirem (validade de conteúdo). Deste modo, garante-se que o instrumento não conterà questões erradas, de duplo sentido e que cada questão irá medir o que se deseja.

A pesquisa precisa ser fidedigna, ter validade interna e externa.

A validação interna de uma pesquisa indica até que ponto pode-se dizer que os resultados obtidos foram conseguidos a partir do tratamento aplicado. Para fazer isso pode-se utilizar um delineamento experimental ou quase experimental⁴.

Há várias ameaças à validade interna, por exemplo: procedimentos experimentais, tratamentos ou experiências dos alunos que ameaçam a capacidade dos mesmos de fazerem inferências corretas a partir dos dados em um experimento. As ameaças envolvem o uso inadequado do procedimento, aspectos ou problemas na aplicação dos tratamentos. As ameaças também podem surgir a partir das características dos alunos⁵.

A validade externa aponta até que ponto os resultados encontrados podem ser generalizados além dos dados específicos do estudo.

Potenciais ameaças à validade externa precisam ser identificadas. Ameaças à validade externa surgem quando os experimentadores fazem inferências incorretas a partir dos dados da amostra para outras pessoas, outros ambientes e situações passadas ou futuras. Uma ameaça à validade externa surge quando o pesquisador generaliza, além dos grupos no

⁴ Conforme será visto na próxima seção.

⁵ Para mais informações sobre os fatores que ameaçam a validade interna consultar Cooper (2001).

experimento, para outros grupos raciais ou sociais que não estão sendo estudados⁶ Na presente pesquisa os resultados não foram generalizados.

Para tratar os dados quantitativos encontrados na presente pesquisa foram usados dois tipos de estatística: 1) a estatística descritiva que é utilizada para resumir, sintetizar, reduzir as propriedades de uma massa de dados, sendo uma ferramenta que procura organizar e facilitar a manipulação dos dados; 2) a estatística inferencial que permite inferir propriedades de uma população a partir de uma amostra da mesma; sua finalidade é fazer inferências sobre a população a partir de medidas de uma parte dela. A estatística inferencial foi utilizada, por exemplo, para verificar se as diferenças medidas entre grupos são estatisticamente significativas. Para duas amostras, usa-se os testes de significância estatística, como o “teste t” ou o “teste F”. Se a pesquisa envolver mais de duas amostras, recorre-se à análise de variância.

4.1.3 Delineamento de pesquisa

Para a coleta de dados foram utilizados um delineamento quase-experimental para amostras temporais equivalentes (Campbell & Stanley, 1979), devido a impossibilidade das amostras serem escolhidas aleatoriamente.

Neste delineamento, é utilizado vários testes e observações (representado por O no esquema da sequência) intercalando com um tratamento (X). Como a metodologia utilizada foi de triangulação de dados os testes utilizados foram qualitativos e quantitativos.

O1 X O2 X O3 X O4 X O5 X O6 X O7 X O8

Os testes qualitativos utilizados foram:

- mapas conceituais;
- questionário aberto;
- confecção de diagrama *V de Gowin*;
- gravações de discussões pelos alunos de situações-problemas;
- avaliação das aulas ministradas;
- entrevistas;
- exercícios de lápis e papel;
- anotações em um diário-de-bordo;

Os testes quantitativos utilizados serão:

- pré e pós-teste;
- conhecimentos prévios.

Foram utilizadas as análises dos testes acima mencionados, buscando alcançar os objetivos propostos na seção 1.2 Objetivo.

4.1.4 Triangulação de Dados

Considera-se importante trabalhar com os enfoques qualitativos e quantitativos de forma complementar, assim como propõe Einsner (1981 apud Moreira, 2003), pois com o uso das duas abordagens é possível atingir uma visão binocular, mais confiável, uma vez que “olhar através de uma só lente nunca proporcionou muita profundidade de campo” (Einsner

⁶ Para mais informações sobre os fatores que ameaçam a validade externa consultar Cooper (2001).

1981 apud Moreira 2003).

Acreditando que as abordagens não são excludentes, optou-se por fazer uma combinação de enfoques, uma “triangulação”, utilizando diferentes fontes de coleta de dados e meios de análise da informação, tornando o fenômeno investigado mais completo e a pesquisa mais aprofundada.

4.2. O fenômeno estudado e a contextualização dos grupos

Na presente pesquisa foram utilizados estudo do tipo etnográfico em conjunto com uma abordagem quantitativa, ou seja, foi feita triangulação nos dados. O fenômeno estudado é o ensino de conceitos de Física aplicados à Medicina e suas implicações.

Houve quatro etapas de aplicação do curso:

1) elaboração e execução de um curso de 24 horas para 12 alunos: sete bolsistas do Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência (PIBID) que são licenciandos de licenciatura de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), cinco graduandos de outros cursos (engenharia, matemática e arquitetura) que trabalham com radiações ionizantes e um que faz Mestrado em Ensino de Física na UFRGS;

2) elaboração e execução de um curso de 20 horas para 16 professores de Física do Estado de Santa Catarina;

3) elaboração e execução de um curso de 40 horas para seis alunos de Licenciatura em Física da Universidade Comunitária da Região de Chapecó (UNOCHAPECÓ);

4) elaboração e execução de um curso de 40 horas para professores do Estado do Rio Grande do Sul e alunos de Licenciatura em Física da UFRGS, totalizando cinco alunos.

A primeira etapa foi caracterizada como estudo piloto e teve-se como objetivo principal melhorar o curso para as outras aplicações.

Os grupos 2 e 3 foram homogêneos, ao contrário dos grupos 1 e 4, como se pode observar na descrição supracitada. Em todas as aplicações pontos positivos encontrados foram ressaltados e pontos negativos foram alterados ou substituídos.

Na primeira aplicação foram realizados seis encontros nos sábados pela manhã de 4 horas cada, totalizando 24h de aplicação.

O segundo curso foi dividido em três encontros. Os dois primeiros foram feitos em dois dias de oito horas de aplicação, no período de férias dos professores do estado de Santa Catarina, totalizando 16h. As quatro horas que faltaram foram aplicadas em dois momentos, devido à dificuldade dos professores comparecerem. Mesmo assim, muitos professores não puderam comparecer ao último encontro.

O terceiro curso foi aplicado em quatro sábados, com duração de oito horas cada, totalizando 32 horas de curso presencial. Oito horas foram utilizadas para atividades a distância. Tal grupo se encontrava no segundo semestre de Licenciatura em Física e, portanto, não haviam estudado muitos conceitos físicos, sendo necessário explicar os conteúdos com bastante detalhamento.

O quarto curso também foi aplicado em quatro sábados, de duração de oito horas cada, totalizando 32 horas de curso presencial. Oito horas foram utilizadas para atividades a distância. Neste grupo também houve a necessidade de maior detalhamento, em relação a aplicação 1 e 2, pois a maioria dos alunos de Licenciatura em Física estavam no segundo semestre do curso e, portanto não conheciam muitos dos conceitos físicos necessários para compreender os conteúdos mais complexos propostos para o curso.

As horas a distância, existentes na terceira e quarta implementação da proposta, foram utilizadas para a confecção de 11 mapas conceituais pelos alunos, que os enviaram para

a pesquisadora que os corrigiu e devolveu aos alunos para que os corrigissem e os reenviassem. Houve, então, um *feedback* dos erros e acertos pela pesquisadora em relação aos trabalhos feitos pelos alunos. Nas duas última implementações da proposta foi recebido a correção dos mapas conceituais e comparado com a primeira versão.

4.3. Etapas da pesquisa

Para se alcançar os objetivos propostos, foram seguidas as seguintes etapas metodológicas: 1º) extensa revisão bibliográfica em 40 periódicos CAPES A1, A2 e B1 no período 2000 á 2009; 2º) estudo de materiais alternativos para a confecção dos materiais que foram utilizados no curso; 3º) confecção de sugestões de atividades educacionais; 4º) organização de entrevistas semiestruturadas, pré-testes e pós-testes; 5º) cálculo da fidedignidade dos testes quantitativos; 6º) validação de conteúdo dos testes e do material; 7º) aplicação do curso; 8º) aplicação das entrevistas, dos pré-testes e pós-testes; 9º) análise dos dados; 10º) melhora do curso; 11º) reaplicação do curso, 12º) reaplicação das entrevistas, dos pré-testes e pós-testes e 13º) análise dos dados; 14º) comparação entre os grupos estudados de modo a buscar indícios de qual é a melhor forma de ensinar tais conteúdos. Em todas as etapas foi utilizada a Teoria de Aprendizagem Significativa de Ausubel (2002), a Teoria de Aprendizagem Significativa Crítica de Moreira (2005), a Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud (1990). No texto de apoio construído e nas implementações da proposta, além das teorias de aprendizagem mencionadas, também foi utilizada a epistemologia de Toulmin (1977). O curso foi aplicado em quatro oportunidades.

4.4. Metodologia das aulas

Para que os alunos pudessem melhor acompanhar as aulas, foi desenvolvido um material de apoio.

A cada etapa, o material era alterado e, conforme necessário melhorado. A última versão encontra-se no APÊNDICE M - Material de apoio.

O material de apoio elaborado foi pensado para alunos sem conhecimentos prévios relacionados a Física aplicada à Medicina.

O material de apoio foi dividido em cinco partes conforme se observa na Tabela 4. Cada parte possui a seguinte estrutura em ordem cronológica: 1) organizador prévio; 2) gravação de uma situação-problema; 3) aula expositiva intercalada com atividades diferenciadas, tais como: mapas conceituais, atividades experimentais, simulações e modelagem computacional, filmes, resolução de exercícios, apresentações e discussões; 4) gravação da mesma situação-problema apresentada no início da aula.

Todas as aulas foram planejadas a partir dos conhecimentos prévios catalogados na literatura e também a partir das respostas dadas pelos alunos a um questionário que visava identificar os conhecimentos prévios que os mesmos possuíam sobre algum assunto. Desta forma, se os alunos mostravam desconhecimento sobre algum assunto, esse era mais enfatizado nas explicações e se mostravam conhecimento de algum assunto, esse era utilizado para a ancoragem dos conhecimentos a serem ensinados no curso.

Na Tabela 4 há a sistematização do curso e na Figura 4 propõe-se um mapa conceitual que busca sistematizar os principais conteúdos e as aplicações que foram utilizadas no curso.

Tabela 4: estrutura do curso.

Pe_ríodo	Organizador prévio	Conhecimentos prévios	Situação-Problema	Assunto	Aplica_ção	Atividades	Objetivos específicos	Metodologias	Testes usados para perceber se há indícios de aprendizagem significativa
1º/ 2º	Estouramos pipocas em conjunto com os alunos, depois tentamos estourar pipocas com o celular, mostrando aos alunos que isto não é possível. Os alunos, nessa interação, foram induzidos a perceberem a relação entre a energia fornecida pelo fogo à pipoca e a energia fornecida da radiação do celular à pipoca, buscando perceber as diferenças e semelhanças entre ambas as radiações. Foi discutido quando as radiações fazem bem ou mal à nossa saúde e que fatores influenciam para isso. Foram discutidos também os diferentes tipos de radiação, o que os caracterizam, como são produzidos, enfim os alunos debateram brevemente sobre o tema.	Segundo Aiziczon e Cudmani (2007) as pessoas: <ul style="list-style-type: none"> • não discriminam adequadamente onda sonora de percepção acústica; • confundem o som como uma onda ou fenômeno físico e o som como audição; • apresentam confusão entre onda e vibração e entre ruído e som; • relacionam de forma equivocada a intensidade e a dor e a intensidade e a frequência para o ouvido humano. 	Se você fosse técnico em radiologia e soubesse que: <ul style="list-style-type: none"> • O chumbo possui um número atômico (Z) elevado (82); • O efeito fotoelétrico é o maior responsável pela absorção da radiação e é proporcional a Z^3 Explique para um paciente, com base nas afirmações acima, por que usa-se placa de chumbo para se proteger dos Raios-X?	Tipos de ondas, estrutura atômica, radiação e espectro eletromagnético, radiação ionizante e não ionizante, radioatividade, três tipos principais de radiação ionizante, interação da radiação com a matéria, relação entre matéria e energia, características das ondas, cristais piezelétricos, efeito Doppler, Ultrassonografia, produção de Raios-X, isótopos e radioisótopos.	Ultras-sonogra-fia.	Inicialmente foi solicitado aos alunos que respondessem a uma situação-problema que foi gravada (áudio). Em seguida, será realizada uma aula expositiva, com projetor multimídia, na qual os alunos preencheram um quadro com informações. Essa aula expositiva foi intercalada com simulações computacionais, colagem e coleta de dados (novas tecnologias). Posteriormente foram realizadas atividades experimentais em quatro grupos, cada um destes realizou quatro atividades, analisando-as, a partir do <i>V de Gowin</i> , de questões e de tirinhas. Em seguida, foram realizadas algumas questões, que foram debatidas por todos, e por último uma situação-problema para ser respondida individualmente e ser entregue.	Auxiliar os alunos a compreenderem significativamente a produção de Raios-X (Característico, Bremsstrahlung), Ultrassonografia, o olho humano e alguns defeitos na visão (astigmatismo, miopia, hipermetropia) a partir dos assuntos propostos para a aula através de materiais alternativos.	Aula expositiva-dialogada, atividades experimentais, colagem painel radiação eletromagnética e aplicações, simulações computacionais, coleta de dados e exercícios.	Gravação da situação-problema.
3º/ 4º	Foi utilizado um pequeno filme de apenas um minuto, que traz imagens de um homem desde a infância até metade de sua vida (http://www.youtube.com/watch?v=isXe78uZbVQ).	Segundo Watts apud Filho e Jacques (2008), a energia é vista como combustível associada a aplicações tecnológicas que	Suponha que vocês possuem o seguinte problema: vocês precisam destruir células cancerígenas de um paciente, estão em um hospital equipado para tanto. a) Qual tipo de	Interação da radiação com a matéria, unidades de medida das radiações, meia vida, exposição natural e acidentes nucleares,	Funcio-na-mento da radiogra-fia convencional e	Inicialmente foi resolvido, em duplas, a situação-problema que foi proposta. Depois foi feita uma aula expositiva-dialogada que foi intercalada com simulações computacionais. Posteriormente, os alunos foram divididos em oito grupos que estudaram um dos	Auxiliar os alunos a aprenderem significativamente o funcionamento do aparelho de Raios-X convencional e da mamografia, a	Aula expositiva-dialogada, estudo em grupos, resolução de problemas, situação-problema, apresentações, confecção de	Gravação da situação-problema.

	<p>Depois os alunos foram indagados sobre o significado existente à expressão meia vida. Qual foi a meia vida de vocês até o momento? Após essa atividade eles buscaram no dicionário o significado de “meia” e “vida” e a pesquisadora começou a explicar o sentido de meia vida para a Física.</p> <p>A interação cognitiva potencialmente ocorreu quando o aluno percebeu as diferenças e semelhanças entre meia vida, no sentido usual da expressão, e o sentido de meia vida para a Física, assinalando as suas semelhanças e diferenças.</p>	<p>visam proporcionar conforto ao homem. A energia é vista também como algo que não está armazenado em um sistema, sendo que aparece na interação com ele. Alguns objetos possuem energia e são recarregáveis, enquanto outros possuem energia e gastam o que têm. A energia é um fluido que se transfere de um sistema a outro.</p>	<p>radiação deve-se utilizar? Por quê? Justifique através de explicações físicas. b) Quais os procedimentos de segurança que teríamos que fazer?</p>	<p>funcionamento do equipamento de Raios-X convencional e mamografia.</p>	<p>da mamografia.</p>	<p>textos que amplia o que será exposto na parte da aula expositiva. No final do texto há algumas questões que os aprendizes responderam. Posteriormente, houve uma apresentação (incluindo mapa-conceitual) e montagem da equipamento de Raios-X e mamografia e discussão dos resultados encontrados pelos grupos na sala. Por último, em duplas, os alunos responderam novamente a situação-problema que foi gravada em áudio.</p>	<p>interação da radiação com a matéria a partir dos assuntos propostos para a aula através de materiais alternativos.</p>	<p>painel e debate.</p>	
5°/6°	<p>Foi utilizado uma pequena parte do filme do “Super Homem”, na qual ele fica próximo à criptonita e simultaneamente começa a passar muito mal. Depois os alunos foram indagados sobre o porquê de poder ser utilizado meios de contraste que emitem radiação e se realmente poderia existir um material radioativo que em proximidade ao nosso corpo reagisse de forma análoga ao que ocorre com o “Super-Homem” quando está próximo da criptonita.</p> <p>A interação cognitiva deverá ocorrer quando o</p>	<p>Segundo Watts apud Filho e Jacques (2008), a energia pode ser vista como: 1º) uma ideia muito geral de combustível associada a aplicações tecnológicas que visam proporcionar conforto para o homem; 2º) alguns objetos possuem energia e são recarregáveis, enquanto outros possuem energia e gastam o que têm; 3º) energia como uma atividade óbvia, no sentido de que, havendo atividade, há</p>	<p>Imagine que você seja um técnico em radiologia e que você precisa distinguir dois tecidos internos que possuem densidades muito semelhantes, como você faria? Pense a sua resposta em termos de contraste.</p>	<p>Corrente elétrica, resistência elétrica, carga, voltagem, potência, gerador, retificador, meios de contraste, fluoroscopia, fluoroscopia digital, sinal analógico e digital, imagens radiográficas, Teleterapia, Braquiterapia.</p>	<p>Fluoroscopia, Fluoroscopia digital, imagem radiográfica, Teleterapia, Braquiterapia.</p>	<p>Inicialmente foi discutido, em duplas, a situação-problema que foi gravado pelo <i>Audacity</i>. Posteriormente os alunos foram divididos em três grupos. Cada grupo estudou um dos textos. No final dos textos há algumas questões que os aprendizes responderam. Posteriormente, foi feita uma apresentação (incluindo mapa-conceitual) e discutido os textos e as respostas que os alunos encontraram às questões existentes no final dos textos. Na sequência, foi apresentado o filme: “a natureza ama esconder-se”. Depois os alunos responderam algumas questões sobre ele. Em seguida os alunos foram divididos em pequenos grupos e discutiram todas as questões (grupos 1, 2, 3 e as questões do filme). Na</p>	<p>Auxiliar os alunos a aprenderem significativamente a produção de imagem radiográfica, processamento da imagem, fatores de exposição radiográfica, fatores físicos na qualidade de imagens, radiografia digital, fluoroscopia, fluoroscopia digital, Teleterapia, Braquiterapia e detectores de radiação, a partir dos assuntos propostos para a</p>	<p>Estudo em grupos, resolução de problemas, situação-problema, filme, jogo (campo minado) e apresentações.</p>	<p>Gravação da situação-problema.</p>

	aluno perceber por que é possível utilizar meios de contraste no corpo humano e as impossibilidades de alguma fonte radioativa terem os mesmos efeitos que a criptonita tem sobre o Super-Homem.	energia. Por exemplo, o movimento é energia; 4º) a energia é um fluido que se transfere de um sistema a outro.				sequência foi realizado um jogo (campo minado). Por último, nas mesmas duplas do início da aula, os alunos discutiram e devem responder novamente a situação-problema que foi novamente gravada em som como o programa <i>Audacity</i> .	aula, através de materiais alternativos.		
7º/8º	Foi utilizado um filme curto (http://www.youtube.com/watch?v=pGttA5_rABw), no qual uma menina ao longo do dia vai percebendo as sombras que ela produz e as sombras que os outros objetos em torno a ela produzem, mostrando que as sombras variam ao longo do dia. A Tomografia Computadorizada (TC) funciona de forma análoga ao Sol e a produção de sombra uma vez que a fonte de Raios-X está no lado oposto ao detector, ou seja, a imagem é produzida em oposição à fonte de forma análoga ao Sol. Quando o Sol está exatamente sob o objeto não é produzida sombra. Na TC isso não ocorre, quando a fonte de Raios-X e o detector estão um sobre o outro são produzidas imagens. A interação cognitiva potencialmente ocorreu quando o aluno percebeu as diferenças e semelhanças entre a	Para Driver apud Filho e Jacques (2008) as concepções alternativas relacionadas a energia é: • associada somente a objetos animados; • um agente causal armazenado em certos objetos; • um fluido, ingrediente ou produto; • vinculado a força e a movimento; • um combustível; A conservação de energia não é vista como necessária pelos estudantes.	Suponha que você encontra-se com seu filho no colo a espera de realizar um exame de TC. Ele ouviu o médico falar que o equipamento irá fazer uma volta de 360º em torno do seu pai, mas o menino ficou intrigado e perguntou: “Pai, o aparelho de TC não possui vários cabos? Como ele gira a 360º? Se não possui vários cabos como o equipamento recebe e envia informações para a mesa de controle?” Explique a ele.	Transformador, potência, gerador, retificador, ânodo, cátodo, filtro, blindagem, ressonância, RMN, campo magnético.	TC, TC helicoidal, RMN e detectores de radiação	Inicialmente foi realizado um jogo, com o intuito de revisar conteúdos de Eletromagnetismo e Física Moderna e Contemporânea, contendo questões conceituais e matemáticas, aplicações, histórico e mímica (Parisoto e Gallassini, 2008). Posteriormente, foi ensinado, brevemente, como se faz modelagem no programa <i>modellus</i> , e foi feito algumas modelagens com esse programa sobre ressonância, campo magnético, campo eletromagnético, transformador, voltagem, corrente e resistência elétrica. Na sequência foi realizada uma aula expositiva-dialogada utilizando o projetor multimídia, intercalando com simulações computacionais, com situações-problema e com um documentário sobre RMN. Posteriormente foi feito um painel. Em grupos os alunos montaram a imagem dos seguintes aparelhos e suas partes constituintes: tomografia computadorizada, detector de radiação (cintilação), detector de radiação (gás) e RMN, identificando as partes principais e explicando o funcionamento de cada uma delas. Por último, os alunos realizaram estudos em grupos, discutindo os textos e resolvendo questões.	Auxiliar os alunos a aprenderem significativamente, sobre: tomografia computadorizada, tomografia computadorizada helicoidal, detectores de radiação e RMN, a partir dos assuntos propostos para a aula, através de materiais alternativos.	Jogo (tabuleiro), modelagem computacional (<i>modellus</i>), reportagem (como funciona RMN), aula expositiva-dialogada, simulação, situação-problema, colagem, estudo em grupos, debates e questões.	Entrega mapa-conceitual.

	relação Sol e sombra e entre fonte e detector de Raios-X.								
9º/ 10º	Foi utilizado um filme curto (http://www.youtube.com/watch?v=bTzr6Ulw_e0), no qual um mestre em sinuca faz várias demonstrações de jogadas possíveis. Os professores foram indagados quanto às semelhanças e diferenças entre as colisões existentes em uma mesa de sinuca e as existentes em um ciclotron. Debateu-se na sala sobre isso. A interação cognitiva deve ter ocorrido quando o aluno percebeu as diferenças e semelhanças entre as colisões existentes em uma mesa de sinuca e as existentes no interior do ciclotron.	Para Driver apud Filho e Jacques (2008) as conceitualizações de energia são vistas como: <ul style="list-style-type: none"> • associada somente a objetos animados; • um agente causal armazenado em certos objetos; • um fluido, ingrediente ou produto; • vinculado a força e a movimento; • combustível; • a conservação de energia não é vista como necessária pelos estudantes. 	Durante muito tempo imaginou-se que os olhos imitam radiação, que incidia sobre os objetos que a refletiam, essa radiação, segundo essa teoria, era vista pelo observador. Hoje, na PET, ocorre algo semelhante. O pósitron, antipartícula do elétron, ao se encontrar com o elétron se aniquila, transformando a massa dos dois em energia, segundo a equação de Einstein $E = m c^2$. Como você explicaria as diferenças e semelhanças entre os dois fatos narrados para seus alunos no Ensino Médio? Como você provaria que a teoria de emissão de radiação pelos olhos está incorreta?	Meia vida, radioatividade, radioisótopos, tipo de emissão gama e beta.	Medicina Nuclear, PET, Tomografia por Emissão de Fóton Único (SPECT)	Inicialmente foi assistido o filme “O Discreto Charme das Partículas Elementares”. Posteriormente foi discutido o filme através de algumas questões norteadoras. Na sequência foi realizada uma apresentação expositivo-dialogada através de projetor multimídia, que foi intercalada com simulação computacional. Na sequência foram feitas algumas questões relativas ao ensinado na aula expositiva que foram debatidos em “mesa redonda”. Por fim, em grupos, os alunos apresentaram os painéis de todos os equipamentos, fazendo simultaneamente uma linha histórica, explicando as partes principais, os conceitos físicos envolvidos, os pontos positivos e negativos de sua utilização, tanto para as pessoas quanto para o meio. Apresentaram também o histórico dos equipamentos, de modo a fazer a reconciliação integradora proposta por Ausubel.	Auxiliar os alunos a aprenderem significativamente a Medicina Nuclear: PET e SPECT, a partir dos assuntos propostos para a aula, através de materiais alternativos.	Filme: “O Discreto Charme das Partículas Elementares”, questões, debates, aula expositiva-dialogada, simulações computacionais, apresentações de painéis e mapas conceituais e confecção de linha do tempo.	Entrega mapa-conceitual.

Os seguintes conteúdos faziam parte do curso: tipos de ondas, estrutura atômica, radiação, espectro eletromagnético, radiação ionizante e não ionizante, produção de Raios-X (característico, Bremsstrahlung), radioatividade, três tipos principais de radiação ionizante (alfa, beta e gama), interação da radiação com a matéria, efeito Compton, efeito fotoelétrico, aniquilação e produção de pares, relação entre matéria e energia, características das ondas, cristais piezoelétricos, efeito Doppler, isótopos e radioisótopos, unidades de medida das radiações, meia vida, corrente elétrica, resistência elétrica, carga elétrica, voltagem, potência, gerador, retificador, meios de contraste, sinal analógico e digital, transformador, ânodo, cátodo, filtro, blindagem, ressonância magnética nuclear, campo magnético, meia vida e radioatividade.

As seguintes aplicações fizeram parte do curso: Ultrassonografia, exposição natural e acidentes nucleares, funcionamento do olho humano e alguns defeitos da visão (astigmatismo, miopia, hipermetropia), funcionamento da radiografia convencional e da mamografia, fluoroscopia, fluoroscopia digital, imagem radiográfica, teleterapia, braquiterapia, **tomografia computadorizada (TM)**, **tomografia computadorizada helicoidal**, **RMN**, **detectores de radiação**, **Medicina Nuclear**, **PET**, **SPECT**.

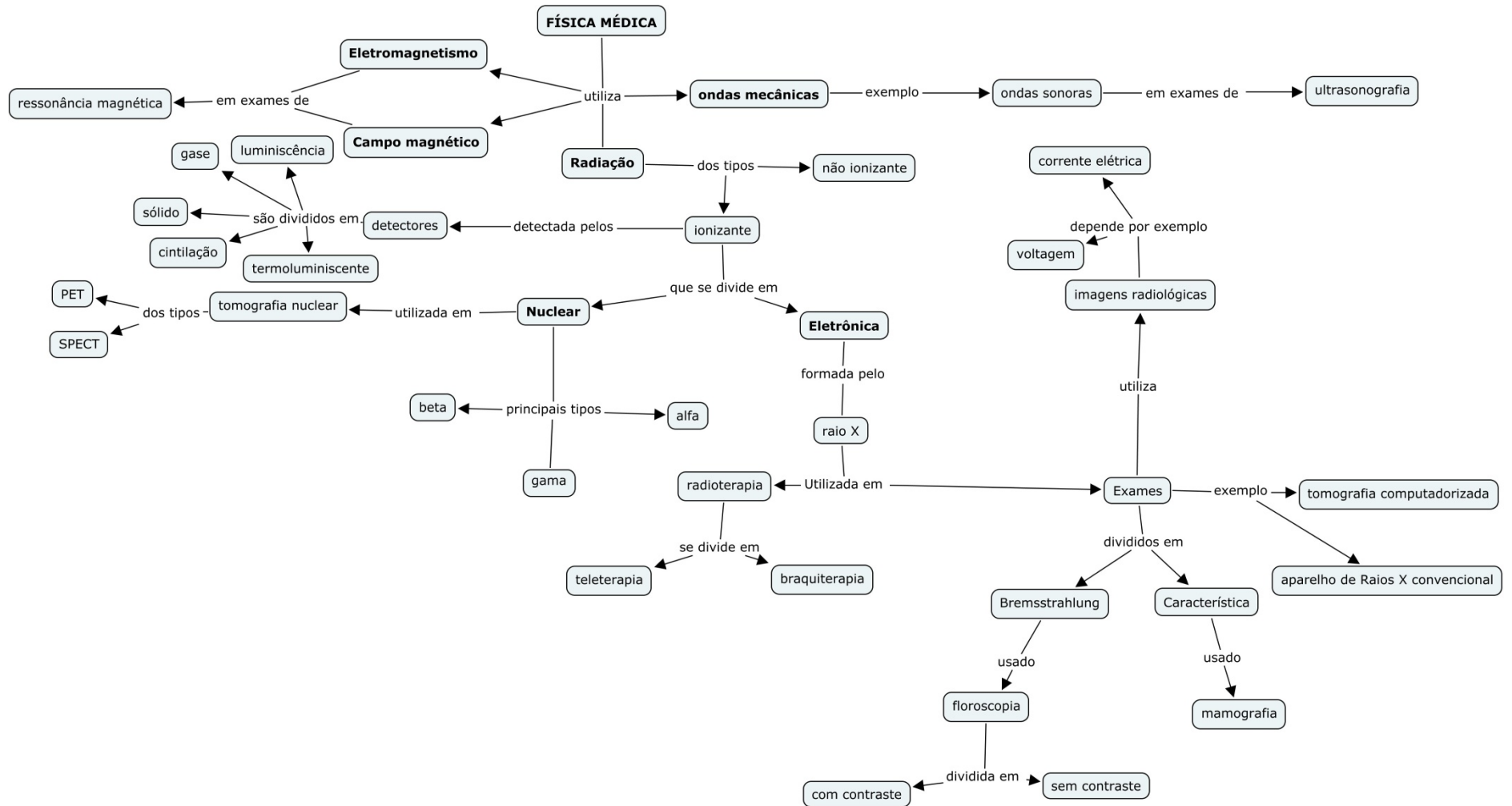


Figura 4: mapa conceitual com os conteúdos de Física e suas aplicações na Medicina. Tais conteúdos e aplicações foram utilizados na elaboração do curso que foi implementado em quatro oportunidades.

As aplicações em negrito não foram ensinadas na segunda implementação do curso, devido a limitações de tempo.

4.5. Coleta de dados

Para a coleta de dados, foi utilizado um delineamento quase-experimental para amostras temporais equivalentes, vistos na seção 4.1.3 Delineamento de pesquisa.

Neste delineamento, são utilizados vários testes e observações (representado por O no esquema da sequência) intercalando com um tratamento (X). Como a metodologia utilizada é a de triangulação de dados, esses testes foram qualitativos e quantitativos.

O1 X O2 X O3 X O4 X O5 X O6 X O7 X O8

Os instrumentos qualitativos utilizados foram:

- mapas conceituais;
- questionário aberto;
- confecção de diagrama *V de Gowin*;
- gravações de discussões pelos alunos de situações-problema;
- avaliação do curso;
- entrevistas (foram utilizadas apenas na última aplicação, pois considerou-se necessário).

Além disso, as observações do ocorrido em sala de aula foram registradas em um diário de bordo.

Os instrumentos quantitativos utilizados foram:

- pré e pós-teste;
- levantamento dos conhecimentos prévios a partir de um teste.

4.6. Validação e cálculo da fidedignidade dos instrumentos

A pesquisa foi validada, pois utilizou-se um delineamento quase-experimental (conforme visto na seção 4.1.3 Delineamento de pesquisa). Não foi utilizado um delineamento experimental, devido a impossibilidade de utilizar amostras aleatórias.

Foram aplicados dois testes quantitativos. O primeiro foi utilizado para saber os conhecimentos prévios dos alunos antes da aplicação do curso e o segundo foi utilizado para buscar indícios de aprendizagem significativa.

Os testes quantitativos foram:

- validados através de análise de conteúdo, por quatro professores da UFRGS;
- fidedignos. Para calcular a fidedignidade dos testes eles foram aplicados, anteriormente a sua implementação, para alunos de Licenciatura em Física, para professores de Física e para alunos matriculados nas Físicas Básicas da UFRGS. Foram feitos os cálculos da fidedignidade dos dois testes utilizados no curso, através do coeficiente alfa de Cronbach.

Foram consideradas as ameaças mencionadas na seção 4.1.2.1 Validade e Fidedignidade.

Para fazer o cálculo da fidedignidade foram coletadas respostas aos testes em quantidade cinco vezes maior do que o número de questões que havia nos testes. Foi feito tal

procedimento, para diminuir a probabilidade de que os resultados encontrados fossem devidos a flutuação estatística, conforme sugerem Silveira e Moreira (1989).

Houve duas versões dos dois testes quantitativos. O primeiro foi aplicado na experiência piloto e o segundo, nas demais implementações da proposta.

A partir da aplicação dos testes, na experiência piloto, percebeu-se a necessidade de reduzi-los, pois estavam muito extensos e os alunos acabavam utilizando muito tempo de aula para resolvê-los. O questionário que tinha por objetivo comparar os conhecimentos dos alunos antes e depois era do tipo Likert⁷, também por este motivo houve a necessidade de modificá-lo. Depois da modificação ele foi reaplicado e foi recalculado o coeficiente de Cronbach.

Para o cálculo de fidedignidade do primeiro questionário que visava identificar os conhecimentos prévios dos alunos, o teste foi enviado para professores e alunos de Licenciatura em Física. Apenas 16 pessoas responderam. Em seguida, foi calculado o coeficiente de Cronbach e encontrado um valor de 0,796 para as 37 questões. Foram retiradas oito questões que apresentavam baixa correlação com as demais, obtendo-se um coeficiente de Cronbach de 0,865 que, segundo Vianna (1978) apud Moreira e Rosa (2002), é relevante. Foi aplicado tal questionário (APÊNDICE B- Questionário conhecimentos prévios experiência piloto) na experiência piloto.

O questionário reformulado foi novamente aplicado (também com 37 questões) para professores da Rede Estadual de Santa Catarina e alunos matriculados nas Físicas Básicas da UFRGS, sendo que 250 pessoas responderam (mais do que cinco vezes o número de questões). O coeficiente de Cronbach encontrado foi 0,864. Desta vez foram retiradas cinco questões, que apresentaram baixa correlação com as demais, resultando em um coeficiente de 0,875, que segundo Vianna (1978) apud Moreira e Rosa (2002) é relevante. Esse segundo questionário encontra-se no APÊNDICE E - Questionário conhecimentos prévios aplicado nos cursos.

A primeira versão do segundo instrumento quantitativo continha, inicialmente, 72 questões. Ele foi enviado para quatro professores verificarem a validade de conteúdo e, novamente, foram sugeridas várias modificações, as quais foram acatadas. Na sequência, foi enviado o questionário para vários professores e alunos de Licenciatura em Física. Apenas 18 pessoas responderam-no. Foi calculado o alfa de Cronbach que resultou no valor de 0,895, o que segundo Vianna (1978) apud Moreira e Rosa (2002) é relevante. Tal questionário encontra-se no APÊNDICE C- Pré e pós-teste experiência piloto.

Como haviam muitas questões nesse questionário, este foi diminuído para que os alunos utilizassem menos tempo para respondê-lo. O questionário foi reduzido para 48 questões. O teste foi entregue para três professores verificarem a validade de seu conteúdo. Posteriormente, foi enviado para professores da Rede Estadual de Santa Catarina e para alunos matriculados nas Físicas Básicas da UFRGS para medir sua fidedignidade. Destes 250 pessoas responderam (mais do que cinco vezes o número de questões). Foi calculado novamente o alfa de Cronbach que resultou em 0,832, o que segundo Vianna (1978) apud Moreira e Rosa (2002) é relevante. Tal questionário encontra-se no APÊNDICE F- Pré e pós-teste aplicado nos cursos.

Houve também a aplicação de um questionário aberto. O teste foi entregue para que quatro professores estabelecessem a validade de conteúdo. Quanto à fidedignidade do teste

⁷Este tipo de questionário foi idealizado para investigar atitudes, opiniões, sentimentos a respeito de determinados objetos. Foram retiradas as escalas e deixado apenas as seguintes alternativas para serem marcadas: concordo, não sei e discordo, conforme pode-se ver no APÊNDICE F- Pré e pós-teste aplicado nos cursos.

qualitativo, essa depende do detalhamento do pesquisador, pois este precisa convencer o leitor de que o instrumento está medindo o que se deseja realmente medir.

4.7. Análise dos dados

Foi utilizada a metodologia de triangulação dos dados obtidos qualitativamente e quantitativamente, conforme pode-se observar esquematicamente na Figura 5.

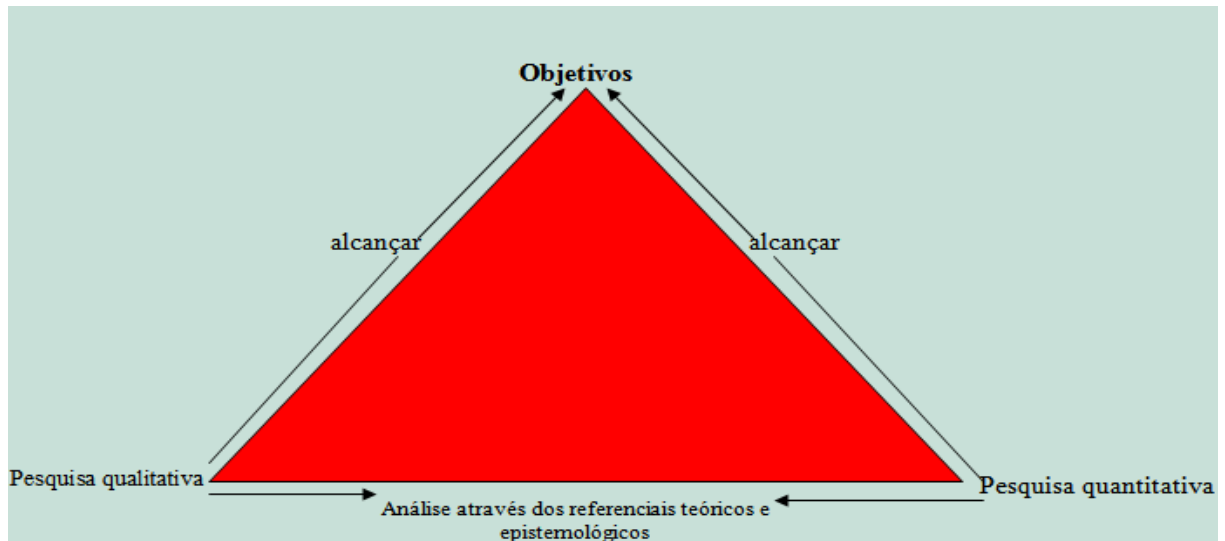


Figura 5: utilização dos referenciais teóricos, epistemológicos e metodológicos para alcançar os objetivos propostos.

Uma vez efetuada nesse capítulo, a descrição das metodologias de pesquisa e de ensino, passa-se, no próximo, à apresentação e discussão dos resultados.

5. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo há a sistematização dos dados coletados nas quatro implementações do curso, a análise dos mesmos e a consequente discussão relativa a eles. Todos os grupos não serão comparados através do método quantitativo, pois houveram muitas diferenças nas implementações do curso e as pessoas ingressantes em cada aplicação possuíam características distintas, impossibilitando a comparação estatística entre os grupos.

5. 1. Experiência Piloto

5. 1.1 Descrição das aulas e do diário de bordo

Essa primeira aplicação teve como objetivo avaliar os instrumentos de coleta de dados, o material, a proposta e verificar se houve indícios de aprendizagem significativa pelos alunos do curso.

A experiência piloto foi realizada em seis sábados no período matutino, sendo cada encontro composto de quatro horas, totalizando 24 horas de implementação do curso.

O grupo era formado por 13 alunos e mais dois professores. Do grupo de alunos, oito eram da Licenciatura em Física, sendo destes sete bolsistas do Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência (PIBID), quatro bolsistas do Serviço de Proteção Radiológica (SPR), dos quais dois eram graduandos do curso de Geologia, um de Engenharia de Produção e um do curso de Licenciatura em Física. Havia ainda um aluno de Mestrado em Ensino de Física e um aluno da Filosofia. Deste modo, todos, exceto o aluno de Filosofia, potencialmente conheciam muitos conceitos físicos.

Dos que cursavam Licenciatura em Física, quatro estavam concluindo o curso naquele semestre e quatro estavam no quarto semestre, ou seja, participou do curso um grupo heterogêneo.

O aluno de Mestrado em Ensino de Física, Glauco Ferreira Pantoja, assim como os professores, Maria Terezinha Xavier e José Tullio Moro participaram do curso, principalmente, para dar importantes contribuições.

Dos 13 alunos apenas três foram até o final. Acredita-se que tal evasão tenha ocorrido devido a ser final de semestre, por ser no sábado de manhã, por haver um feriado em uma sexta-feira e por ter tido três sábados muito chuvosos. Foi escolhido o sábado pela

manhã, pois foi o único horário em que os alunos, inicialmente, não tinham outros compromissos.

Pela quantidade de alunos que chegaram ao fim do curso ser pequena, foi realizado um estudo aprofundado das respostas de cada um deles.

A primeira aula iniciou com um organizador prévio. Tal atividade tinha como objetivo propiciar uma interação entre os conceitos novos com os já existentes na estrutura cognitiva dos alunos, buscando facilitar a aprendizagem significativa dos mesmos. Mais especificamente, utilizar o conceito de energia térmica como base para a aprendizagem significativa das radiações ionizantes.

Foi estourada pipoca em conjunto com os alunos, depois houve uma tentativa falha de estourar pipoca com o celular. Tinha-se por objetivo que os alunos, nessa interação, percebessem a relação entre a energia fornecida pelo fogo e a energia fornecida pela radiação do celular à pipoca, buscando identificar as diferenças e semelhanças entre as radiações. Foi discutido, posteriormente, quando as radiações fazem bem ou mal à saúde e quais os fatores que influenciam para tal.

Esta atividade encaixa-se na ideia de equipamentos geradores proposta por Auth (1995). Os equipamentos geradores utilizam objetos reais como recurso didático de caráter experimental. Estes recursos, necessitavam, para serem entendidos, dos conhecimentos já presentes na estrutura cognitiva, conhecimentos que surgem das situações vivenciadas pelos alunos. Quando o professor leva, por exemplo, um liquidificador para a sala de aula com o intuito de estudar seu funcionamento, chama-se este objeto real de equipamento gerador.

Para Auth (1995, p. 43), para potencializar o uso dos equipamentos geradores deve-se proceder do seguinte modo:

- 1) pedir para os alunos mencionarem o que lembram sobre um determinado assunto, por exemplo, radiações;
- 2) anotar tais conceitos e classificá-los. Continuando o exemplo supracitado, pode-se classificar as radiações em: radiações ionizantes e não-ionizantes; corpuscular ou ondulatória; com alta ou baixa capacidade de penetração; nocivo ou benéfico para a saúde humana;
- 3º) produção de materiais a partir do que os alunos sabem (conhecimentos prévios);
- 4º) desenvolver as aulas a partir dos conhecimentos prévios dos estudantes.

O primeiro tópico acontece antes de ser trabalhado o conteúdo. Já a utilização dos equipamentos geradores exige o conhecimento da teoria Física, pois é desejável que os alunos façam uma análise científica do fenômeno.

Nessa perspectiva, o professor deve ensinar a partir do que o aluno já sabe, fornecendo exemplos e aplicações que vem do dia-a-dia do aluno.

Com o uso de equipamentos geradores, o risco de desvinculação pode tornar-se menor. O manuseio reflexivo caracteriza a prática educacional dialógica com o equipamento gerador como objetos reais, mas não só do ponto de vista físico, mas também, da realidade concreta em que está inserido, tendo como função pedagógica, propiciar a compreensão conceitual das teorias físicas (Auth, 1995, p. 4).

Dessa forma, ajudando a tornar a Física um instrumento para a compreensão do mundo em que os alunos vivem, pois “os equipamentos geradores são um componente importante para a construção da cidadania” (Auth, 1995, p. 44).

Os equipamentos geradores também são elementos facilitadores do diálogo, tanto entre os alunos como entre estes e os professores. Eles foram usados, nas implementações do curso, como guias, pois foram empregados para contextualizar conceitos de Física. Também

foram utilizados como organizadores prévios. O mamógrafo e o aparelho de Raios-X são exemplos de equipamentos geradores usados nas implementações do curso.

Depois de utilizado o equipamento gerador como organizador prévio, houve um debate sobre os diferentes tipos de radiações, o que as caracterizam, como são produzidas, enfim, os alunos discutiram brevemente sobre o tema.

Posteriormente, foi proposta uma questão para verificar o que os alunos já sabiam sobre o assunto e promover o debate inicial sobre o mesmo. No final do curso foi proposta, novamente, a mesma questão para buscar indícios de aprendizagem significativa. Isso não foi feito no mesmo dia, pois havia o intuito de perceber o que ficaria retido na estrutura cognitiva e o que o aprendiz obliteraria.

Em seguida, foi feita uma apresentação oral de aproximadamente duas horas, intercalada com atividades de coletas de dados, usando o programa *Audacity*⁸ montagem de painel (espectro eletromagnético), simulações computacionais, atividades experimentais de baixo custo e exercícios com os seguintes assuntos em ordem cronológica: 1) tipos de ondas; 2) características ondulatórias; 3) Ultrassonografia; 4) radiação; 5) radiações eletromagnéticas; 6) produção de Raios-X e 7) interação da radiação com a matéria.

Essa ordem é abordada por diversos autores, dentre os quais, Bushong (2007), Dimenstein (2005), Durán (2003) e Garcia (2002).

O primeiro tópico foi explicado brevemente (pois os alunos já tinham conhecimentos prévios sobre o assunto) sobre os três tipos de onda: longitudinal, transversal (ondas mecânicas) e ondas eletromagnéticas (não necessitam de meio material para se propagar).

Posteriormente, foram abordadas as características ondulatórias (frequência, comprimento, velocidade, amplitude, reflexão e refração) formalizando suas relações e relacionando com os instrumentos musicais e suas características, tais como o timbre e as notas musicais.

Nessa oportunidade foi disponibilizada uma simulação em *Java*, na qual eles necessitavam utilizar o método PIE (Predizer, Interagir e Explicar). Neste método, segundo Dornelles (2008), os alunos antes de realizarem a simulação devem escrever o que pensam que acontecerá se forem mudadas algumas variáveis. Depois, interagem com a atividade experimental e confrontam o visto com o previsto, buscando explicar a simulação. Esse método foi utilizado inúmeras vezes durante as implementações do curso.

Na sequência, iniciaram-se explicações sobre as características sonoras e sobre as diferenças e semelhanças entre o ultrassom, o infrassom e o som, utilizando o *Audacity*.

Iniciou-se o estudo das ondas ultrassônicas abordando suas características, sua utilização. Posteriormente, estudou-se cada parte do equipamento de ultrassom para dar sentido aos inúmeros conceitos físicos envolvidos no mesmo.

Para entender o funcionamento do equipamento, foi necessário explicar sobre os materiais piezoelétricos, a estrutura atômica, o espectro eletromagnético, a radiação ionizante e não-ionizante, os cristais piezoelétricos, o efeito Doppler, a reflexão e a refração, utilizando para tanto apresentação oral e simulações computacionais analisando-as através do método PIE.

Foi ensinado sobre o que são isótopos e radioisótopos, relacionando-os com a produção de radiação alfa, beta, gama e Raios-X, apontando suas semelhanças e diferenças, a forma como são produzidas, suas aplicações e as formas de bloqueá-las.

⁸ *Audacity* é um programa que edita e grava sons audíveis. Pode-se ver, através dele, as características do som gravado, tais como a frequência, a altura e o timbre.

Após foi ensinado aos alunos o *V de Gowin*⁹, para utilizá-lo na interpretação das quatro atividades experimentais propostas. Apesar de considerar-se muito relevante que os alunos participassem de todas as atividades experimentais e que fizessem um *V* para cada uma, infelizmente, devido às limitações de tempo, isso não foi possível. Cada grupo fez um *V* de uma das atividades experimentais apresentando-as para os demais grupos. Essas atividades também seguiram o método PIE, ou seja, antes de cada atividade os alunos deviam escrever o que eles achavam que ia acontecer com a experiência, depois interagir com ela e por último explicar o ocorrido através da confrontação do predito com o ocorrido.

As atividades experimentais utilizadas foram:

1) Funcionamento do celular. Nessa atividade os alunos enrolavam vários objetos no celular, tais como papel de ofício, papel alumínio, papel laminado, caixa de leite e buscavam compreender por que em alguns materiais o celular funcionava e em outros não, bem como quais as características das ondas envolvidas.

2) Visão das cores. Nesta atividade os alunos tinham vários papéis *contacts* de várias cores, precisando predizer as cores que veriam através dos mesmos. Depois olhavam através desses papéis para ver se a previsão deles estava ou não correta, buscando explicar o observado.

3) Irradiação. Os alunos colocaram uma lâmpada potente equidistante de um prato branco, de um prato preto e de um prato azul para observarem o que ocorria com a temperatura de cada um deles.

4) Ondas mecânicas. Nesse experimento havia duas cordas, uma com uma espessura maior e outra menor e uma mola bem flexível, popularmente chamada de “mola maluca”. Nessa atividade eles tinham como objetivo estudar as características das ondas longitudinais e transversais.

Os alunos começaram desenvolver a atividade em aula e a debater, mas não conseguiram terminar, pois se esgotou o tempo da aula. Fora combinado que terminariam a atividade na aula seguinte, entretanto, apenas oito alunos estiveram presentes e então não houve entrega do diagrama pelos grupos. Foi concluído, a partir disso, a importância de desenvolver essa atividade apenas em uma aula.

Embora houvesse a ruptura supracitada, percebeu-se que houve muito interesse dos alunos nas atividades experimentais. Uma aluna comentou: “*as atividades experimentais são a melhor forma de se aprender*” Ana (*nome fictício*). Entretanto, muitos alunos reclamaram em fazer o diagrama, pois disseram que preferiam fazer os relatórios convencionais, o que foi escrito também na avaliação do curso, pois, segundo os alunos, é mais fácil responder a questões fechadas.

Junto com as atividades experimentais haviam simulações computacionais, conforme pode-se ver no APÊNDICE M - Material de apoio. Foi estimulado para que os alunos as utilizassem em conjunto com as atividades experimentais, de modo a facilitar a compreensão dos assuntos que as envolvessem e também buscando promover a integração das atividades experimentais com as simulações, conforme sugere Heidemann (2010, p.2). Também haviam algumas perguntas norteadoras relativas aos conteúdos que envolviam as atividades experimentais e questões relativas aos conteúdos envolvidos. Foram utilizadas várias *charges*.

Os grupos explicaram a atividade experimental para os demais. Em seguida, continuou com a aula expositiva sobre os assuntos de interação da radiação com a matéria, compreendendo o efeito Compton, o efeito fotoelétrico, a produção e aniquilação de pares, relacionando cada um deles com a radiologia. O primeiro se relaciona com a radiação dispersa

⁹ Para maiores informações sobre o *V de Gowin* consultar Moreira (2006).

que prejudica a formação da imagem do corpo do paciente. O segundo está relacionado com a absorção, quanto maior for a densidade do material, maior será a absorção e melhor será a qualidade da imagem, também sendo relacionado à visão das cores. O último é utilizado, por exemplo, na PET. Nessa parte foram utilizadas tanto a parte conceitual como a matemática.

Na sequência foram resolvidos, em pequenos grupos, alguns exercícios sobre os conteúdos estudados na aula e debatidos os resultados no grande grupo.

Posteriormente, foi dividida a turma em quatro duplas. Cada uma das duplas tinha por objetivo explicar uma faixa de frequência das ondas eletromagnéticas, relacionando-as com o comprimento de onda, a energia e suas aplicações, montando um painel do espectro eletromagnético. Nas apresentações, deviam identificar as características de cada uma encontrando as diferenças e semelhanças de cada forma de radiação, distinguindo as radiações ionizantes das não ionizantes.

Foi iniciada, posteriormente, a segunda parte programada do curso com o seguinte questionamento: como ocorre a formação de imagem em um equipamento de Raios-X? Essa questão não conseguiu produzir debate, o que forneceu indícios de que provavelmente os alunos não tinham subsunçores e conhecimentos prévios sobre o assunto, então não conseguiram argumentar.

Em seguida, começou-se a explicar sobre como são constituídas a matéria e as células, como se dá a reprodução celular e como as radiações ionizantes agem no corpo de forma direta (rompendo a membrana ou modificando o DNA) e indireta (produzindo os radicais livres). Na sequência, passou-se a classificar os efeitos biológicos das radiações ionizantes. Nesse momento muitos alunos manifestaram preocupação quanto à forma como são realizados os exames de Raios-X, pois frequentemente não é protegido o corpo de radiações desnecessárias.

Depois passou-se a explicar sobre as características gerais dos efeitos biológicos das radiações ionizantes para os seres vivos.

Em seguida, foi utilizado, como organizador prévio, um filme de apenas um minuto com imagens de um homem desde a infância até metade de sua vida (<http://www.youtube.com/watch?v=isXe78uZbVQ>). Os alunos foram indagados sobre o significado usual para a expressão meia vida. Após essa atividade, buscaram no dicionário o significado de “meia” e “vida”, partindo disso foi explicado o sentido de meia vida para a Física, fazendo a negociação de significados proposta por Toulmin (1977) e Vergnaud (1990).

Na sequência, foi utilizado uma simulação utilizando novamente o método PIE, para complementar a explicação sobre meia vida. Os alunos mostraram oralmente gostar dessa abordagem diversificada.

Depois foram trabalhados, com os alunos, as unidades de medida utilizadas na dosimetria das radiações ionizantes, fazendo, quando possível, as respectivas relações entre elas. Também foi explicado sobre os limites de exposição das radiações para pessoas que trabalham frequentemente com radiações ionizantes, fazendo relações entre as exposições a que as pessoas estão submetidas e alguns materiais que emitem radiação naturalmente. Também foi exposto sobre alguns dados da bomba de Hiroshima e Nagasaki.

Na sequência, foi dividida a sala em quatro duplas, cada uma estudando (do material de apoio-Apêndice M) um dos seguintes tópicos: 1) efeito fotoelétrico, efeito Compton, produção e aniquilação de pares; 2) efeitos químicos, biológicos, físicos e orgânicos das radiações ionizantes e Unidades de Medidas das Radiações e suas Relações; 3) exposição natural e efeitos biológicos das radiações ionizantes; 4) o equipamento de Raios-X convencional e da mamografia.

Depois da leitura, tinham algumas questões para responderem e, posteriormente, para apresentarem para o grande grupo. Os três primeiros grupos foram muito bem, explicando os conteúdos de forma clara e relacionando-os com sua importância na Física aplicada à Medicina. O quarto grupo apresentou muita dificuldade na compreensão, talvez pela maior complexidade do assunto.

Conclui-se, a partir disso, que: 1) é importante ensinar sobre os assuntos antes de solicitar que os alunos apresentem sobre ela; 2) solicitar aos alunos que, nessa fase, façam um mapa conceitual sobre o assunto, para que possam esquematizar os conteúdos melhor e para que o professor identifique os pontos que precisa retomar; 3) é necessário reduzir o número de questões, pois muito tempo foi utilizado para desenvolver essa atividade. Tais questões podem ser respondidas, por exemplo, através da confecção de um mapa conceitual.

Na terceira parte do curso, estiveram presentes apenas seis alunos. A aula iniciou com um organizador prévio, onde foi utilizado uma parte pequena do filme do “Super Homem”, na qual ele fica próximo a criptonita e imediatamente começa a passar muito mal. Depois os alunos foram indagados sobre o porquê da utilização de meios de contraste e se realmente poderia existir um material radioativo que, em proximidade ao corpo humano, apresentasse reação análoga ao que ocorreu com o “Super-Homem”.

Esse organizador prévio teve como objetivo fazer uma ponte entre o efeito da criptonita e os meios de contraste. Buscando auxiliar os alunos a perceberem por que é possível utilizá-los no corpo humano e as impossibilidades de que alguma fonte radioativa tenha os mesmos efeitos da criptonita sobre o Super-Homem.

Em seguida, solicitou-se aos alunos que descrevessem como funcionam os meios de contraste. Entretanto, houve o mesmo problema da segunda parte do curso, ou seja, os alunos não conseguiram escrever nenhuma resposta para essa pergunta.

Posteriormente, os alunos foram divididos em três duplas para um estudo dirigido. Cada dupla estudou um dos seguintes assuntos: 1) Fluoroscopia; 2) imagem radiográfica; 3) Radioterapia: Teleterapia e Braquiterapia. No final dos textos haviam algumas questões para eles responderem. Depois de lerem e resolverem os exercícios, tinham como objetivo realizar uma apresentação completa, de aproximadamente 30 minutos cada. Em seguida, foram iniciadas as apresentações e discussões pelos grupos na sala, buscando favorecer a criticidade, conforme sugere Moreira (2005).

Percebeu-se novamente muita dificuldade, por parte dos alunos, em compreender esses tópicos somente a partir da leitura e das discussões.

No quarto encontro participaram cinco alunos. A aula iniciou com um organizador prévio. Foi utilizado, para tanto, um filme curto (http://www.youtube.com/watch?v=pGttA5_rABw), no qual uma menina, ao longo do dia, vai percebendo as sombras que ela produz e as sombras que os outros objetos em torno a ela produzem, mostrando que as sombras variam de posição ao longo do dia.

A Tomografia Computadorizada (TC) funciona de forma análoga ao Sol e a produção de sombra, uma vez que a fonte de Raios-X está no lado oposto ao detector, ou seja, a imagem é produzida em oposição à fonte de forma análoga ao sistema Sol-sombra. A diferença é que quando o Sol está exatamente sob o objeto não é produzida sombra, na TC isso não ocorre: quando a fonte de Raios-X e o detector estão um sobre o outro são produzidas imagens.

Esse organizador teve como objetivo servir de ponte entre o sistema Sol-sombra e entre o sistema emissor-detector. Buscando auxiliar o aluno a perceber as diferenças e semelhanças entre a relação Sol e sombra e entre fonte e detector de Raios-X na TC.

Na sequência, perguntou-se aos alunos: qual a diferença entre a Tomografia e o aparelho de Raios-X convencional? Novamente os alunos não souberam responder tal

questionamento, embora essa pergunta incitou neles a curiosidade, tornando-os mais atentos, estimulando-os a descobrirem as respostas.

O intuito era, nessa parte do curso, começar com um jogo para revisar conteúdos do Ensino Médio e depois ensiná-los a trabalhar com o Modellus, como esse não é o principal objetivo do trabalho e, devido ao escasso tempo, não foi aplicada essa parte do planejamento.

Posteriormente, começou a apresentação oral sobre os detectores de radiação, começando pelos detectores a gás. Depois da explicação do funcionamento desse tipo de detector, foi feito oralmente para os alunos as seguintes perguntas: 1) O que se pode fazer para aumentar a sensibilidade de um detector a gás? 2) como você faria um detector que não fosse a gás? 3) qual a relação do funcionamento dos detectores a gás com o efeito fotoelétrico?

Posteriormente, começou-se a explicar sobre os detectores de cintilação, a dosimetria de termoluminescência e a luminescência estimulada opticamente. Os alunos mostraram um ótimo entendimento dessa parte, pois conseguiram responder satisfatoriamente as perguntas feitas de forma bem fundamentada.

A seguir foram explicados e diferenciados os seguintes tipos de tomografias: linear, computadorizada, computadorizada helicoidal e nuclear. Foi solicitado que os alunos identificassem as semelhanças, diferenças, vantagens e desvantagens entre elas e a radiografia convencional.

No penúltimo encontro haviam três alunos.

Foi introduzido o aparelho da RMN através de uma reportagem que encontra-se em <http://www.youtube.com/watch?v=YeVHTjMwVTo>, de uma simulação computacional que encontra-se em http://phet.colorado.edu/simulations/sims.php?sim=Simplified_MRI e da seguinte questão para os alunos discutirem: como é possível, a partir de um ímã que produz campo magnético de grande intensidade, produzir imagens internas do corpo humano? Em seguida foi explicado o funcionamento da RMN e solicitado aos alunos que explicassem verbalmente: 1) por que o nome “RMN”? 2) quais são as vantagens e desvantagens da RMN em relação aos outros equipamentos estudados até o momento?

Começou a implementação da última parte do material de apoio (APÊNDICE M - Material de apoio). Utilizou-se, como organizador prévio, um filme curto (http://www.youtube.com/watch?v=bTzr6Ulw_e0), no qual um mestre em sinuca faz várias demonstrações de jogadas possíveis.

Os alunos foram indagados quanto às semelhanças e diferenças entre as colisões existentes em uma mesa de sinuca e as existentes em um ciclotron, debatendo na sala sobre isso, buscando, desse modo, favorecer a criticidade.

Posteriormente, foi perguntado aos alunos: qual a importância das partículas elementares na Medicina nuclear? Os alunos aparentemente não conheciam sobre o assunto, consideravam inclusive que os elétrons, prótons e nêutrons são indivisíveis (partículas elementares). Embora isso, pelo menos por enquanto, seja aceito para os elétrons, não é aceito para os prótons e nêutrons.

Na sequência, começou uma apresentação expositiva dialogada com o *projektor multimídia*, partindo da história da PET e da SPECT. Explicando, na sequência, o procedimento e o funcionamento da PET, seguindo por uma simulação computacional em que os alunos utilizaram a técnica do PIE.

Iniciou a explicação sobre o funcionamento da SPECT, sobre suas diferenças e semelhanças em relação a PET, suas vantagens e desvantagens em relação aos outros equipamentos ensinados durante o curso. Por último foi discutido com os alunos sobre as semelhanças e diferenças entre a TC, a RMN, a PET e a SPECT.

O último encontro teve a participação de três alunos. Nesse encontro os alunos, individualmente, apresentaram os painéis dos 10 equipamentos trabalhados durante o curso traçando, simultaneamente, uma linha histórica. Explicaram as partes principais dos equipamentos, o seu funcionamento, os conceitos físicos envolvidos, as suas vantagens e desvantagens, tanto para as pessoas quanto para o meio ambiente, seu histórico. Isto foi feito de modo a fazer a reconciliação integradora proposta por Ausubel (2002), incentivando à crítica, como propõe a Teoria da Aprendizagem Crítica de Moreira (2005) e de modo a mostrar que os conceitos estão na base do conhecimento e que podem evoluir ou ser abandonados como propõe a epistemologia de Toulmin (1977).

Além dos painéis, os alunos utilizaram mapas conceituais para sistematizar o conteúdo estudado, apresentando-os para os colegas. Foi optado por uma apresentação individual, pois tinha-se por objetivo ver o entendimento que cada aluno tinha sobre os assuntos abordados no curso.

Como haviam apenas três alunos, os temas relativos aos equipamentos foram divididos entre eles. Os alunos montaram uma apresentação sobre os equipamentos escolhidos e selecionaram um deles para fazer um mapa conceitual. Em seguida, fizeram colagens no quadro seguindo uma linha histórica. A análise desses mapas foi efetuada na seção 5.1.3 Análise dos mapas conceituais.

As aplicações utilizadas para promover a reconciliação integradora foram: Medicina Nuclear: PET e SPECT; Radioterapia (teleterapia, braquiterapia); RMN; Ultrassonografia; Tomografia; Fluoroscopia; Mamógrafo; Equipamento de Raios-X; detectores de radiação e formadores da imagem radiológica.

Os alunos tiveram duas horas para fazer o mapa conceitual e estudar para a apresentação. Fizeram isto através da interação dos alunos com o material potencialmente significativo (Apêndice M), interagindo entre si e com a pesquisadora.

Em seguida, cada aluno apresentou o seu mapa conceitual e sinteticamente o funcionamento dos aparelhos que escolheu, fazendo uma linha histórica no quadro, através de colagem. Cada aluno tinha 10 minutos para realizar a apresentação de cada aparelho.

Por fim foi feito, em conjunto, um mapa conceitual sintetizando as partes fundamentais do curso.

5.1.2 Análise do questionário qualitativo

No início da aula, foi entregue aos alunos um questionário (APÊNDICE A- Questões qualitativas primeira aula experiência piloto), com oito questões, com o objetivo de avaliar os conhecimentos prévios que os mesmos possuíam sobre os assuntos abordados. Foi-lhes informado que as respostas ao questionário não serviriam para fins de atribuição de conceitos e que tinham como objetivo fornecer à pesquisadora um panorama dos conhecimentos dos alunos sobre o conteúdo.

A partir de então foi utilizado somente o número da questão analisada. Além disto, também foram categorizadas as respostas dos alunos para cada questão, sem expressar a quantidade de alunos em percentagens, visto que o público era composto por somente doze alunos, dos quais apenas nove responderam ao questionário, tendo em vista que os outros chegaram após essa aplicação.

A questão um foi aquela na qual os alunos do curso mais souberam informar, embora tais informações fossem desconexas e pouco aprofundadas. Dos nove alunos, todos responderam a essa questão. Entretanto, cinco deles apenas colocaram conceitos soltos sem justificar por que acham que aqueles conceitos físicos são importantes no aparelho de Ultrassonografia. Uma aluna confundiu o aparelho de Ultrassonografia com o aparelho de Raios-X, conforme pode-se observar pelo transcrito:

“Acredito que envolva Física de Raios-X e efeito fotoelétrico” Camila (*nome fictício*).

Os demais citaram os seguintes conceitos como relevantes: ondas sonoras, efeito piezoelétrico, leis de reflexão e refração, ultrassom, efeito Doppler, radiação. Sendo que apenas o efeito Doppler apareceu em dois dos questionários, os demais apareceram uma única vez.

As respostas dos alunos foram incompletas sendo que algumas apresentavam erros, como pode-se ver pelas transcrições das respostas apresentadas na sequência:

“Reflexão, superposição de ondas, refração. Onda emitida, mudança de meio, parte é refletida ao incidir sobre diferença de densidade, ondas se sobrepõem ao refletir”. Rafael (*nome fictício*).

Na escrita do aluno Rafael há a ideia equivocada de sobreposição de ondas que não é importante no aparelho da Ultrassonografia.

Outro aluno coloca apenas o conceito de reflexão, justificando da seguinte forma:

“O equipamento emite ondas sonoras e através de sua reflexão ele descreve cada organismo” Kilian (*nome fictício*).

Os dois últimos alunos fornecem uma resposta mais profunda associando os conceitos corretamente, como pode-se observar nos textos de cada um deles:

“Ondulatória: envia-se uma onda no objeto a ser estudado, esta pode ser absorvida ou refletida, obtém-se então os sinais sonoros que são transformados em imagens.” Joaquina (*nome fictício*).

“Ondas mecânicas, Efeito Doppler e frequência. O ultrassom é um tipo de onda que se propaga em meios mecânicos. A onda mecânica (distúrbio em um meio elástico que se propaga como um sinal) possui uma frequência associada. Efeito Doppler, pois é um efeito ondulatório, na qual o movimento relativo entre fonte e observador altera a frequência (aparente) da onda” Moisés (*nome fictício*).

Na segunda questão, dois alunos não souberam responder. Dos alunos que responderam, um relacionou o funcionamento do aparelho de ultrassom somente ao efeito Doppler. Outro descreveu, corretamente, o funcionamento do aparelho de ultrassom, mas não explicou, ou seja, não escreveu como ocorre, conforme pode-se ver da transcrição do escrito pelo aluno:

“A onda sonora incide num meio sendo refletida e refratada por ele. A partir desses fenômenos se consegue saber o índice de refração do meio e determinar em qual meio está. A onda sonora refletida é novamente transformada em pulso elétrico, esse pulso é analisado pelo equipamento de ultrassom e os dados são transformados em imagens” Ana.

Outro aluno se equivocou quanto ao porquê da utilização de gel para fazer o exame e também não soube explicar como é produzido o ultrassom, mas apenas onde ele é produzido.

“Passa-se gel para aumentar a superfície de contato. Na ponta do aparelho existe um material que produz o ultrassom” Joaquina.

Outro aluno descreveu o funcionamento do equipamento de Ultrassonografia, mas não explicou como é produzido, emitido e captado o ultrassom e não quantificou alta frequência, como pode-se ver na sequência.

“Um emissor/receptor de ultrassom emite uma onda de “alta frequência” a qual incide no paciente, parte dessas ondas ao mudar de meio (devido às diferenças de densidade do corpo) refletem e após são detectadas pelo aparelho” Rafael.

O aluno Kilian repetiu o que havia escrito na primeira questão, ou seja, explicou o equipamento como dependente da reflexão das ondas sonoras.

O aluno Fábio (*nome fictício*) colocou uma resposta muito superficial a essa questão, também apenas descrevendo e não explicando o funcionamento do aparelho:

“Acredito que o equipamento emita radiação e capte de alguma forma a radiação refletida, gerando assim as imagens” Fábio.

Moisés também descreveu e não explicou o funcionamento do equipamento de Ultrassonografia, deixando claro, contudo, o conceito de reflexão.

“Imagino que são emitidas ondas sonoras que se propagam dentro do corpo, tais ondas refletem e permitem formar um padrão de imagem do interior do corpo. É como se fosse um morcego que desvia de objetos através das ondas sonoras refletidas” Moisés.

Na terceira questão houve seis alunos que não souberam responder. Dois descreveram como a informação parte dos objetos e chega aos nossos olhos e depois é enviada ao córtex visual, mas não souberam encaixar essa informação com o fenômeno do efeito fotoelétrico.

Apenas um aluno conseguiu relacionar de forma superficial a visão com o efeito fotoelétrico:

“A luz ao incidir sobre os cones e bastonetes excita-os liberando elétrons, transmitindo impulsos nervosos através do nervo óptico” Kilian.

Na questão quatro, dos nove respondentes, cinco responderam desconhecer completamente o assunto. Dois confundiram a interação da radiação com a matéria com a produção de radiação, ou seja, confundiram a radiação alfa, beta e gama com efeito fotoelétrico, efeito Compton e produção de pares. Apenas uma aluna soube enunciar os três tipos, mas não soube nenhuma aplicação do Efeito Compton e da produção de pares, afirmou, entretanto, que o Efeito Fotoelétrico se relaciona com as imagens radiográficas, mas não escreveu de que forma.

Na questão cinco, somente dois respondentes afirmaram saber algo sobre o assunto. Os demais afirmaram desconhecer-lo. Entretanto, o apresentado pelos alunos é superficial, apenas descritivo e não explicativo, como pode-se observar nas transcrições apresentadas na sequência.

“Esse tipo de material produz um campo elétrico quando é “contraído” ou “dilatado” pela onda sonora” Ana.

“Ao serem deformados estes materiais geram (como em um circuito) corrente elétrica e vice-versa” Kilian.

Na sexta questão a aluna Joaquina relatou que os Raios-X são absorvidos mais por alguns materiais do que outros, mas não fez nenhuma ligação entre imagem radiográfica e o Efeito Fotoelétrico. Os demais nada colocaram.

A partir da análise das respostas concluiu-se que aparentemente os alunos sabiam pouco sobre os assuntos que seriam abordados no curso, antes da aplicação do mesmo e o que sabiam era descontextualizado. Às vezes, sabiam os nomes, o que é, mas não sabiam relacionar tais conteúdos com as aplicações. Frequentemente, sabiam descrever, mas não sabem explicar.

5.1.3 Análise dos mapas conceituais

Nas últimas décadas tem-se discutido amplamente os testes utilizados em educação, tais como as provas, tendo em vista que elas apenas avaliam uma parte pequena do processo de aprendizagem, pois esta é muito complexa para ser avaliada apenas por testes convencionais. Esses testes também não fornecem ao aprendiz nenhuma possibilidade de mostrar como organizou e construiu seu conhecimento.

Esses testes convencionais, frequentemente, facilitam a aprendizagem mecânica e não a significativa, falhando em identificar se a estrutura cognitiva do aprendiz foi modificada devido ao processo formal de ensino. São essas modificações que influenciam na aprendizagem futura, na resolução de problemas e na criatividade.

Os erros, muitas vezes, descartados pelos professores, devem ser utilizados para avaliação do processo de ensino e de aprendizagem. Pois, segundo Moreira (2005), é através do erro que o professor pode ver o que é necessário melhorar nas aulas, além de facilitar o entendimento dos processos mentais envolvidos na aprendizagem.

Devido a essas constatações começaram a surgir técnicas alternativas para avaliar a aprendizagem, dentre eles os mapas conceituais.

Segundo Novak e Gowin (1984) os mapas conceituais servem para facilitar o ensino e a aprendizagem, por exemplo, tornando claro, para os professores e alunos, as ideias-chaves que eles devem focar para aprender e ensinar significativamente determinados conhecimentos, diferenciando-os progressivamente. Depois de terminada uma tarefa de aprendizagem, os mapas conceituais podem mostrar

um resumo do que foi aprendido, devendo ser utilizados para fazer a reconciliação integradora.

“Mapas conceituais, ou mapas de conceitos são diagramas indicando relações entre conceitos, ou entre palavras que usamos para representar conceitos, procurando explicitar a estrutura conceitual de um corpo de conhecimentos” (Moreira, 2010).

Segundo Novak e Gowin (1984) os mapas conceituais devem seguir um modelo hierárquico no qual conceitos mais inclusivos estão na parte superior do mapa e os conceitos específicos, pouco abrangentes, estão na parte inferior, pois “a aprendizagem significativa se produz mais facilmente quando os novos conceitos ou significados conceituais são englobados sob conceitos mais amplos, mais inclusivos” (Novak e Gowin, 1984, p. 32). Pode-se ver um exemplo de mapa hierárquico na Figura 6.

Por outro lado, sempre deve ficar claro no mapa conceitual quais os conceitos contextualmente mais importantes e quais são os secundários ou específicos. Setas podem ser utilizadas para dar um sentido de direção a determinadas relações conceituais, mas não obrigatoriamente. As palavras que aparecem sobre as linhas ligando dois conceitos são chamadas de palavras de ligação. Os dois conceitos mais a palavra de ligação formam uma proposição que busca explicitar a relação existente entre os conceitos.

Os mapas conceituais não são auto-explicativos, por isso é importante explicitá-los. Através desta explicitação o professor pode encontrar pontos que os alunos apresentam dificuldades, abordando com mais ênfase tais conteúdos no ensino. Ao mesmo tempo, pode negociar significados com os alunos, identificar os conhecimentos prévios para ensinar de acordo, esclarecer ambiguidades e diferenciar conceitos semelhantes.

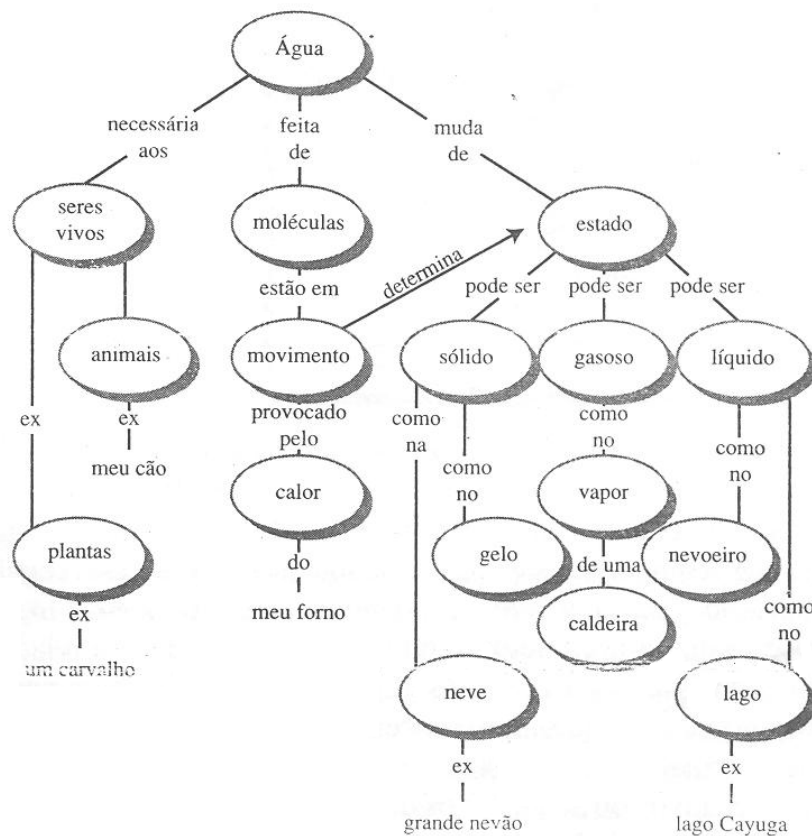


Figura 6: mapa conceitual relacionado à água. Incluem-se alguns exemplos específicos de acontecimentos e objetos.
Fonte: Novak, Gowin, 1984, p. 32.

Também é importante refazer os mapas conceituais. Quando o aluno refaz, ele pensa novamente sobre o assunto, diferencia conceitos, corrige equívocos e ambiguidades, identifica mais conceitos relevantes, hierarquiza o mapa conceitual e isto facilita a aprendizagem significativa. Frequentemente, os alunos não se motivam a fazer novas versões dos mapas conceituais, para ajudar nesta motivação pode-se mostrar a diferença entre duas versões de mapas, enfatizando a importância da recursividade para a ocorrência da aprendizagem significativa.

Sintetizando: é importante, para aprender e ensinar significativamente a partir dos mapas conceituais, fazê-los, apresentá-los e refazê-los.

Para ensinar o professor pode fazer três versões dos mapas conceituais: 1º) de todo o período letivo; 2º) dos conteúdos a serem vistos no mês; 3º) dos conteúdos a serem vistos na semana. Assim o aluno tem uma noção geral dos conteúdos que serão vistos, por onde ele já passou, aonde ele irá chegar e a relação entre os conceitos principais, tendo sempre em vista o caminho que está percorrendo.

5.1.3.1 Cmap Tools

O *software Cmap Tools* é o mais utilizado para a confecção de mapas conceituais, pois facilita a construção e é gratuito. Este *software* também possibilita melhorar a estética

dos mapas conceituais, possibilitando colocar cores, escolher a forma e tamanho das caixas e das flechas, facilitando o pós processamento da imagem.

Segundo Dutra (2004), o *Cmap Tools* permite gravar todos os passos da construção dos mapas conceituais e reproduzir, a qualquer momento, dinamicamente todas as modificações realizadas, possibilitando que o professor reveja cada passo da construção do mapa conceitual. Também há a possibilidade de fazer anotações e de haver listas de discussões via internet.

Ligado a esse *software* pode haver um apoio automatizado de mapas conceituais, conforme sugere Araújo (2003, p. 292). Esse programa¹⁰ possibilita ao professor perceber os conhecimentos prévios dos alunos, comparar com os demais da turma, comparar os mapas feitos pelos alunos com os mapas feitos pelo professor.

O professor pode lançar, no sistema, conceitos que julga fundamentais haver no mapa. Através desses conceitos e do mapa feito pelo aluno, o sistema faz um mapa individual para cada aluno. Conceitos que o aluno utilizou ficam com cores vermelhas e os que não foram utilizados em cor amarela, dessa tal forma o professor pode perceber quais os conceitos que precisam ser mais enfatizados.

Depois, esse mapa individual é comparado com os mapas feitos pelos professores. O programa indica as diferenças e semelhanças entre esses mapas e cabe ao professor avaliar o mapa com base nessas informações. Deve-se deixar claro que não há o mapa correto, entretanto há mapas que utilizam poucos conceitos e as ligações apontam associações incorretas.

Por último, comparam-se os mapas dos alunos construindo um mapa conceitual da turma, com os conceitos mais presentes (representado por cores mais escuras) até os menos frequentes (mais claros). Essas avaliações são dinâmicas e podem ser feitas ao longo do curso, mostrando a evolução dos alunos, sendo uma importante ferramenta para avaliar o processo de ensino-aprendizagem.

5.1.3.2. Formas de analisar os mapas conceituais

Foram encontradas na literatura várias formas de analisar os mapas conceituais que foram exploradas na sequência.

Dutra (2004, p.5), sugere avaliar os mapas conceituais a partir das palavras de ligação. Ele as divide em três tipos, de acordo com suas implicações:

- implicação local. O autor a define como resultado de uma observação direta, ou seja, aquilo que pode ser registrado do objeto apenas da observação de seu contexto e de seus atributos. Este tipo de implicação descreve um objeto sem explicá-lo. Geralmente, utiliza-se, nesse tipo de implicação, verbos de ligação como “é” e “tem”;
- na implicação sistêmica as palavras de ligação expressam relação de causa e consequência, mas não explicam o porquê de tais consequências surgirem devido a uma causa;
- na implicação estrutural há explicações e não mais descrições, além de justificar as relações.

A última fornece mais indicativos de uma aprendizagem significativa do que as duas primeiras, pois enfatiza mais explicações do que descrições.

¹⁰ Este programa apenas foi idealizado. Até o presente momento não foi montado tal *software*.

Araújo (2003, p. 292), sugere que a análise seja feita a partir do número de conceitos representados, do número de ligações entre conceitos, do número de ligações cruzadas, do número de níveis hierárquicos, do número de exemplos citados, da comparação do mapa do aluno com de um especialista.

A avaliação do mapa conceitual construído pelo aluno é feita baseada num conjunto fechado de palavras escolhidas pelo professor, as quais representam os conceitos a serem aprendidos em uma determinada parte do curso. O professor pode: 1) avaliar os conceitos que foram incluídos e os que não foram; 2) identificar relações com significado; 3) identificar relações sem significado; 4) identificar quantidade de níveis hierárquicos válidos dentro do mapa conceitual (associações onde o conceito subordinado é menos geral e mais específico do que o conceito acima dele); 5) identificar ligações cruzadas (relações válidas entre conceitos de diferentes segmentos da hierarquia representados no mapa conceitual, com ou sem significado e relações válidas com conceitos representados em outros mapas conceituais); 6) identificar exemplos incluídos (eventos ou objetos específicos que são instâncias válidas do conceito).

Pode-se também fazer, segundo Araújo (2003, p. 292), uma comparação entre o mapa conceitual feito pelo aluno e seus mapas anteriores, a fim de detectar modificações importantes que indiquem a evolução do conhecimento do aluno. Nesse sentido, o professor deve observar os seguintes tópicos:

- conceitos não envolvidos com a teoria, que antes apareciam no mapa conceitual do aluno desaparecem, podendo indicar que concepções equivocadas e/ou incompletas foram resolvidas;

- o aluno consegue relacionar mais conceitos específicos a um conceito mais abrangente, o que pode indicar que o aluno está diferenciando um determinado conceito;

- um conceito considerado importante estava num mapa anterior e não está mais no mapa construído posteriormente. Isto pode ser um indicativo de que aquela relação havia sido aprendida de forma mecânica e não significativa e de que concepções que estavam aparentemente sedimentadas foram reformuladas;

- o aluno representou um novo relacionamento entre conjuntos de conceitos ou proposições localizados em segmentos diferentes na hierarquia. Este fato pode indicar uma integração reconciliadora entre os conceitos envolvidos, o que pode indicar um melhor entendimento deles e suas relações.

5.1.3.3. Análise dos mapas na primeira aplicação

Muitos dos mapas feitos pelos alunos, devido, principalmente, a ser a primeira vez que a maioria teve contato com o instrumento, possuem mais relações entre eventos e se parecem mais com fluxogramas. Tendo feita essa consideração inicial todos os mapas feitos pelos alunos serão englobados para possibilitar a análise qualitativa dos mesmos.

Como a explicação fornece indícios de aprendizagem significativa, buscar-se-á nos mapas conceituais indícios de explicação em detrimento da descrição.

Mas o que é descrição e explicação?

Os alunos frequentemente oferecem descrições quando solicitado a eles que forneçam explicações. A pesquisa de Horwood (1988 apud Treagust, 2000) encontrou que os alunos frequentemente consideram explicações e descrições como sinônimas.

Segundo Treagust (2000), os multimodais, os múltiplos modos, o contexto educacional, fatores individuais dos estudantes e dos professores são os fatores principais para estimular, na sala de aula, as explicações em detrimento das descrições.

“Contexto é importante assim como é o assunto e a idade dos estudantes” (Treagust, 2000, p. 1160).

Vários autores (Prain e Waldrup, 2006; Tytler, Prain e Peterson, 2007 apud Treagust, 2000) colocam que os estudantes precisam compreender e relacionar diferentes formas de representações, como gráficos, textos, para aprenderem significativamente e para pensar e agir cientificamente.

Segundo estes mesmos autores, os estudantes que reconhecem relações entre métodos diferentes, utilizados na sala de aula, demonstram melhor entendimento conceitual do que estudantes que faltam este conhecimento.

Estes pesquisadores assumem que o foco na representação multimodal e múltiplo-modal é consistente com a natureza do discurso científico e facilitam a aprendizagem alcançando a todas as pessoas, pois estas aprendem de modos diferentes.

As representações múltiplo-modal referem-se a prática de rerepresentar o mesmo conceito através de diferentes formas [...] como também repetir expositivamente aos estudantes o mesmo conceito. Multimodal refere-se a integração no discurso científico de diferentes modos de representar o raciocínio científico e o que encontram (Prain e Waldrup, 2006, p 1844).

Portanto, consideram-se relevantes a utilização de vários métodos de ensino, a ligação entre estes métodos pelo professor e pelo aluno, bem como a posterior utilização de vários métodos para explicitar os conhecimentos aprendidos. Desta forma, é importante tanto o professor explicar o conteúdo de várias formas (múltiplo-modal) ligando-as, como é relevante que os alunos realizem várias atividades diferenciadas (multimodal) e, assim, o professor possui várias formas de avaliar os alunos. Exemplificando: o professor pode utilizar um filme, simulações computacionais, aula expositiva, debate (múltiplo-modal) relacionando-as e depois os alunos devem ser capazes de expor o aprendido com várias ferramentas (mapas conceituais, diagramas, resolução de exercícios (multimodo)).

A utilização de diversas metodologias são fundamentais para alcançar as pessoas que aprendem de modos diferentes, bem como favorecer a explicação em detrimento das descrições.

O professor que utiliza da explicação pode fazer com que o conteúdo seja contextualizado, detalhado e lógico. A explicação tem como único objetivo compartilhar conhecimentos e significados e isto pode ser feito em um nível de maior ou menor profundidade.

Treagust (2000) divide as explicações em três tipos: 1º) explicações do conteúdo científico; 2º) explicações do conteúdo efetivamente pedagógico e 3º) explicações do dia-a-dia.

Há importantes diferenças filosóficas e epistemológicas entre explicação científica e a explicação no ensino. Explicação, para a ciência, é estritamente caracterizada com teorias e evidências de percurso, usam-se termos científicos corretos e incluem-se modelos. A explicação no ensino difere no rigor, na profundidade e detalhe, envolve vários graus de “explicação como” e “explicação porque”. Assim, para explicar, podem ser utilizadas analogias que podem não estar completamente corretas, pois pessoas com uma determinada idade podem não compreender os conceitos mais aceitos pela comunidade científica, que são mais complexos.

Para a compreensão dos conteúdos tanto a explicação quanto a sua construção são igualmente importantes para o aprendizado.

Explicações legítimas na sala de aula dependem dos interesses dos estudantes e dos seus conhecimentos prévios, o nível subjetivo, o conhecimento do professor e o conteúdo científico. Explicações em sala de aula não podem apenas se preocuparem com a qualidade do resultado, a ação em si mesma é um fator que influencia na aprendizagem, porque a educação científica está preocupada com o processo do conhecimento do conteúdo (Nickerson, 1985, Prawat, 1989 apud Treagust, 2000, p.1158-1159).

O conhecimento produzido pelos especialistas é simplificado pelos professores para tornar o conhecimento mais compreensível pelos alunos (explicações do conteúdo efetivamente pedagógico). Explica-se o conteúdo efetivamente pedagógico de formas diferentes para níveis diferentes, levando em conta tanto a maturidade intelectual do aluno quanto os seus conhecimentos prévios.

Para Solomon (1995 apud Treagust, 2000, p. 1162), a explicação é científica se ela faz previsões e uma boa explicação é aquela que leva em conta a audiência e o contexto e parece “correta”. Dessa forma, os exemplos e conceitos precisam ser conhecidos para a explicação se tornar efetiva. Portanto, uma explicação científica não pode ser feita de qualquer forma, explicações aceitáveis precisam concordar com o conhecimento científico em voga, ser apropriada a um grupo, a um contexto e mostrar acordos holísticos (defende uma análise global e um entendimento geral dos fenômenos).

Uma explicação deve se basear em conhecimentos conhecidos pelos receptores da explicação, sendo a metáfora, as analogias e os modelos importantes para a estrutura explicativa.

Para explicar conceitos desconhecidos podem ser feitas analogias, comparando-os a processos, objetos e conceitos familiares, diferenciando-os.

Muitos alunos possuem conhecimentos de senso comum que diferem dos conhecimentos científicos, dessa forma, a explicação deve levar em conta tais conhecimentos.

Segundo Treagust (2000, p. 1163), conhecimentos que envolvem coisas que as pessoas não vêem, como, por exemplo átomos, há a necessidade de que a explicação utilize modelos, analogias e imagens. Também é necessário utilizar mais de uma metodologia e forma de explicar para atender as diferenças existentes dentro de uma classe.

O material deve ser logicamente construído, com exemplos conhecidos, as macro explicações devem ser compostas por micro explicações. Estas ideias são semelhantes, respectivamente, aos conhecimentos prévios e a diferenciação progressiva da TAS de Ausubel (2002).

As explicações para o ensino apresentam-se de várias formas. Elas podem ser indutivas, dedutivas, dirigidas por leis e estatísticas, incluindo metáforas, analogias e exemplos “usando, onde é apropriado, antropomorfismo e explicações da teleologia para fazerem os conceitos de senso comum evoluírem para conhecimentos científicos. As explicações nunca são arbitrárias, excêntricas ou idiossincráticas” (Treagust, 2000, p. 1165).

Explicações científicas são caracterizadas por teorias, evidências, termos científicos corretos, modelos e analogias. Já as explicações em sala de aula incluem ricas e criativas metáforas, analogias e modelos contendo expressões teleológicas e antropomorfismos.

Enquanto o antropomorfismo (ex: dois átomos mantêm-se juntos) passa características físicas para objetos inanimados, a teleologia passa características mentais para estes seres, por exemplo, dois átomos de hidrogênio permanecem juntos, pois eles “querem”.

Treagust (2000, p. 1166), coloca que a teleologia está mais relacionada à descrição, mas é útil em cursos introdutórios.

Para que ocorra uma explicação em nível pedagógico, ou seja, para fazer a passagem do conhecimento produzido por cientistas para a sala de aula, deve-se construir uma ponte através de analogias (por exemplo: os elétrons possuem um momento magnético como se estivessem girando em torno do núcleo), metáforas (por exemplo: se um elétron gira no sentido horário possui *spin* positivo, ao passo que se gira no sentido anti-horário, possui *spin* negativo). Também utilizam-se modelos, por exemplo, o modelo atômico de Bohr para explicar a interação da radiação com a matéria.

Para uma boa explicação, também é necessário saber o conteúdo, dominar técnicas de ensino e saber teorias de aprendizagem.

Depois de o professor fazer uma analogia, é importante explicá-la, através de proposições. Um exemplo de proposição é: “quando um fóton encontra um elétron e é completamente absorvido pelo que é ejetado, chama-se esse processo de efeito fotoelétrico”. O professor precisa ter cuidado para não reforçar o antropomorfismo nos alunos, mas utilizá-los para levar os alunos a passar do conhecimento de senso comum para o conhecimento científico.

Muitas vezes, é útil colocar características humanas em partículas inanimadas (metáfora), para depois utilizar termos que os alunos não conhecem. Pode-se, por exemplo, dizer que os átomos de oxigênio mantêm juntos, explicando posteriormente que cientificamente isto chama-se adesão.

Na explicação no ensino deve-se trabalhar primeiro a parte conceitual para depois usar o formalismo matemático, pois a parte conceitual facilita na compreensão do formalismo. Segundo Hewitt (2002, p. 36), quem aprende qualitativamente Física aprende mais facilmente os conceitos matemáticos.

Deve-se levar em conta ao explicar o conteúdo e as pessoas a quem se ensina. Também, segundo Hewitt (2002, p. 36) é importante a negociação e discussão dos significados com os alunos, de forma análoga ao que Vergnaud (1990) expõe em sua teoria. Para tanto, o professor deve focalizar um determinado conteúdo, agir sobre ele (por exemplo, através de exercícios e apresentações) e fazer reflexão sobre sua prática estimulando os alunos a fazerem reflexões sobre as deles e sobre as explicações que foram fornecidas a eles.

Após serem feitas estas considerações sobre explicações e descrições, inicia-se a análise dos mapas conceituais da primeira implementação da proposta.

Na sequência há 3 mapas conceituais que possuem por característica principal cada uma das três divisões feitas por Dutra (2004, p.5) e, finalmente, mais um mapa conceitual com implicações sistêmicas.

A Figura 7 tem como característica principal a implicação local, entretanto há também a implicação sistêmica. Nos conjuntos 1, 2, 3 e 4 há implicações locais, mostrados pelas palavras de ligação derivadas de “é” e “tem”, correspondendo ao resultado de uma observação direta, ou seja, aquilo que pode ser registrado do objeto apenas da observação de seu contexto e de seus atributos. As proposições, respectivamente, são: 1) a radiação gama é a emissão de dois fótons em sentidos opostos; 2) a radiação gama é detectada pelo detector; 3) a Medicina nuclear é dividida em PET e SPECT; 4) na PET utiliza-se radiofármacos. Nos quatro casos há apenas descrição e não explicação, essa descrição caracteriza-se por ser direta e por identificar o que os conceitos são e têm. As demais ligações entre os conceitos utilizados no mapa conceitual também possuem caráter descritivo, expressam relação de causa e consequência, mas não explicam o porquê de tais consequências surgirem devido a uma causa, caracterizando-se como implicação sistêmica.

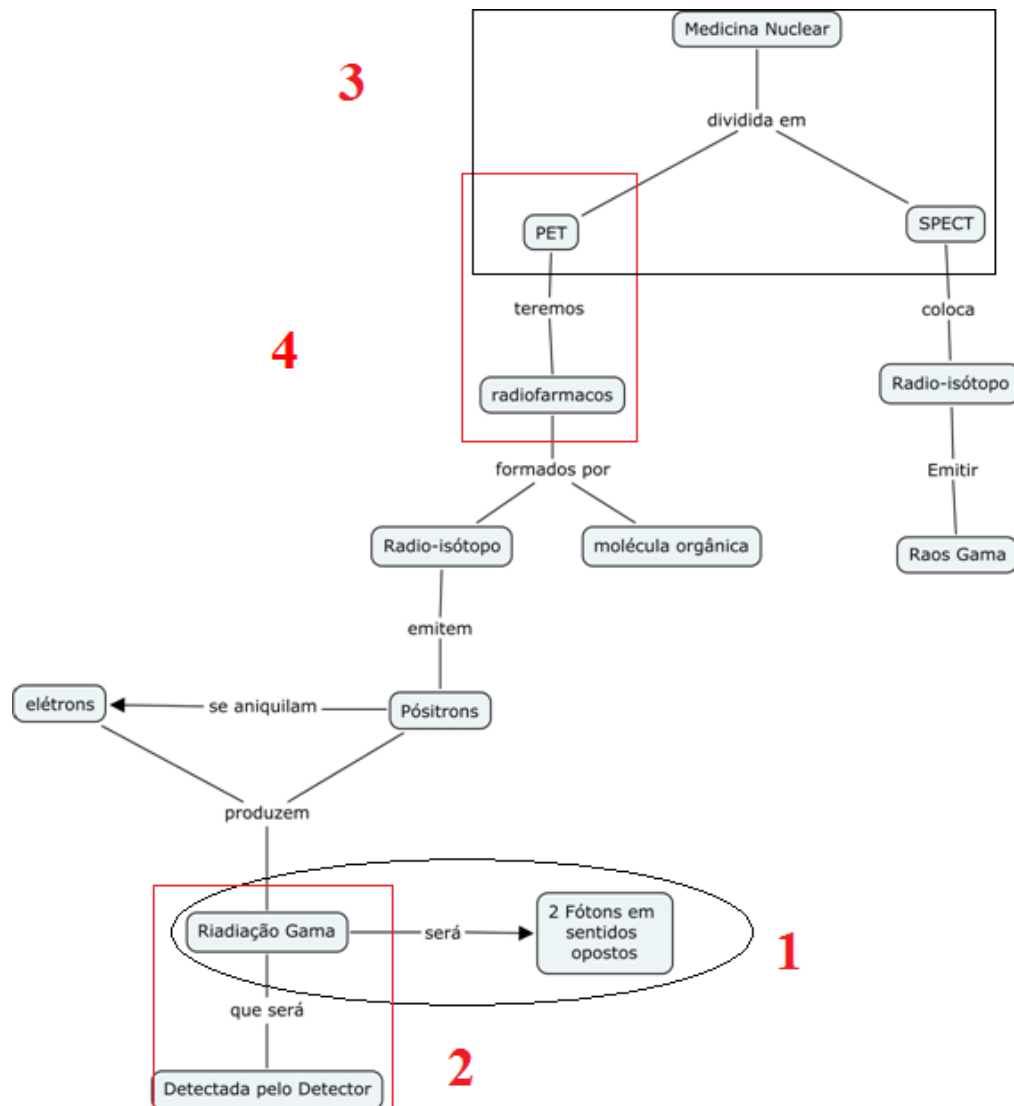


Figura 7: mapa conceitual referente à Medicina Nuclear.

Pode-se exemplificar a afirmação do parágrafo anterior pela proposição: “radioisótopos emitem pósitrons e estes se aniquilam com os elétrons produzindo radiação gama”. Portanto, a emissão de radioisótopos causa a emissão de radiação gama devido à aniquilação de matéria (elétron) e antimatéria (pósitron). Entretanto, o aluno não explica como ocorre essa aniquilação de matéria, nem como ocorre a emissão do pósitron.

A última proposição encontrada no mapa é: “na SPECT coloca-se um radioisótopo que emite Raios gama”. Tal proposição também possui um caráter descritivo, pois não explica como se coloca esse radioisótopo no corpo, quais as características desse radioisótopo e como ele emite Raios gamas. A proposição também não contém as diferenças e semelhanças entre a SPECT e a PET, o que poderia indicar ocorrência de aprendizagem significativa.

Na Figura 8 há um mapa que apresenta apenas implicação sistêmica. Como se pode perceber na proposição contida no mapa conceitual: “no paciente são injetados radioisótopos, que liberam pósitrons, que interagem com a matéria (elétrons), que se aniquilam liberando fótons de Raios gama, que são captados pelo aparelho por meio de detectores (colimadores

mais fotomultiplicadores) e são analisados pelo computador”.

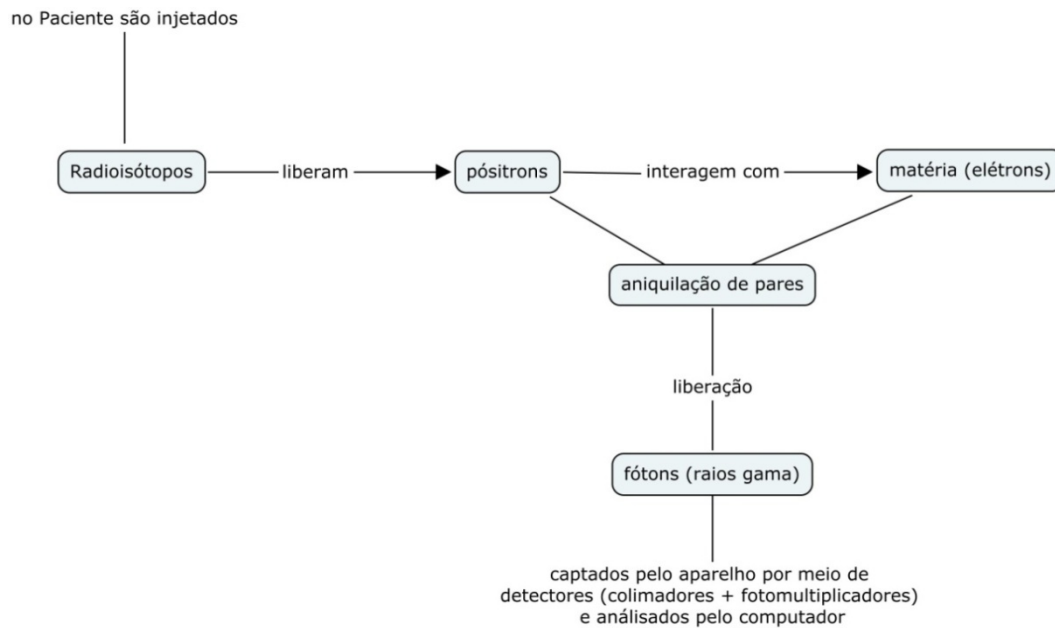


Figura 8: mapa conceitual da PET.

Nessa proposição, o aluno descreve, mas não explica como ocorre a liberação de pósitrons, como estes interagem com a matéria, como se aniquilam, como liberam raios gamas, como são captados pelo aparelho por meio dos detectores, quais são as funções dos colimadores e dos fotomultiplicadores e, por fim, como essas informações são analisadas pelo computador.

Na figura 9 há um mapa conceitual referente à fluoroscopia. Tal mapa foi classificado, principalmente, como tendo implicação estrutural, embora também haja proposições de implicação sistêmica.

Proposições sistêmicas: 1) “a fluoroscopia utiliza sinal digital e analógico”; 2) “no sinal digital tal informação é convertida em bits e no sinal analógico as informações são lidas diretamente sem decodificações”; 3) “a fluoroscopia utiliza como meios de contraste o sulfato de bário e o iodo”; 4) “a fluoroscopia utiliza as técnicas da angiografia e da seriografia”.

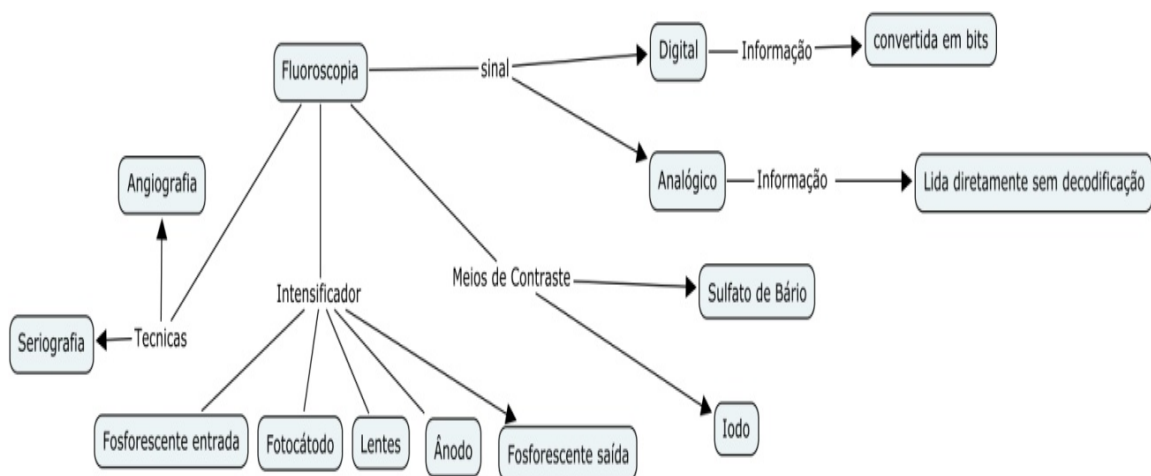


Figura 9: mapa conceitual referente à fluoroscopia.

Nessas proposições o aluno não explica o porquê de a fluoroscopia usar o sinal analógico e digital; o que são bits; porque são utilizados o sulfato de bário e o iodo e o que são a angiografia e a seriografia.

Há a seguinte proposição estrutural: “na fluoroscopia há um intensificador de sinal, a radiação passa pela tela fosforescente de entrada, onde os Raios-X são transformados em luz. Tal luz arranca mais fótons no cátodo, estes são focalizados através de lentes convergentes para o cátodo, onde é arrancado elétrons através do efeito fotoelétrico. Esses elétrons são acelerados através de uma diferença de potencial entre o cátodo e o ânodo. No ânodo esses elétrons são transformados em fótons através da produção de radiação característica e de freamento. Esses elétrons energéticos, ao incidirem sobre a tela fosforescente de saída, arrancam fótons que são mais numerosos do que os fótons incidentes, amplificando, dessa forma, o sinal”.

A explicação acima referida foi feita pela aluna na apresentação do mapa conceitual e gravada pela pesquisadora.

Há alguns pontos que mereceriam ser melhor explicados na proposição feita pela aluna, por exemplo, quais fatores influenciam na ocorrência do efeito fotoelétrico, o que é efeito fotoelétrico, como ele ocorre, como os Raios-X são transformados em luz, como a luz arranca fótons do cátodo, o que é radiação característica e de freamento, por que os fótons de saída são mais numerosos que os fótons de entrada.

Outro ponto fundamental a ressaltar é que muito do que o (a) aluno (a) falou na apresentação não foi colocado no mapa. Percebendo-se a importância da externalização e de solicitar ao (a) aluno (a) colocar esses conceitos que externalizou no mapa conceitual, fazendo as ligações que achar conveniente.

Na Figura 10: mapa conceitual referente aos detectores de radiação, observa-se um mapa que contém as duas primeiras implicações sugeridas por Dutra (2004, p.5). Foi dividido o mapa conceitual em três grupos. No primeiro, há uma implicação local, no segundo há implicações sistêmicas e local e, no terceiro, há apenas implicações sistêmicas. Serão analisadas, em seguida, as proposições para justificar tal divisão.

A proposição 1: “os elétrons são acelerados”, sendo uma observação direta e, portanto uma implicação local.

No grupo 2 há três proposições separadas: 1) “os detectores de radiação são divididos em: gás, termoluminescência e cintilação”; 2) “os detectores de termoluminescência, por exemplo, os dosímetros, acumulam radiação e devido a transferência de calor emitem radiação que torna-os novamente utilizáveis”; 3) “os detectores de radiação de cintilação usam radiação ionizante que é transformada em luz. Esta vai arrancar elétrons, através do efeito fotoelétrico, que serão acelerados gerando uma energia maior do que a radiação ionizante”. A segunda e a terceira proposições têm colocações de causa e efeito (implicação sistêmica), enquanto que a primeira possui observação direta (implicação local).

Na primeira, o aluno apenas faz a divisão dos detectores. Na segunda, ele não explica como os dosímetros acumulam radiação e como, através da transferência de calor, emitem radiação. Na terceira o aluno não explica o motivo pelo qual os detectores de radiação detectam apenas radiações ionizantes; como a radiação ionizante é transformada em luz; como ocorre o efeito fotoelétrico e como os elétrons são acelerados.

No terceiro grupo há a seguinte proposição: “os detectores a gás dependem da voltagem do eletrodo e da quantidade de gás, isto consegue-se através do aumento da pressão e/ou de uma câmara maior”. Essa proposição também é apenas descritiva. O aluno não explicou porque os detectores dependem da voltagem do eletrodo e da quantidade de gás; por

que se for aumentado a pressão e/ou houver uma câmara maior, aumenta-se a quantidade de gás na câmara.

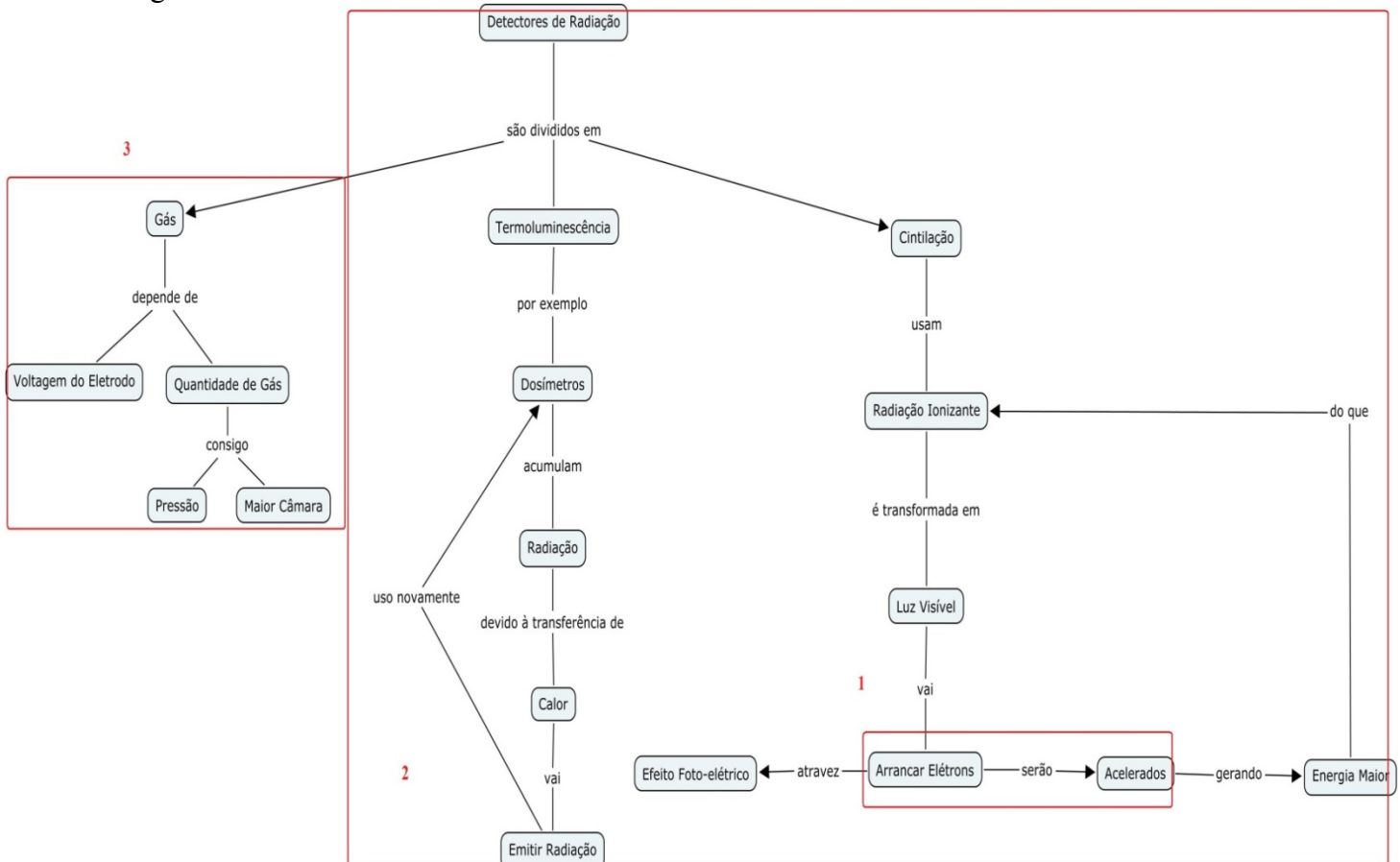


Figura 10: mapa conceitual referente aos detectores de radiação

Foi constatado que dos 16 mapas, 10 possuem maior ênfase nas implicações do tipo sistêmica, ou seja, a maioria dos mapas são descritivos.

Foram extraídas dessa análise as seguintes conclusões para as próximas aplicações do curso:

- é fundamental, para a análise dos mapas conceituais, que sejam gravadas as explicações dos alunos e/ou que entreguem a explicação dos mapas conceituais por escrito;
- é importante dar a oportunidade de os alunos refazerem os mapas conceituais, para que haja a possibilidade de avaliar as modificações decorrentes da instrução e, assim, buscar indícios de aprendizagem significativa;
- dar maior ênfase, no curso, às explicações e menor ênfase às descrições.

5.1.4 Análise conhecimentos prévios

Houve apenas cinco alunos respondentes (o questionário utilizado encontra-se no APÊNDICE B- Questionário conhecimentos prévios experiência piloto). Foram primeiramente analisadas as questões que mais da metade dos alunos responderam corretamente.

Na questão 1 e 2 houve quatro acertos cada uma e apenas um respondente afirmou não saber as questões. Não houve nenhum equívoco. Dessa forma, há indícios de que as duas formas de produção de radiação, freamento e característica, são conhecidas por quatro dos cinco alunos.

Todos os alunos responderam corretamente a questão 5. Essa questão refere-se aos conhecimentos relativos à indução eletromagnética. Tal assunto é ensinado no Ensino Médio e não se relaciona diretamente a Física aplicada à Medicina, mas ao princípio de funcionamento do gerador. Dessa forma, justifica-se que todos os alunos acertaram a resposta a essa questão.

Quatro alunos responderam corretamente a questão 7 e apenas uma respondeu que não sabia a informação. A maioria dos alunos sabia a resposta, devido às relações existentes entre meios de contraste e densidade (conceito trabalhado no Ensino Médio e Superior).

Havia apenas um respondente que não sabia as questões 11 e 12, os demais conseguiram relacionar corretamente: 1) a intensidade da voltagem no tubo de Raios-X com a dose absorvida pelo paciente; 2) a voltagem e a intensidade da radiação que atravessa o paciente.

Dois alunos não sabiam a resposta para a questão 13. Os demais conseguiram relacionar a densidade do tecido à imagem produzida, sabiam que quanto maior for a densidade mais clara seria a imagem produzida no exame de Raios-X convencional.

Haviam dois alunos que não souberam responder a questão 15. Os demais demonstraram que sabiam o que é radioterapia, quais são os elementos usados para realizá-la e que ela é dividida em teleterapia e braquiterapia.

Na questão 16 houve um aluno que não soube responder. Os demais demonstraram que conheciam o funcionamento de um ciclotron, sua função e que não utilizam material radioativo em seu interior.

Na questão 22, três alunos relacionaram corretamente a intensidade da radiação com o enegrecimento da imagem e duas desconheciam o assunto.

Na questão 24, haviam dois alunos que afirmaram não saber e três que responderão corretamente. A maioria dos alunos demonstrou saber que a RMN não usa radiação ionizante, mas um forte campo magnético associado à radiofrequência.

Na sequência há os exercícios nos quais a maioria dos alunos assinalou que não sabia as respostas.

Nas questões 8 e 9, dois alunos responderam corretamente e três responderam não saber sobre o assunto. As respostas a primeira questão fornecem indícios mostra que três dos alunos não possuem conhecimentos sobre o funcionamento do fluoroscópio e a segunda que três alunos não possuem conhecimentos sobre o funcionamento do intensificador de imagens.

Apenas uma pessoa acertou a questão 10, as demais responderam não saber. O resultado fornece indícios que quatro alunos desconheciam a relação existente entre o equipamento da fluoroscopia e a dose de radiação a que o paciente é exposto.

Na questão 14 três alunos afirmaram que não sabiam a resposta, fornecendo indícios que a maioria dos alunos não sabem: 1) a diferença entre densidade Óptica e densidade dos tecidos; 2) que os tecidos podem ser radiografados; 3) as relações entre densidade e contraste.

Nas questões 17 e 20, todos afirmaram desconhecer o assunto, o que indicou a necessidade de abordar o funcionamento dos detectores a gás e dos que funcionam a partir da luminescência estimulada opticamente, de modo mais aprofundado e detalhado.

Nas questões 18 e 21, apenas uma pessoa respondeu corretamente ao passo que os demais não sabiam respondê-las. O que indicou a necessidade de utilizar um tempo maior para explicar os detectores do estado sólido e os detectores de cintilação.

Na questão 19 dois alunos acertaram e três não souberam responder, fornecendo

indícios de que devia-se dar ênfase ao funcionamento dos dosímetros termoluminescentes ao longo do curso.

Na questão 25, haviam duas respostas corretas e três alunos que não souberam responder. Portanto, houve a necessidade, de utilizar mais tempo do curso sobre o funcionamento da RMN, utilizando seu funcionamento para dar sentido aos conceitos físicos envolvidos.

Nas questões 28 e 29, todos os alunos afirmaram não saber a resposta, o que forneceu indícios que os alunos não possuíam conhecimentos relacionados a PET e a SPECT.

Na questão 26, apenas uma pessoa acertou enquanto as demais desconheciam o assunto, mostrando a importância de enfatizar, durante o curso, o que é e como é constituído um radiofármaco.

A resposta a questão 27 sugere que a maioria dos alunos (3) não sabe que os radioisótopos liberam energia menor do que os Raios-X e que são eliminados pela urina e/ou pelas fezes. Dois alunos acertaram essa questão.

Na sequência são apresentadas as questões que apresentam equívocos.

Na questão 3 haviam duas respostas corretas, uma errada e dois alunos afirmaram desconhecer o assunto. Essas respostas indicam que há confusão entre efeito fotoelétrico e efeito Compton por um dos alunos e que dois desconhecem o assunto.

A questão 4 abordou a criação e a aniquilação de pares. Houve três respondentes que afirmaram não saber, uma pessoa que acertou e outra que errou. Esses dados forneceram indícios de que há pouco conhecimento sobre esse assunto pelos alunos.

A questão 6 refere-se à produção de Raios-X em um equipamento. Nenhum aluno acertou essa questão, dois alunos responderam não saber a resposta e três responderam de forma equivocada. Os resultados indicam a importância de abordar de forma mais aprofundada e extensa este tópico no curso, de modo a buscar transformar os conhecimentos de senso comum em científicos.

A questão 23 dois alunos responderam incorretamente, dois afirmaram não saber e um acertou a questão. Acredita-se que os alunos que erraram confundiram os diversos tipos existentes de tomografia, pois as tomografias computadorizadas anteriores à helicoidal não faziam uma volta de 360° em torno do paciente, mas sim de 180°. Esse assunto também mereceu maior ênfase durante a aplicação do curso.

As respostas dos alunos forneceram indicativos de quais são os conhecimentos bem estruturados na estrutura cognitiva dos alunos e os conhecimentos que há a necessidade de enfatizar na aplicação do curso. Na sequência tais conteúdos estão citados.

Conteúdos em que houve indícios de que estavam presentes na estrutura cognitiva da maioria dos alunos: duas formas de produção de radiação (freamento e característica); indução eletromagnética; meios de contraste; densidade; intensidade da radiação em relação ao enegrecimento da imagem; relação entre voltagem no equipamento de Raios-X e a intensidade do feixe; relação da intensidade do feixe e a dose de radiação absorvida pelo paciente; relação entre densidade do tecido orgânico e a produção de imagem; quanto maior a densidade do tecido mais clara é a imagem produzida; o que é radioterapia, quais são os elementos usados para realizá-la e como ela é dividida; o funcionamento de um ciclotron, sobre sua função e que não utilizam material radioativo em seu interior e que a RMN não usa radiação ionizante, mas sim um forte campo magnético associado à ondas de radiofrequência.

Conhecimentos a enfatizar: efeito Compton, semelhanças e diferenças com o efeito Fotoelétrico, aniquilação e produção de pares, produção de Raios-X em um equipamento, funcionamento do fluoroscópio, funcionamento do intensificador de imagens, relação entre a fluoroscopia e a dose de radiação ao paciente, diferença entre densidade Óptica e densidade

anatômica, quais são os tecidos que podem ser radiografados, relações entre densidade e contraste, o funcionamento dos detectores a gás, dos detectores que funcionam a partir da luminescência estimulada opticamente, dos detectores de estado sólido e de cintilação, dosímetros termoluminescentes, tomografia helicoidal, funcionamento do aparelho da RMN, PET, SPECT, radiofármaco e radioisótopos.

5.1.5 Análise pré e pós-teste

Como apenas três alunos responderam o pré e o pós-teste, foram avaliadas as respostas deles individualmente a partir da Tabela 5. O pré e pós-teste aplicados foram os mesmos e encontram-se no APÊNDICE C- Pré e pós-teste experiência piloto.

Observando a Tabela 5, todos os alunos diminuíram o número de respostas que afirmaram não saber, aumentaram o número de questões que acertaram e dois dos três alunos diminuíram o número de erros, a aluna Ana errou uma questão a mais no pós-teste do que no pré-teste.

Como o número de alunos foi pequeno, não foi analisado se os ganhos (G), que é o número de questões acertadas a mais no pós-teste em relação ao pré-teste, foram significativos.

Os alunos foram identificados por números nos testes. Tais números eram os mesmos para cada aluno no pré-teste e no pós-teste. Assim as respostas dos alunos, apesar destes não se identificarem no teste, puderam ser comparadas.

Na Tabela 5 há a análise das respostas dadas pelos alunos ao pré-teste e ao pós-teste.

Tabela 5: resultados individuais do pré-teste e do pós-teste.

NOMES (FÍCTICIOS)	ACERTOS	TOTAL	NÃO SEI	ERRADO	G= (Y-X)
Kilian (Pré-teste)-X	24	72	38	10	32
Kilian (Pós-teste)-Y	56	72	11	5	
Ana (Pré-teste)-X	42	72	21	9	9
Ana (Pós-teste)-Y	51	72	11	10	
Vivian (Pré-teste)-X	36	72	20	16	24
Vivian (Pós-teste)-Y	60	72	10	2	
					SG1=65

Segundo Silveira (2010, p. 2-3), SG1 é a soma de todos os valores de G.

Para encontrar o ganho médio (média de questões que os alunos acertaram a mais no pós-teste), divide-se SG1 pelo número de alunos (n), conforme equação (2):

$$\bar{G} = \frac{SG1}{n} = \frac{65}{3} = 21,7 \quad (2)$$

A partir da equação (2) pode-se concluir de que houve, em média, 21.7 questões de ganho, que é um valor considerável para o questionário que possuía 72 questões.

Inicia-se agora a análise individual dos três respondentes.

O aluno Kilian acertou 32 questões no pré-teste a mais do que no pós-teste, errou cinco questões a menos e 27 questões a menos ele respondeu não saber, apontando que houve indícios de aprendizagem significativa pelo aluno na maioria das questões.

Observando as questões respondidas, pelo aluno, incorretamente no pós-teste (questões 6, 19, 21, 26, 61 do APÊNDICE C- Pré e pós-teste experiência piloto) pode-se concluir que permaneceram as seguintes ideias errôneas:

- não compreendeu a forma como são produzidos os Raios-X por freamento;
- continua pensando que o fóton é outro nome que se dá à luz;
- pensa que a produção de Raios-X por freamento não ocorre quando um elétron energético, ao se aproximar do átomo, é desviado de sua órbita devido a atração do núcleo, esse freamento libera energia em forma de uma onda eletromagnética;
- acha que a vida média é o tempo médio para que metade dos átomos de um elemento sejam transformados em radiação;
- discordou, erroneamente, que a maior tarefa do gerador é fornecer uma voltagem extremamente alta para produzir Raios-X com suficiente energia e adequada quantidade de radiação;
- continua achando que se há poucos prótons de hidrogênio no exame de RMN a imagem se aproximará de preto.

Analisando as respostas dadas pelo aluno em que ele continuou afirmando não saber (questões 5, 7, 29, 36, 37, 42, 51, 52, 53, 56, 60 do APÊNDICE C- Pré e pós-teste experiência piloto), pode-se afirmar que não houve indícios de aprendizagem significativa nos seguintes tópicos:

- em que exames é utilizado a radiação característica e por freamento;
- a dependência existente entre a densidade de massa e a absorção, tanto no efeito fotoelétrico quanto no efeito Compton;
- a função do fluoroscópio;
- a relação entre a quantidade de radiação que chega ao paciente no aparelho de Raios-X e no fluoroscópio;
- a relação entre voltagem, a corrente elétrica e a característica da imagem formada;
- o funcionamento dos dosímetros de filme;
- as vantagens existentes da TC em relação aos exames radiológicos convencionais;
- as diferenças entre a TC Helicoidal e a TC;
- o porquê do nome do exame ser RMN;
- a relação existente entre a concentração de prótons de hidrogênio, o sinal emitido pelo aparelho da RMN e a formação da imagem.

As demais respostas dadas pelo aluno forneceram indícios de aprendizagem significativa.

A seguir analisa-se as respostas da aluna Ana (*nome fictício*).

No pré-teste ela acertou 42 questões e no pós-teste ela acertou 51, ou seja, acertou 9 questões a mais no pós-teste; respondeu 10 questões a menos que não sabia e errou uma questão a mais.

Observando as questões respondidas incorretamente (questões 2, 5, 6, 19, 29, 33, 54, 63, 68, 69 do APÊNDICE C- Pré e pós-teste experiência piloto), pode-se afirmar que permaneceram as seguintes ideias errôneas:

- os Raios-X possuem menos energia que os Raios gama;

- os Raios-X característicos são utilizados em todos os exames menos na mamografia;

- a produção de Raios-X por freamento não ocorre quando um elétron energético, ao se aproximar do átomo, é desviado de sua órbita devido à atração do núcleo, esse freamento libera energia em forma de uma onda eletromagnética;

- o fóton é outro nome que se dá à luz;

- a absorção é inversamente proporcional à densidade de massa tanto no efeito fotoelétrico quanto no efeito Compton;

- quando utilizado o sinal analógico à informação é convertida para *bits*, enquanto na eletrônica digital a informação é tratada sem essa conversão;

- a TC de múltiplos cortes não têm como função analisar a mesma anatomia mais rápido ou analisar mais anatomia no mesmo tempo;

- o Modelo Padrão não é um modelo que organiza as partículas elementares e suas interações;

- as PETs e TCs da mesma área não são frequentemente lidas em simultâneo para correlacionar informações fisiológicas com alterações morfológicas, a esses aparelhos não denomina-se de PET/TC;

- a PET/TC não sobrepõe as imagens metabólicas (PET) às imagens anatômicas (CT), não produzindo, assim, um terceiro tipo de imagem.

Analisando as respostas dadas pelo aluno nas quais seguiu afirmando não saber (questões 21, 23, 25, 28, 35, 37, 48, 49, 52, 53, 70 do APÊNDICE C- Pré e pós-teste experiência piloto), conclui-se que não houve indícios de aprendizagem significativa nos seguintes tópicos:

- a Vida Média não é o tempo médio para que metade dos átomos de um elemento sejam transformados em radiação;

- num equipamento de Raios-X, o ânodo é responsável para ejetar os elétrons de modo que eles produzam Raios-X;

- os materiais mais densos absorvem a radiação ou a espalham;

- para maximizar o efeito fotoelétrico e, portanto, melhorar a absorção deve-se utilizar kVp (diferença de voltagem entre o cátodo e o anodo) baixos;

- na RMN a função dos meios de contraste é mudar o campo magnético no local onde será aplicado o exame;

- a quantidade de radiação que chega ao paciente é muito maior no aparelho de fluoroscopia em relação aos aparelhos de Raios-X;

- o funcionamento da dosimetria de termoluminescência;

- o funcionamento da luminescência estimulada;

- as vantagens da TC em relação aos exames radiológicos convencionais;

- as diferenças entre TC e TC helicoidal;

- as diferenças entre a SPECT e a PET.

As demais respostas avaliadas no teste forneceram indícios de aprendizagem significativa.

Passa-se na sequência a analisar as respostas da aluna Vivian (*nome fictício*).

No pré-teste ela acertou 36 questões e no pós-teste acertou 60, indicando que acertou 24 questões a mais no pós-teste; respondeu 10 questões a menos que não sabia e errou 14 questões a menos no pós-teste.

Observando as questões respondidas incorretamente (questões 6 e 19 do APÊNDICE

C- Pré e pós-teste experiência piloto), afirma-se que as seguintes ideias errôneas permaneceram:

- a produção de Raios-X por freamento não ocorre quando um elétron energético, ao se aproximar do átomo, é desviado de sua órbita devido à atração do núcleo, esse freamento libera energia em forma de uma onda eletromagnética;

- a Meia Vida é o tempo de vida de cada radionuclídeo (material que emite radiação e que é usado na tomografia).

Analisando as respostas dadas pela aluna em que ela continuou afirmando não saber (questões 12, 14, 29, 31, 38, 40, 49, 52, 58, 61 do APÊNDICE C- Pré e pós-teste experiência piloto), pode-se afirmar que não houve indícios de aprendizagem significativa nos seguintes tópicos:

- a aniquilação de pares ocorre quando uma matéria e sua antimatéria, por exemplo, os elétrons e os pósitrons, se encontram. Esse encontro faz com que eles se aniquilem, através da relação de Einstein: $E=mc^2$. Suas massas originais aparecem, então, como energia radiante, ou radiação; o inverso também ocorre, mas denomina-se produção de pares;

- sob determinada pressão mecânica alguns materiais emitem descarga elétrica, o que se chama de efeito piezoelétrico e se os cristais são estimulados por um sinal elétrico produzem deformações mecânicas, o que é chamado de efeito piezoelétrico inverso;

- a absorção é diretamente proporcional à densidade de massa tanto no efeito fotoelétrico quanto no efeito Compton;

- a absorção causada por diferença no número atômico é diretamente proporcional para interações de Compton, mas proporcional ao cubo do número atômico para interações fotoelétricas, ou seja, a absorção fotoelétrica predomina sobre a dispersão Compton com Raios-X de baixa energia;

- é o kVp que determina a velocidade do feixe de elétrons dentro da ampola, quanto maior for o kVp, maior será a penetração do Raios-X;

- quando se aumenta o valor do kVp, aumenta-se também a energia dos Raios-X e consequentemente a capacidade de penetração da radiação no paciente, afetando com isso o contraste da imagem;

- o funcionamento da luminescência estimulada opticamente;

- a TC tem como principal vantagem, em relação aos exames radiológicos convencionais, a não sobreposição de imagens de estruturas anatômicas e a diminuição da radiação dispersa;

- ao ser aplicado um campo magnético fornecido pelo magneto principal, os spins se alinham de acordo com ele (estado de energia de equilíbrio);

- as imagens na RMN variam de preto a branco, passando por escala de cinza. Se há poucos prótons de hidrogênio a imagem se aproximará de preto.

As demais respostas avaliadas no teste (ver APÊNDICE C- Pré e pós-teste experiência piloto) forneceram indícios de aprendizagem significativa.

5.1.6 Análise das questões

Analisa-se agora as respostas dadas às duas questões fornecidas aos alunos com dois objetivos: 1) encontrar teoremas e conceitos-em-ação e 2) buscar indícios de aprendizagem significativa.

Nesta primeira aplicação foram feitas as questões e solicitado aos alunos para que respondessem no papel individualmente. A análise está fundamentada apenas no que os alunos escreveram depois da aplicação, pois antes eles não conseguiram responder as questões.

Para isso foi feito duas tabelas (6 e 7) que contém cinco colunas. Na primeira coluna há o *nome fictício* dos alunos, na segunda a transcrição de suas respostas, na terceira os equívocos apresentados nas respostas dadas pelos alunos, na quarta e quinta coluna, respectivamente, possíveis¹¹ conceitos e teoremas-em-ação, alcançando o primeiro objetivo supracitado. Por último, para buscar indícios de aprendizagem significativa, foram analisadas as respostas dadas pelos alunos.

Na Tabela 6 há a análise da primeira questão: como ocorre a produção de Raios-X?

A resposta da aluna Ana não apresentou nenhum equívoco. Entretanto, a aluna apenas forneceu os nomes das duas formas de radiação e não há nem descrição nem explicação de como ocorre à produção de radiação, fornecendo indícios de que não houve nenhum tipo de aprendizagem.

O aluno Kilian apresentou apenas um equívoco quanto à velocidade do elétron ao se aproximar do núcleo, onde este diminui de velocidade e não aumenta como ele colocou. Ao explicar a produção de Raios-X de freamento não escreveu por que o elétron altera de velocidade e por que esta alteração faz com que seja liberado fóton de Raios-X. Na produção de Raios-X característica não explicou por que o elétron de um átomo fica excitado e por que torna-se, posteriormente, não excitado, ou seja, faltou muitas explicações na resposta dele. A resposta de tal aluno é descritiva fornecendo indícios de aprendizagem mecânica.

O aluno Ronaldo (*nome fictício*) enfatizou apenas o funcionamento de algumas partes do aparelho de Raios-X, mas não explicou as formas de produção. Portanto, em sua resposta, não houve nem descrição nem explicação de como ocorre à produção de radiação, fornecendo indícios de que não houve aprendizagem.

Na Tabela 7 há a análise da segunda questão que é: como ocorre a formação de imagens a partir de um exame de Raios-X convencional?

A aluna Ana respondeu, muito simplificada, a questão. Não colocou que há a necessidade de três partes formadoras de imagem (chassi, filme e écran) e também não explicou o funcionamento de cada uma delas. Portanto, a resposta da aluna foi descritiva fornecendo indícios de aprendizagem mecânica.

O aluno Kilian colocou um ponto importante que ocorre na formação de imagem, ele escreveu que os Raios-X são transformados em luz e é esta que sensibiliza o filme e não diretamente os Raios-X. Entretanto, não explicou como se dá esta transformação e não explicou as partes formadoras da imagem. Sua resposta também possui caráter essencialmente descritivo fornecendo indícios de aprendizagem mecânica.

A resposta do aluno Ronaldo é bastante superficial e da mesma forma que os outros dois alunos não mencionou nem explicou as partes formadoras da imagem radiográfica. Colocou, diferentemente dos demais, para que serve a imagem do filme radiográfico, ou seja, que ela é utilizada para distinguir estruturas. O aluno também não explicou como os Raios-X, que passam através do paciente, impressionam o filme. Pode-se concluir, dessa forma, que tal

¹¹ Apenas há indícios de que tais teoremas e conceitos sejam realmente teoremas-em-ação e conceitos-em-ação, para poder afirmar seria necessário um estudo mais aprofundado relacionado a tal tema.

Tabela 6: análise das respostas à primeira questão.

Nomes (fictícios)	Transcrição das respostas dadas pelos alunos a primeira questão.	Equívocos apresentados	Possíveis Conceitos-em-ação	Possíveis Teoremas-em-ação
Ana	A produção de Raios-X ocorre de duas maneiras por freamento ou fornecendo energia ao elétron que está preso ao átomo. Obtem-se os Raios-X de duas formas: Raios-X de freamento e característico.	Não há equívocos. Entretanto, a aluna apenas forneceu o nome das duas formas de radiação. Não há nem descrição nem explicação de como ocorre a produção de radiação.	Radiação, Raios-X, velocidade, energia, elétron, aceleração, átomo.	A produção de Raios-X é de dois tipos: freamento e característico.
Kilian	Ou um elétron de um átomo é incitado e ao desexcitar-se libera fótons de energia na faixa dos Raios-X ou um elétron ao ser acelerado libera fótons de energia na faixa dos Raios-X.	1) Na produção de Raios-X de freamento não ocorre a aceleração do elétron, como o aluno colocou, mas freamento. Através da diminuição da velocidade do elétron, há a transformação de energia cinética em energia luminosa.	Elétron, átomo, fótons, energia, Raios-X, aceleração.	1) quando um elétron está excitado e ele volta para um nível menos energético, pode liberar fótons com energia na faixa dos Raios-X; 2) o elétron ao ser acelerado libera fótons de energia na faixa dos Raios-X.
Ronaldo	Um cátodo incandescente gera um fluxo de elétrons de alta energia. Estes são acelerados por uma grande diferença de potencial e atingem o anodo ou placa de tungstênio, que suporta o calor produzido pela criação de Raios-X.	1) os elétrons ao incidirem no anodo produzem calor (o que eles produzem é aumento de temperatura e não calor); 2) o cátodo gera corrente elétrica (não é apenas o cátodo que gera corrente elétrica); 3) os elétrons produzidos pelo cátodo possuem alta energia (os elétrons produzidos no gerador podem ter baixa ou alta energia, isso vai depender da diferença de potencial entre o cátodo e o ânodo); 4) os elétrons atingem o anodo ou placa de tungstênio (o ânodo pode ser feito de tungstênio).	Elétrons, cátodo, fluxo de elétrons, energia, aceleração, anodo, diferença de potencial, calor, Raios-X.	1) o cátodo gera um fluxo de elétrons de alta energia; 2) os elétrons são acelerados devido a alta voltagem; 3) os elétrons que atingem o ânodo produzem Raios-X e calor.

Tabela 7: análise das respostas à segunda questão.

Nomes (fictícios)	Transcrição das respostas dadas pelos alunos a segunda questão.	Equívocos apresentados	Possíveis Conceitos-em-ação	Possíveis Teoremas-em-ação
Ana	Os Raios-X incidem no écran que é excitado emitindo fótons de luz que marcam o filme, produzindo a imagem.	1) o écran é excitado (quem é excitado não é o écran, mas os átomos de fósforo que o formam).	Raios-X, excitação, fótons, luz e imagem.	1) no filme são produzidas imagens; 2) os Raios-X excitam o écran; 3) o écran excitado emite fótons de luz.
Kilian	Os fótons de Raios-X incidem em um material que ao ser excitado libera fótons de luz e estes, por sua vez, incidem sobre o filme revelando a imagem.	1) o material ao ser excitado libera fótons de luz (o material libera fótons de luz quando vai para um nível menos	Fótons, luz, excitação, Raios-X, imagem.	1) os Raios-X ao incidirem em um material emitem fótons de luz; 2) a luz ao incidir sobre o filme revela a imagem.

		energético, ou seja, é desexcitado).		
Ronaldo	Os Raios-X interagem com os tecidos através do efeito fotoelétrico e Compton. Os feixes de Raios-X transmitidos, através do paciente, impressionam o filme radiográfico. Uma vez revelado proporciona imagem que permite distinguir estruturas.	1) não são os Raios-X que impressionam o filme radiográfico, mas a luz produzida a partir dos Raios-X.	Raios-X, efeito fotoelétrico e Compton, imagem.	1) os Raios-X interagem com os tecidos através do efeito fotoelétrico e Compton; 2) os Raios-X impressionam o filme radiográfico; 3) o filme radiográfico revelado proporciona imagem que permite distinguir estruturas do corpo humano.

resposta também possui caráter descritivo e não explicativo, fornecendo indícios de aprendizagem mecânica.

Através da análise das respostas dos três alunos as duas perguntas que foram feitas, encontrou-se os seguintes indícios:

- os alunos aprenderam os conteúdos mecanicamente ou não aprenderam;
- há a necessidade de reformular as questões transformando-as em situações-problema;
- será percebido melhor o que os alunos pensam, se eles forem estimulados a discutirem em grupos as situações-problema;
- para encontrar mais indícios de aprendizagem é imprescindível gravar as respostas das discussões dos alunos relativas as situações-problemas.

5.1.7 Análise da avaliação do curso

Como no último dia de curso vieram apenas três alunos, não foi utilizado porcentagem para analisar a avaliação feita por eles. A avaliação que os alunos responderam encontra-se no APÊNDICE G- Análise das aulas.

Foram utilizadas as respostas dos alunos para encontrar indícios para responder aos seguintes problemas de pesquisa: 1) os conteúdos de Óptica, Eletromagnetismo, Física Moderna e Contemporânea podem ser utilizados na Física aplicada à Medicina? Essa abordagem aplicação facilita a compreensão dos conceitos físicos envolvidos? 2) Que abordagem(ns), estratégia(s) poderia(m) ser mais facilitadoras da aprendizagem significativa da Física aplicada à Medicina?

Para alcançar os objetivos supracitados, foi colocado na Tabela 8 as transcrições de todas as justificativas dadas pelos alunos na primeira parte (assinalar) e na Tabela 9, as transcrições de todas as justificativas dadas pelos alunos na segunda parte (descritiva). Tais transcrições foram analisadas posteriormente.

Tabela 8: transcrições das justificativas do grupo 2- primeira parte.

Questões	Sim	Não	Às vezes	Justificação: transcrições
1	1	0	2	“Acredito que para um primeiro contato com os conceitos apresentados, leitura e confecção de mapas conceituais não seja adequado e acredito que o funcionamento de um equipamento deve ter um papel secundário nas aulas” (Kilian).
2	2	0	1	
3	2	0	1	
4	2	0	1	
5	0	2	1	
6	2	0	1	
7	2	0	1	
8	2	1	0	
9	3	0	0	
10	2	1	0	
11	3	0	0	
12	2	0	1	
13	0	1	2	“Parcialmente” (Kilian).
14	1	0	2	“Idem 1” (Kilian).
15	2	0	1	
16	1	0	2	“As perguntas poderiam ser mais detalhadas” (Kilian).

Tabela 9: transcrições das justificativas do grupo 2- segunda parte.

Questão	Transcrições
17	“Mapa conceitual, pois dá uma visão geral do conteúdo e as atividades experimentais, pois fornece demonstrações práticas dos conceitos estudados” (Vivian, <i>nome fictício</i>).
18	“Exercícios em grupo, deveria ser estipulado um tempo menor. Não teve muito rendimento” (Vivian). “As atividades envolvendo mapas conceituais foram interessantes, mas achei que foram repetitivas” (Ana).
19	“Mapa conceitual, pois permitiram uma compreensão específica do assunto estudado. Acho que a estrutura de tópicos auxilia no aprendizado” (Vivian). “Os questionários” (Ana). “Citar os conceitos envolvidos nos processos de cada tópico” (Kilian).
20	“Apresentei dificuldade para compreender os detectores de radiação ¹² ” (Ana).
21	“A estratégia é boa, pois os alunos fazem determinada atividade e apresentam os resultados, porém toma muito tempo de aula, por isso acho que as apresentações deveriam ser feitas na aula seguinte.” (Vivian). 1“Acho que o conteúdo abrangido é muito extenso, de maneira que são muitos conceitos e informações novas. Acredito que deveria ter mais tempo para trabalhar cada conteúdo” (Ana). “Idem 1. As discussões foram mais proveitosas que a leitura do material” (Kilian).
22	“Acho que as figuras estão fora do conteúdo (deveriam estar junto com o texto), a ordem seguida também deveria ser reformulada” (Vivian). “O material escrito poderia ser mais detalhado” (Kilian).
23	Nenhum aluno respondeu esta questão.

Para buscar indícios de se a Física aplicada à Medicina facilita a compreensão de conceitos de Óptica, Eletromagnetismo, Física Moderna e Contemporânea, foram utilizadas as respostas dos alunos feitas às questões: 1, 2, 3, 4, 5, 13, 20 e 22 do APÊNDICE G- Análise das aulas e transcritas nas Tabela 8 e Tabela 9.

As seguintes conclusões foram obtidas a partir das respostas dos alunos:

- os alunos do curso consideram importante a utilização da Física aplicada à Medicina para dar sentido aos conceitos de Física;

¹² A aluna faltou na aula que foi apresentado sobre os detectores de radiação.

Os alunos escreveram que esta aplicação facilita a compreensão de Óptica, Eletromagnetismo, Física Moderna e Contemporânea. Entretanto, o pesquisador deve:

- antes de solicitar aos alunos que façam um mapa conceitual, mostrar alguns já feitos para facilitar a compreensão dos mesmos;
- pedir a eles que façam mapas conceituais que enfatizem a explicação em detrimento da descrição;
- diferenciar explicação de descrição;
- para facilitar a compreensão dos alunos deve-se dar um papel secundário ao funcionamento dos equipamentos;
- para que os alunos compreendam melhor há a necessidade de detalhar mais o material.

Para buscar indícios de quais abordagem(ns) e estratégia(s) são mais facilitadoras da aprendizagem significativa da Física aplicada à Medicina, foram analisadas as questões: 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21 e 23 do APÊNDICE G- Análise das aulas e transcritas nas Tabela 8 e Tabela 9.

A partir das respostas fornecidas pelos alunos pode-se concluir que:

- deve-se citar mais exemplos e mostrar as imagens, pois elas ajudam na compreensão dos conteúdos;
- continuar fornecendo exercícios, fazer debates e as atividades diferenciadas com os alunos;
- para que os alunos compreendam melhor é necessário detalhar mais as perguntas;
- continuar utilizando os mapas conceituais e as atividades experimentais, pois os alunos gostaram destas estratégias;
- estipular tempo menor para as atividades feitas em sala de aula;
- continuar com os questionários;
- solicitar que, depois de cada tópico trabalhado, eles coloquem os conceitos que consideram importantes nos conteúdos abordados;
- aumentar o tempo de aplicação do curso;
- continuar intercalando atividades;
- fazer várias atividades de curta duração;
- colocar algumas tarefas extra-classe.

5.1.8 Mudanças necessárias para a próxima etapa

Através da primeira aplicação do curso, em que se tinha como objetivo principal avaliar a proposta para melhorá-la para as próximas aplicações, foi encontrado as seguintes conclusões de mudanças necessárias para as próximas etapas:

- 1) começar e terminar as atividades na mesma aula;
- 2) colocar os seguintes assuntos de Óptica: reflexão, refração e absorção;
- 3) utilizar, ao invés de questões, situações-problema;
- 4) estimular mais, nas atividades experimentais, o uso simultâneo das simulações computacionais;
- 5) fazer mapa conceitual no final de cada aula (reconciliação integradora);
- 6) fazer questões para orientar a utilização das simulações computacionais;
- 7) fazer apresentação para explicar todo o conteúdo antes de fazer as leituras orientadas e os estudos em grupo;

- 8) refazer material explicando mais e descrevendo menos;
- 9) deixar o funcionamento do equipamento como papel secundário;
- 10) refazer pré-teste e reaplicar (diminuir número de questões);
- 11) deixar algumas tarefas para os alunos fazerem depois da aula;
- 12) fazer mapas conceituais evolutivos, para buscar se houve indícios de aprendizagem significativa;
- 13) gravar todas as discussões e apresentações para buscar invariantes operatórios e indícios de aprendizagem significativa;
- 14) toda aula fazer, pelo menos, uma situação-problema;
- 15) reduzir questões no final dos textos;
- 16) fazer mapa conceitual para cada assunto;
- 17) pedir para que junto com o mapa conceitual os alunos coloquem sua explicação ou que o apresentem;
- 18) estipular tempo para as atividades em grupo;
- 19) colocar conceitos fundamentais de cada assunto no material de apoio.

5.2. Aplicação para professores de Física da rede estadual de Ensino de Santa Catarina

5.2.1 Descrição das aulas e diário de bordo

A primeira aplicação foi nos dias 21 e 22 de julho (manhã e tarde), oito horas cada dia, e nos dias 09 e 16 de agosto (tarde), quatro horas. Os alunos foram divididos em dois grupos nos dois últimos dias, pois alguns professores não podiam ir a uma das duas datas. Tal aplicação teve duração de 20 horas.

No primeiro dia o curso começou com 16 alunos, como o sistema não era o *Windows*, mas o *Linux*, alguns computadores tiveram problemas de compatibilidade com o programa *Java*, mas todas as simulações foram mostradas através do projetor multimídia.

Alguns computadores estavam ligados no mesmo CPU, o que impossibilitou alguns alunos abrirem o *Audacity* e gravarem as situações-problema. Situação essa que não pode ser resolvida, pois não havia mais CPU's.

Inicialmente foram entregues a eles o questionário para buscar indícios dos conhecimentos prévios dos alunos e o pré-teste. Tais questionários estão respectivamente nos apêndices E e F.

Em seguida, foi utilizado o organizador prévio. Foi passado um vídeo, o qual mostrava algumas pessoas estourando pipocas com o celular. Tentou-se fazer o mesmo. Para tanto foi posicionado três celulares ao redor das pipocas e ligado simultaneamente para eles, nenhuma pipoca estourou, mostrando que o filme é uma farsa. Depois começou-se a discutir o porquê da impossibilidade de estourar pipocas com a radiação do celular, utilizando isso para facilitar a identificação dos diferentes tipos de ondas, suas características, suas semelhanças e diferenças.

Em seguida, foi feita a seguinte situação-problema: “se você fosse técnico em radiologia e soubesse que:

- o chumbo possui um número atômico (Z) elevado (82).
- o efeito fotoelétrico é o maior responsável pela absorção da radiação e é proporcional a Z^3 .

Explique para um paciente, com base nas afirmações acima, por que utiliza-se placas de chumbo para se proteger dos Raios-X?

Seguiu-se, posteriormente, o esquematizado no APÊNDICE N- CD com material exposto *em aula* e no APÊNDICE M - Material de apoio para a primeira parte do curso.

No início da aula os alunos não conseguiram responder nada sobre a situação-problema, então foram coletados as respostas deles apenas no final da aula.

Os conteúdos mais básicos como reflexão, refração e eco, foram passados de maneira mais rápida, tendo em vista que os alunos tinham conhecimentos prévios sobre o assunto.

Iniciou-se a explicação, não aprofundada, do aparelho de Ultrassonografia, para fornecer uma visão geral do aparelho e dos conceitos físicos envolvidos. Depois retornou-se ao aparelho para fazer a explicação mais aprofundada.

Houve dúvidas entre as equações $v=\lambda f$ e $E=hf$, quanto à relação entre energia, comprimento de onda e frequência. Tal assunto foi retomado e chegou-se as equações a partir da análise da produção de ondas em uma corda.

Ensinou-se os alunos a fazerem um diagrama V a partir de um gráfico pronto. Posteriormente, os alunos foram divididos em dois grupos. Cada grupo estudava uma atividade experimental e a partir dela deveriam fazer um diagrama V e apresentá-lo aos demais. Nas atividades experimentais os alunos sugeriram fazer as atividades nos grupos e discutir e fazer os V das atividades no grande grupo para que fosse mais rápido, devido ao pouco tempo disponível. Foi solicitado Deixou-se aos alunos para eles terminarem o V em casa e entregarem no outro encontro.

No dia 22 de julho começou o curso com 15 alunos. Os alunos entregaram o diagrama V.

Estipulou-se duas horas para os alunos confeccionarem três mapas conceituais sobre: 1) funcionamento do aparelho da Ultrassonografia; 2) produção de radiação nuclear (alfa, beta e gama) e dos Raios-X (Característico e Bremsstrahlung); 3) a interação da radiação com a matéria (efeito fotoelétrico, efeito Compton e produção e aniquilação de pares). Alguns alunos preferiram fazer sobre os três assuntos no mesmo mapa conceitual.

O restante da manhã foi utilizado para a apresentação e discussões relativas aos mapas conceituais. A análise dos mapas, das apresentações e das discussões, que foram gravadas, pode-se ver na sessão 5.2.4 Análise dos mapas conceituais.

Não foi terminado as apresentações dos mapas conceituais pela manhã. Como foi considerado importante as apresentações, devido à exposição das ideias pelos alunos que estavam trazendo a tona confusões, erros, fornecendo a pesquisadora a oportunidade de intervir nos pontos onde os alunos estavam mostrando mais dificuldades, a atividade continuou à tarde.

Posteriormente, iniciou a segunda parte do curso (ver APÊNDICE N- CD com material exposto *em aula* e APÊNDICE M - Material de apoio) com um organizador prévio. Foi utilizado um pequeno filme de apenas um minuto (<http://www.youtube.com/watch?v=isXe78uZbVQ>), que traz imagens de um homem desde a infância até metade de sua vida. Depois os alunos foram indagados sobre o significado usual para a expressão meia vida. Qual foi a meia vida de vocês até o momento?

Após essa atividade eles buscaram no dicionário o significado de “meia” e “vida” e a pesquisadora então pode começar a explicar o sentido de meia vida para a Física.

Em seguida, foi feito aos alunos, apenas para instigar o debate inicial, a seguinte situação-problema: suponham que vocês possuem o seguinte problema: precisam destruir células cancerígenas de um paciente, estão em um hospital equipado para tanto. a) Qual tipo de radiação devem utilizar? Por quê? Justifique através de explicações Físicas. b) Quais procedimentos de segurança vocês iriam fazer?

Em seguida começou-se a fazer uma aula expositiva dos assuntos da segunda parte do curso (ver APÊNDICE N- CD com material exposto *em aula* e APÊNDICE M - Material de apoio). Nessa parte houve muita interação da turma, especialmente devido a preocupação com a segurança relacionada aos exames de Raios-X, pois frequentemente não é utilizado equipamentos de proteção para os pacientes.

Foi explicado apenas sobre a mamografia, o equipamento de Raios-X convencional e a formação das imagens radiográficas. Os demais temas: unidades de medida das radiações, exposição natural e acidentes nucleares, não foram trabalhados devido às limitações de tempo.

Em seguida, foi solicitado para os alunos debaterem em duplas a situação-problema citada anteriormente e gravarem no programa *Audacity*.

No final foi recolhida a autorização dos alunos para usar os dados coletados. Foi combinado com um dos alunos que se propôs a aplicar uma parte do curso em uma oficina, que a pesquisadora iria assistir tal aplicação.

No total, nas aulas dos dias 9 e 16, haviam dez alunos. Iniciou-se a aula com um organizador prévio onde foi utilizada uma parte pequena do filme do “Super Homem”, na qual ele fica próximo a criptonita e simultaneamente começa a passar muito mal. Depois os alunos foram indagados sobre o porquê de poder ser utilizado meios de contraste em exames radiológicos e se realmente poderia existir um material radioativo que em proximidade ao nosso corpo reagisse de forma análoga ao que ocorre com o “Super-Homem”.

A relação que se pretendeu fazer, foi mostrar por que é possível utilizar meios de contraste no corpo humano e as impossibilidades de alguma fonte radioativa terem os mesmos efeitos que a criptonita tem sobre o Super-Homem.

Depois foi feito a seguinte situação-problema: imagine que você seja um técnico em radiologia, você precisa distinguir dois tecidos internos que possuem densidades muito semelhantes, como você faria? Pense a sua resposta em termos de contraste.

Em seguida passou-se para uma parte expositiva-dialogada sobre os seguintes temas: 1) Fluoroscopia analógica e digital e 2) Radioterapia: Braquiterapia e Teleterapia.

Na sequência foi dividida a sala em quatro grupos que deveriam estudar, fazer um mapa conceitual e apresentar sobre um dos tópicos a seguir: 1) o equipamento de Raios-X convencional e a mamografia; 2) fluoroscopia analógica e digital; 3) formação de imagens analógicas; 4) radioterapia: braquiterapia e teleterapia.

Utilizou-se, aproximadamente, uma hora e meia para os alunos acabarem de fazer o mapa conceitual e depois começarem as apresentações. Durante as apresentações foram fornecidas, tanto pela pesquisadora como pelos alunos do curso, contribuições para a melhoria dos mapas conceituais. Foram discutidos os conceitos envolvidos, de modo a melhorar o conhecimento dos alunos tanto em extensão quanto em profundidade. Os alunos, a partir dessas discussões e sugestões feitas, tinham como objetivo refazer o mapa conceitual e reentregá-lo, muitos não reenviaram os mapas conceituais corrigidos.

Como essa atividade proporcionou várias discussões e aprofundamento dos conteúdos abordados. Optou-se por deixar mais tempo para ela o que impossibilitou a gravação da situação-problema proposta no início da aula.

Por último, foi solicitado aos alunos que respondessem e entregassem o pós-teste e o questionário para análise do curso.

5.2.2. *Análise conhecimentos prévios*

O questionário aplicado nesta turma e na sequência analisado, encontra-se no APÊNDICE E - Questionário conhecimentos prévios aplicado nos cursos. Houve 16 respondentes.

A primeira questão referia-se as características do ultrassom. Nesta seis alunos acertaram, três responderam que não sabiam e sete responderam incorretamente. Todos que responderam incorretamente afirmaram que as ondas ultrassônicas são ondas com frequência abaixo das audíveis pelos seres humanos, nenhum assinalou que a onda ultrassônica é uma radiação ionizante, nem que é prejudicial aos seres humanos.

Na segunda questão quatro alunos responderam de maneira correta que o aparelho de Ultrassonografia transforma a energia mecânica (ultrassom) em corrente elétrica. Um respondeu incorretamente que o aparelho de ultrassom possui uma sonda composta por cristais que apresentam somente efeito piezoelétrico e os demais responderam que não sabiam.

A terceira questão referia-se a produção de radiação característica. Nesta questão seis alunos responderam que não sabiam a resposta. Sete responderam corretamente discordando que quando elétrons são retirados da eletrosfera do átomo (por exemplo, por uma captura eletrônica), a vacância originada é imediatamente preenchida por um elétron de orbitais inferiores. Três concordaram com essa afirmação incorretamente.

A quarta questão referia-se a radiação de freamento. Os mesmos alunos que erraram, acertaram ou não souberam a questão três tiveram o mesmo aproveitamento nessa questão. Esta afirmava, corretamente, que um elétron (negativo), ao passar nas proximidades de um núcleo (positivo), experimenta uma força de atração elétrica e era desviado de sua direção original. Ao variar de direção a energia cinética do elétron é transformada em energia ondulatória. O processo descrito é chamado de emissão de radiação por freamento.

Na quinta questão nove alunos acertaram, seis não souberam e uma discordou, incorretamente, que o efeito fotoelétrico possui várias aplicações, como, por exemplo, levar as informações que nossos olhos captam até o cérebro, mais especificamente ao córtex visual. O efeito fotoelétrico é a capacidade da luz de, ao incidir sobre um material, arrancar elétrons. As ondas eletromagnéticas são compostas por fótons (pacotes de energia) que, ao incidirem sobre um elétron, podem dar a ele energia suficiente para se desprender do átomo (efeito fotoelétrico).

Na sexta questão dois discordaram, corretamente, onze não souberam responder e três concordaram que no efeito Compton, diferentemente do efeito fotoelétrico, o elétron não possui energia suficiente para se desprender do átomo, ele apenas absorve toda ou parte da energia do fóton. Quando o elétron absorve toda a energia do fóton, ele muda para uma camada mais externa. Ao retornar, o elétron emite a radiação absorvida. Quando absorve apenas parte da radiação, há duas ondas: uma decorrente da mudança de camada e outra devido ao desvio da radiação incidente, ocasionada pela incidência do fóton no elétron, conforme previsto pela conservação do momento angular.

Na sétima questão nenhuma pessoa acertou, quinze não souberam responder e uma pessoa discordou, incorretamente, que os processos de aniquilação e produção de pares surgiram da necessidade de se explicar os resultados da equação de Dirac, que tem como soluções uma energia negativa e uma energia positiva. Dirac assumiu que os níveis de energia negativa estavam todos ocupados, de modo que os elétrons de energia positiva não poderiam cair em um “buraco” da energia negativa. Esse “buraco” de energia negativa é interpretado

como uma antipartícula (antimatéria), por exemplo, um pósitron. O processo inverso pode ocorrer, se um elétron de energia positiva cair em um “buraco”; nesse caso seria emitido um fóton e o elétron seria aniquilado pelo “buraco”.

Na oitava questão houve vários acertos (12), três não souberam responder e uma discordou, incorretamente, de que se houver duas bobinas, elas vão funcionar a partir do seguinte processo: corrente elétrica alternada na primeira bobina gera um campo magnético variado entre a primeira e a segunda bobina, que, por sua vez, produz nesta uma corrente elétrica alternada.

Na nona questão treze alunos responderam corretamente que o Raios-X é um tipo de radiação eletromagnética ionizante, dois alunos não souberam responder. Um aluno respondeu, incorretamente, que a espessura do chumbo necessária para bloquear os Raios-X não dependerá da energia dos Raios-X. Nenhum respondente afirmou que os Raios-X são produzidos quando elétrons de baixa energia são subitamente desacelerados e que os Raios-X necessitam de um meio material para se propagar, ou seja, não se propagam no vácuo.

Na décima questão nove alunos não souberam responder, uma respondeu incorretamente (concordou). Seis alunos discordaram que no intensificador, a imagem é produzida de acordo com a seguinte sequência: fótons de luz são transformados em fótons de Raios-X, que geram corrente elétrica e esta gera imagem.

Na décima segunda questão dez alunos afirmaram não saber, quatro responderam corretamente. Dois discordaram que quando se aumenta o valor do kVp (diferença de voltagem entre o cátodo e o ânodo no equipamento de Raios-X), aumenta-se também a energia dos Raios-X e, conseqüentemente, a capacidade de penetração da radiação no paciente, afetando com isso o contraste da imagem. Para valores baixos de kVp, os fótons não possuem energia suficiente para atravessar o paciente, sendo absorvidas, o que fornece uma maior dose de radiação. Portanto, mantido o mesmo valor para a corrente elétrica (medida em miliampères), quanto menor o valor de kVp, mais clara será a imagem em exames de Raios-X convencionais.

Na décima terceira questão nove alunos afirmaram que não sabiam, cinco responderam corretamente. Duas discordaram que os Raios-X chegam inicialmente ao écran, uma película que, em contato com os Raios-X, produz luz que impressiona o filme onde a imagem é produzida. O filme é protegido pelo chassi radiográfico, que impede que aquele seja sensibilizado por outras radiações.

Na décima quarta questão oito alunos responderam que não sabiam, seis responderam corretamente. Dois concordaram que se o tecido orgânico tiver maior densidade, a imagem será mais escura em exames de Raios-X convencional e, portanto, terá maior densidade radiográfica. Os fótons que são atenuados ou espalhados atingirão o écran com maior intensidade em função da espessura do paciente e da densidade do tecido, produzindo assim uma imagem com diferentes níveis de cinza.

Na décima quinta questão nenhuma pessoa errou e oito não sabiam. Oito concordaram que o contraste é definido pela diferença entre a densidade Óptica dos objetos. Os componentes que podem ser radiografados são músculos, fluidos, tecido adiposo, gases e ossos, sendo que os três primeiros possuem densidades similares e, por isso, possuem pouco contraste na imagem radiográfica.

Na décima sexta questão nove alunos não souberam responder, seis responderam corretamente e uma discordou que a radioterapia é um método de tratamento que consiste na destruição de células cancerígenas.

Na décima sétima questão seis alunos não souberam responder e sete responderam corretamente. Três discordaram que os aceleradores são túneis circulares que servem para

acelerar partículas até que elas atinjam energias muito elevadas e possam emitir, além de Raios-X, feixes de elétrons e nêutrons com várias energias. Os aceleradores não possuem material radioativo no seu interior.

Na décima oitava questão doze alunos não souberam responder e um respondeu incorretamente. Um aluno afirmou que os detectores a gás são constituídos de um tubo cheio de gás, onde existe um eletrodo ao longo do eixo central. Se for criada uma diferença de potencial entre o eletrodo central e a parede, de maneira que o eletrodo seja positivo e a parede negativa, então o eletrodo atrairá os elétrons produzidos por ionização dentro do tubo. Os elétrons formarão um sinal elétrico, como um pulso de elétrons ou uma corrente contínua. O sinal elétrico é amplificado e medido. Sua intensidade é proporcional à intensidade da radiação que o causou.

Na décima nona questão doze alunos não souberam responder, duas erraram a questão e duas discordaram que os detectores de cintilação são formados por alguns materiais que emitem luz depois de algumas horas de terem absorvido um fóton de Raios-X. A quantidade de luz emitida é inversamente proporcional à quantidade de energia absorvida pelo material.

Na vigésima questão onze alunos não souberam e cinco alunos responderam corretamente que os dosímetros termoluminescentes são constituídos de um material que, ao ser submetido ao calor, libera a energia excedente (gerada, p. ex., pelo contato com radiação). Essa energia emitida é medida e seu valor indica a quantidade de radiação a que o dosímetro foi exposto.

Na vigésima primeira questão quatorze alunos não souberam responder, um respondeu incorretamente. Um respondeu corretamente que no processo de luminescência estimulada opticamente, a irradiação do óxido de alumínio estimula alguns elétrons a um estado excitado. Durante o processo, uma luz laser estimula estes elétrons fazendo com que voltem ao estado original, com a consequente emissão de luz. A intensidade da luz é proporcional à dose de radiação recebida.

Na vigésima segunda questão doze alunos não souberam responder. Quatro responderam corretamente que os detectores de estado sólido são formados por um material à base de fósforo que cintila (emite luz) pela passagem da radiação. A luz incide no núcleo do detector e emite elétrons (efeito fotoelétrico), dando origem a uma corrente elétrica que é proporcional ao fóton (radiação) incidente.

Na vigésima terceira questão doze alunos responderam que não sabiam, uma discordou incorretamente. Uma concordou que no dosímetro de filme, a radiação produz alterações na densidade do filme revelado. Desta forma, pode-se quantificar a exposição da radiação, pois quanto maior for a intensidade da radiação, maior será o enegrecimento da imagem.

Na vigésima quarta questão dez alunos responderam que não sabiam. Seis alunos discordaram, acertadamente, que na TC Helicoidal, ao contrário da TC, as informações são emitidas por radiofrequência.

Na vigésima quinta questão nove alunos responderam que não sabiam, uma concordou. Seis discordaram, acertadamente, que a Ressonância Magnética, também chamada de Ressonância Magnética Nuclear (RMN), é um exame moderno que utiliza radiação ionizante e raios gama, que são produzidos no núcleo, por isso o nome nuclear.

Na vigésima sexta questão, onze alunos responderam que não sabiam. Cinco responderam corretamente que a RMN faz uso de campos magnéticos e radiofrequência. Na ausência de um campo magnético externo, a orientação dos spins nos tecidos é aleatória. Quando o magneto principal aplica um campo magnético, o vetor momento magnético se

alinha com o campo (estado de equilíbrio). Ao se aplicar sobre os spins uma radiofrequência, eles ganham energia e mudam de orientação (estado fora de equilíbrio). Cessando o estímulo, os spins retornaram ao alinhamento original, liberando a energia sob a forma de ondas de radiofrequência, que são captadas pelas antenas receptoras.

Na vigésima sétima questão oito alunos responderam que não sabiam, uma discordou. Sete alunos responderam acertadamente que é o Modelo Padrão, que organiza as partículas elementares e suas interações, desempenha um papel análogo à tabela periódica para os elementos químicos.

Na vigésima oitava questão oito alunos responderam que não sabiam, dois erraram. Seis discordaram, acertadamente, que dois elementos são chamados de isótopos se possuem igual número de elétrons e diferentes números de massa, quer dizer, apresentam diferente número de nêutrons.

Na vigésima nona questão doze alunos responderam que não sabiam e quatro responderam, acertadamente, que a Medicina Nuclear consiste na administração de radiofármaco. Um radiofármaco incorpora dois componentes: um radioisótopo (partícula emissora de radiação beta, alfa e gama) e uma molécula orgânica com fixação preferencial em determinado tecido ou órgão.

Na trigésima questão doze alunos responderam que não sabiam, dois concordaram erroneamente. Dois discordaram que os radioisótopos usados na Medicina Nuclear decaem em questão de dias, horas ou até mesmo minutos, têm níveis de radiação maiores que os Raios-X e que as tomografias computadorizadas são eliminados pela urina ou pelas fezes.

Na trigésima primeira questão treze alunos responderam que não sabiam e três responderam, corretamente, que na PET utiliza-se um radioisótopo emissor de pósitrons. Ao se chocarem, o pósitron e o elétron aniquilam-se, emitindo dois raios gamas.

Na última questão, quatorze alunos responderam que não sabiam e dois discordaram, erroneamente, que na PET há a emissão de dois Raios gama enquanto que na SPECT ocorre à emissão de um único Raio gama.

As questões que possuem mais respostas incorretas são: 1 (sete erros), 3, 4 e 17 com três erros cada. Foram identificados, dessa forma, os principais conhecimentos incorretos, do ponto de vista da ciência, que precisam ser transformados de conhecimento de senso comum para científicos ao longo da implementação do curso:

- as ondas ultrassônicas possuem frequência menor do que as audíveis pelos seres humanos;
- há mais energia de ligação quanto mais longe do núcleo;
- quando o elétron absorve um fóton ele passa para uma camada mais interna do átomo;
- confusão na conservação de energia;
- aceleradores possuem material radioativo em seu interior;
- os aceleradores não atingem altas energias;
- os aceleradores emitem apenas Raios-X e não feixes de elétrons e nêutrons com várias energias.

As questões que mais da metade dos alunos afirmaram desconhecer o assunto são: 2, 6, 7, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31 e 32. Apenas sete questões estão excluídas dessa lista, sendo destas, quatro as que mais apresentaram erros. Dessa forma, deve-se enfatizar mais, durante o curso, os seguintes tópicos:

- as transformações que o aparelho de Ultrassonografia é capaz de fazer, ou seja, que transforma corrente elétrica em ondas de ultrassom e também que transforma ondas de ultrassom em corrente elétrica;

- o processo de aniquilação e produção de pares a partir dos resultados da equação de Dirac;

- como funciona o intensificador de imagens;
- qual é a importância do chassi, do écran e do filme na produção das imagens radiográficas;

- o que é contraste radiográfico;
- a influência da densidade dos tecidos no contraste radiográfico;
- o funcionamento dos detectores de cintilação;
- a quantidade de luz emitida por um detector de cintilação é proporcional à quantidade de energia absorvida pelo material;

- como funciona o dosímetro de filme;
- as relações existentes entre a intensidade de radiação a que o filme é exposto e o seu enegrecimento;

- diferenciar a RMN dos outros exames;
- a formação de imagem na RMN;
- o que é Modelo Padrão e suas semelhanças e diferenças com a Tabela Periódica;
- o que são isótopos;
- como se calcula a massa dos elementos químicos;
- o que são radioisótopos;
- o que é radiação;
- enfatizar as diferenças e semelhanças entre o efeito Compton e o efeito fotoelétrico;
- o que é efeito Compton, os parâmetros que devem ser seguidos para que ele ocorra, quais são as consequências na imagem radiográfica e nos malefícios da radiação no corpo humano;

- o que é efeito fotoelétrico, os parâmetros que devem ser seguidos para que ele ocorra, quais são as consequências na imagem radiográfica e nos malefícios da radiação no corpo humano;

- funcionamento da fluoroscopia;
- diferenciar a fluoroscopia da radiografia convencional;
- relacionar a voltagem no equipamento de Raios-X com a energia destes;
- relacionar a energia dos Raios-X com as características das imagens produzidas no filme;

- relacionar a densidade do tecido orgânico com as características da imagem produzida no filme;

- o que é radioterapia e como ela é dividida;
- as diferenças e semelhanças entre teleterapia e braquiterapia;
- quais são as radiações usadas na radioterapia e como elas matam as células cancerígenas;

- o funcionamento de um detector a gás, relacionando-o com o efeito fotoelétrico;
- relacionar a corrente elétrica com a radiação incidente;
- explicar o funcionamento de um dosímetro termoluminescente;
- relacionar a radiação a que o dosímetro termoluminescente foi exposto com radiação que ele emite quando aumenta-se a temperatura do material;

- o processo de luminescência estimulada opticamente;
 - relacionar a intensidade de luz emitida pelos detectores luminescentes com a dose de radiação recebida por eles;
 - o funcionamento dos detectores de estado sólido, relacionando com o efeito fotoelétrico;
 - o nível energético das camadas eletrônicas;
 - diferenciar tomografia computadorizada da tomografia computadorizada helicoidal;
 - funcionamento dos anéis deslizantes;
 - explicar o porquê de na tomografia computadorizada helicoidal os detectores e emissores fazerem uma volta de 360° em torno do paciente, enquanto que nas outras tomografias apenas fazem uma volta de 180°;
 - o funcionamento da RMN;
 - como é formado um radiofármaco;
 - o que é radioisótopo e molécula orgânica;
 - a função do radioisótopo e da molécula orgânica na PET e na SPECT;
 - o funcionamento da PET e da SPECT;
 - diferenciar a radiação utilizada na Medicina Nuclear dos demais exames que utilizam radiação ionizante;
 - a aniquilação de pares mostrando a sua aplicação na PET;
 - desconhecimento da força elétrica entre prótons e elétrons.
- A maioria dos alunos soube responder corretamente as questões: 5, 8 e 9. Portanto, durante o curso, pode-se ensinar a partir dos seguintes subsunçores:
- compreendem como ocorre o efeito fotoelétrico;
 - compreendem o funcionamento de um transformador;
 - sabem que os Raios-X são uma forma de radiação ionizante.

5.2.3 Análise V de Gowin

Foram entregues aos alunos duas atividades experimentais, por esse motivo a turma dividiu-se em dois grupos, de sete alunos cada. Cada grupo fez um V para a atividade experimental que recebeu. Junto com a atividade experimental havia simulações e questões para direcionar o andamento do trabalho e facilitar a compreensão.

Para analisar os diagramas V entregues pelos alunos, foi procurado na literatura, em teses e dissertações, formas de avaliá-los para buscar indícios de aprendizagem significativa. Cappelletto (2009, p.120) propôs, em sua pesquisa, avaliar o V adotando a sistemática de 20 pontos proposta por Gurley (1992 apud Cappelletto, 2009, p.126), colocada no ANEXO A - Critérios para avaliar os V construídos pelos estudantes. Foi utilizada tal sistemática para analisar os V que foram entregues pelos alunos.

O diagrama V nº 1, mostrado na Figura 11 refere-se à análise do funcionamento da atividade experimental referente ao bloqueio de ondas de celular. Este V está muito incompleto, tendo em vista que os alunos não colocaram a questão básica, as transformações, os registros, os dados, o evento e a filosofia. Não separaram princípios de teorias. A asserção de valor está bem fundamentada. Os alunos colocaram vários exemplos práticos. Nas asserções de conhecimento apenas citaram alguns conteúdos. Como não colocaram uma

questão base não a responderam. Tais deficiências no diagrama podem ter ocorrido, devido ao primeiro contato dos alunos com o instrumento.

Utilizando os critérios do ANEXO A - Critérios para avaliar os V construídos pelos estudantes, quantifica-se: teorias, princípios e conceitos (1); evento (0); registros, dados e transformações (0); asserções de conhecimento (2); asserções de valor (1); questão básica (0); nova questão foco (0). Total: 4 pontos.

O segundo grupo fez o V nº 2, mostrado na Figura 12. Este diagrama está mais completo e refere-se a como ocorre a percepção das cores.

Como pode-se observar na Figura 12, os conceitos condizem com os princípios que por sua vez condizem com as teorias. O evento e a questão básica relacionam-se mutuamente além de se referirem corretamente a atividade experimental. Nos registros anotaram o que deveriam observar. Nos dados fizeram uma tabela condizente com a atividade experimental, embora não a tenham preenchido. Nas transformações eles nada colocaram. As asserções de conhecimento respondem a questão básica e colocaram uma asserção de valor.

Utilizando os critérios do ANEXO A - Critérios para avaliar os V construídos pelos estudantes, quantifica-se: teorias, princípios e conceitos (4); evento (2); registros, dados e transformações (2); asserções de conhecimento (3); asserções de valor (1); questão básica (3); nova questão foco (0). Total: 15 pontos.

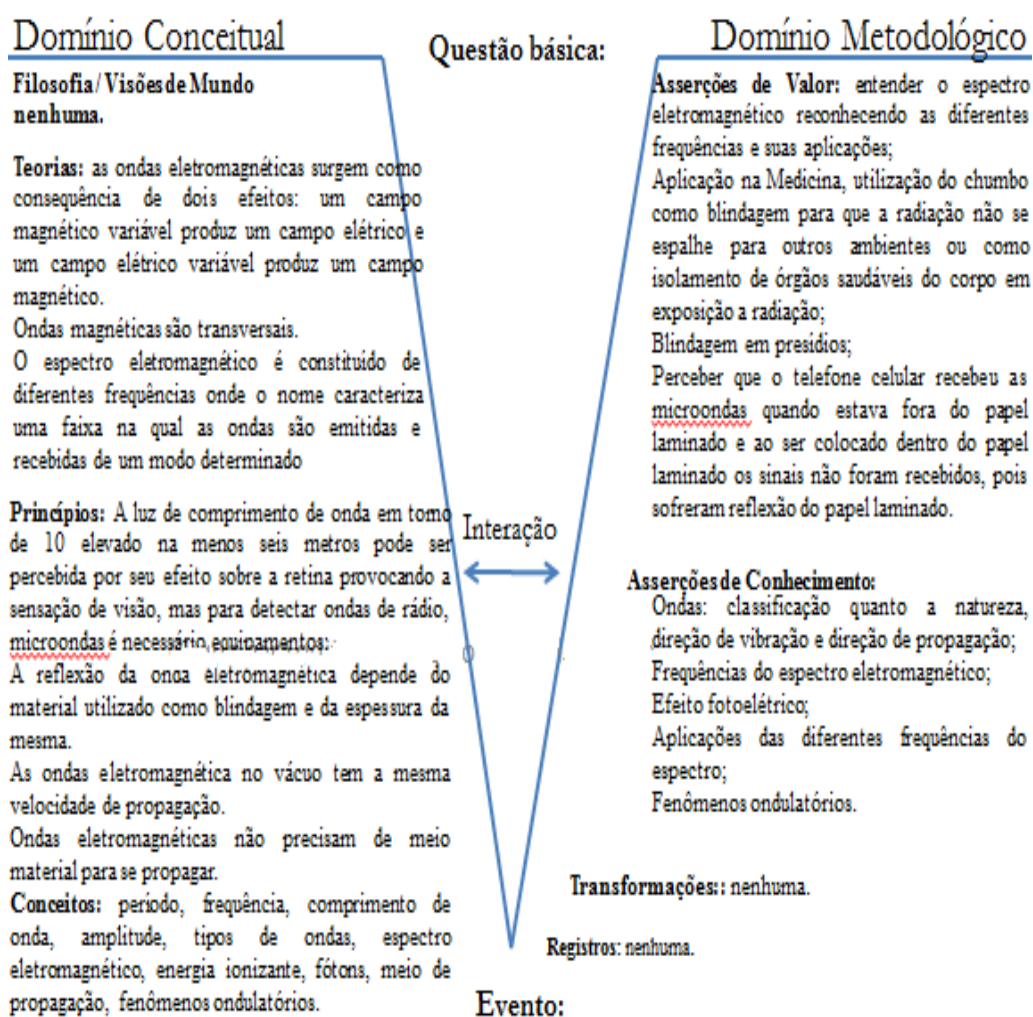


Figura 11: V número 1- segunda aplicação.

Identificou-se várias diferenças entre as análises dos diagramas V. Entretanto, estas diferenças podem ser devidas as diferenças de experimentos feitos entre os grupos.

A partir da análise dos dois V dos alunos, pode-se obter como conclusão para a quarta aplicação do curso (pois a segunda e terceira aplicação foram feitas simultaneamente):

- utilizar mais atividades experimentais, de preferência uma por dupla (por falta de tempo não foi possível implementar, na última etapa, esse item);
- solicitar aos alunos que façam todas as atividades experimentais, para ser possível comparar os diagramas (por falta de tempo não foi possível implementar esse item nas quatro aplicações do curso);
- explicar aos alunos o que são conceitos;
- enfatizar a importância de ser colocada uma nova questão, já que nenhum dos grupos a colocou;
- finalizar as atividades na sala de aula;
- solicitar aos alunos, no encontro anterior, para trazerem livros e materiais sobre o assunto, para fomentar a pesquisa entre os alunos e para ajudar a tornar o V mais rico, ou seja, com mais informações;
- explicar aos alunos quais são os critérios de avaliação do V;
- dar oportunidade para os alunos, assim como nos mapas conceituais, refazerem o V.

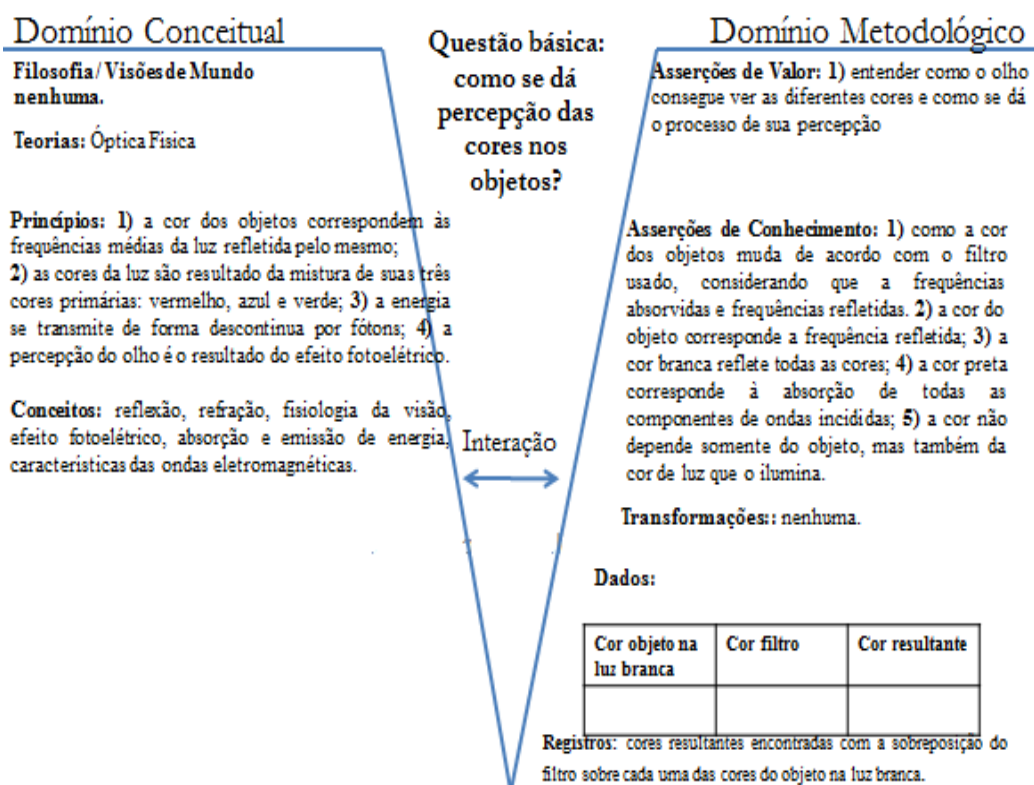


Figura 12: V número 2- segunda aplicação.

5.2.4 Análise dos mapas conceituais

Foram analisados os mapas conceituais, considerando três categorias: 1) se os conceitos principais estão destacados, ou seja, se há uma hierarquia; 2) quantidade de conceitos considerados relevantes pela pesquisadora que estão presentes no mapa conceitual; 3) ligações entre os conceitos, conforme proposto por Dutra (2004, p. 5), vista na seção 5.1.3.2. Foram utilizadas tais categorias, pois não houve a construção de mapas anteriores pelos alunos, para que fosse feita uma avaliação entre mapas, como proposto por Araújo (2003, p. 2).

Foram desenvolvidos, pelos alunos, 16 mapas conceituais, conforme pode-se observar na Tabela 10.

Tabela 10: análise mapas conceituais aplicação 2- Hierarquia.

Assunto do mapa	Quantidade de mapas	Há hierarquia	Não há hierarquia
Ultrassonografia	3	1	2
Ultrassonografia, produção e interação da radiação com a matéria	3	2	1
Fluoroscopia.	2	2	0
Todos os assuntos	2	1	1
Radioterapia	2	2	0
Formação imagem	1	1	0
Equipamento de Raios-X	1	1	0
Mamografia	1	1	0
Produção de Raios-X	1	1	0
Total	16	12	4

Observando a Tabela 10 percebe-se que há mais mapas conceituais que possuem hierarquia do que os que não possuem, fornecendo indícios de aprendizagem significativa em 12 dos 16 casos.

Tabela 11: análise dos mapas conceituais da aplicação 2- quantidade de conceitos apresentados pelos alunos.

Assunto do mapa conceitual	Conceitos considerados relevantes pela pesquisadora	Alunos (nomes fictícios)	Conceitos relevantes utilizados pelos alunos	Quantidade de conceitos relevantes utilizados pelos alunos
Ultrassonografia	Ondas longitudinais, ondas de ultrassom, ondas eletromagnéticas, ondas mecânicas, energia, frequência, comprimento de onda, corrente elétrica, campo magnético, campo elétrico, elétron, próton (número atômico), absorção, camadas eletrônicas, molécula, polarização, campo magnético variado, eletrosfera, densidade, impedância acústica, velocidade, pressão, força, área, reflexão, refração, fóton e ondas. Conceitos relevantes: 28.	Saionara e Elisa	Corrente elétrica, campo magnético, ondas mecânicas, ondas de ultrassom, ondas longitudinais, densidade e frequência.	7
		Margarida e Fabio	Ondas longitudinais, ondas eletromagnéticas, velocidade, frequência, ondas de ultrassom, corrente elétrica,	8

			onda mecânica e densidade.	
		Cristian	Ondas, ondas eletromagnéticas, ondas mecânicas e pressão.	4
Ultrassonografia, produção e interação da radiação com a matéria	Ultrassonografia: Ondas longitudinais, ondas de ultrassom, ondas eletromagnéticas, ondas mecânicas, energia, frequência, comprimento de onda, corrente elétrica, campo magnético, campo elétrico, elétron, próton (número atômico), absorção, camadas eletrônicas, molécula, polarização, campo magnético variado, eletrosfera, densidade, impedância acústica, velocidade, pressão, força, área, reflexão, refração, fóton e ondas. Conceitos: 28. Produção de radiação: Ondas eletromagnéticas, energia, onda, frequência, comprimento, elétron, próton (número atômico), nêutron, ionização, atração, repulsão, força nuclear forte, fraca e elétrica, pósitron, matéria, antimatéria, radiação, absorção, fóton, radioatividade, camadas eletrônicas, momento, massa, velocidade, núcleo, eletrosfera, partícula, corrente elétrica, voltagem, aniquilação de pares, Raios-X, radiação alfa, beta e gama. Conceitos: 23. Interação da radiação com a matéria: ondas eletromagnéticas, energia, frequência, comprimento, elétron, próton (número atômico), ionização, pósitron, matéria e antimatéria, radiação, absorção, espalhamento, emissão de radiação, corrente elétrica, voltagem, fóton, camadas eletrônicas, momento, massa, velocidade, eletrosfera, densidade, trabalho, energia cinética, aniquilação e produção de pares, efeito fotoelétrico e Compton. Conceitos: 7. Total de conceitos: 58.	Alceu	Ondas eletromagnéticas, ondas, ondas mecânicas, frequência, velocidade, alfa, beta, gama, Raios-X, radiação, partícula, próton, nêutron, pósitron, elétron, energia, núcleo, produção e aniquilação de pares, efeito fotoelétrico e Compton, fóton e espalhamento.	23
		Marcos	Efeito fotoelétrico, Compton, radiação alfa, beta e gama, ondas mecânicas, ondas eletromagnéticas e energia.	8
		Silvio	Ondas, reflexão, absorção, refração, velocidade, comprimento, frequência, ondas mecânicas, ondas eletromagnéticas, Raios-X, radiação, efeito fotoelétrico, Compton e produção e aniquilação de pares, alfa, beta gama e ondas longitudinais.	19
Produção de radiação	Ondas eletromagnéticas, energia, onda, frequência, comprimento, elétron, próton (número atômico), nêutron, ionização, atração, repulsão, força nuclear forte, fraca e elétrica, pósitron, matéria, antimatéria, radiação, absorção, fóton, radioatividade, camadas eletrônicas, momento, massa, velocidade, núcleo, eletrosfera, partícula, corrente elétrica, voltagem, aniquilação de pares, Raios-X, radiação alfa, beta e gama. Conceitos relevantes: 34.	Saionara e Elisa	Raios-X, elétron, radiação, número atômico, energia e fóton.	6
Fluoroscopia	Corrente elétrica, resistência elétrica, carga, voltagem, potência, gerador, retificador, meios de contraste, sinal analógico, sinal digital, densidade, número atômico, voltagem, absorção,	Hérica	Fóton, Raios-X, corrente elétrica, densidade, elétrons, voltagem, densidade e	8

	emissão, nêutrons, Raios-X, camada eletrônica, onda eletromagnética, decaimento radioativo, campo magnético, chumbo, filtro, colimador e fóton. Conceitos relevantes: 25.	Alceu e Francisco.	absorção. Raios-X, densidade, radiação, absorção, elétrons, corrente elétrica, voltagem e camada eletrônica.	8
Todos os assuntos	Todos os conceitos escritos na tabela.	Sérgio	Reflexão, refração, ondas longitudinais, campo magnético, radiação, núcleo, alfa, beta, gama, efeito fotoelétrico, efeito Compton, produção de pares, camada eletrônica e Raios-X.	14
		Francisco	Ondas eletromagnéticas, alfa, beta e gama, Raios-X, efeito fotoelétrico, efeito Compton e camada eletrônica.	8
Radioterapia	Corrente elétrica, resistência elétrica, voltagem, absorção, emissão, elétron, pósitron, nêutrons, Raios-X, Raios gama, alfa, beta, onda eletromagnética, decaimento radioativo, campo magnético, chumbo, colimador, atividade radioativa, meia vida, emissão nuclear, tempo, dose, isótopo, radiação e próton. Conceitos relevantes: 25.	Alceu e Francisco.	Raios-X, raios gama, elétron, pósitron, próton, nêutron e beta.	7
		Marcos	Isótopo, dose, tempo, radiação, Raios-X, radiação gama, elétrons, nêutrons, pósitron, voltagem e chumbo.	11
Formação imagem	Corrente elétrica, carga, voltagem, cátodo, ânodo, elétron, próton (número atômico), velocidade, gerador, onda eletromagnética, filamento, energia, dose, tempo, Raios-X, fótons, efeito fotoelétrico, efeito Compton e produção de pares, densidade, absorção, chassi, chumbo, écran, camada eletrônica, luz, filme, radiação, claro e escuro. Conceitos relevantes: 30.	Sérgio.	Voltagem, energia, corrente elétrica, Raios-X, absorção, ânodo, elétrons, dose, fótons, tempo, radiação, écran, filme, chassi e densidade.	15
Equipamento de Raios-X	Cátodo, anodo, energia, voltagem, corrente elétrica, frenagem, número atômico, força elétrica, elétron, diodo, retificador, onda, onda eletromagnética, ponto de fusão, velocidade, fótons, absorção, frequência, comprimento de onda, conservação de energia, transformação de energia, Raios-X, chumbo, radiação, energia, número atômico (próton) e densidade. Conceitos relevantes: 27.	Margarida, Lurdes e Fabio.	Raios-X, chumbo, fóton, radiação, densidade e absorção.	6

Mamografia	Cátodo, anodo, energia, voltagem, corrente elétrica, elétron, diodo, retificador, onda, onda eletromagnética, voltagem, ponto de fusão, velocidade, camada eletrônica, fótons, absorção, frequência, comprimento de onda, conservação de energia, transformação de energia, energia, número atômico (próton), densidade, radiação e Raios-X. Conceitos relevantes: 25.	Margarida, Lurdes e Fabio.	Raios-X, energia, radiação, densidade e número atômico.	5
-------------------	--	----------------------------	---	----------

Conforme pode-se observar na Tabela 11, apenas um grupo conseguiu colocar metade dos conceitos que foram considerados relevantes. Os demais colocaram menos da metade destes, fornecendo indícios que os alunos aprenderam significativamente apenas alguns conceitos abordados.

Quatro mapas conceituais possuíam explicações dos mesmos. Na sequência foi colocado as suas transcrições e respectivas análises.

As alunas Saionara e Elisa (*nomes fictícios*) colocaram no mapa conceitual referente a Ultrassonografia que: “Diante do exposto pode-se concluir que o ultrassom é menos prejudicial a saúde do que os Raios-X, pois utiliza ondas de ultrassom. Nos Raios-X de freamento utiliza-se o tungstênio. Sendo que os elétrons são atraídos pelo núcleo e ao mesmo tempo freados, emitindo assim ondas de Raios-X com alta energia. Isto se dá a diversas densidades. No Raios-X característicos utiliza-se o molibdênio, sendo que os elétrons são atraídos pelo núcleo, liberando picos de ondas desuniformes, mais utilizados na mamografia”

As alunas colocaram corretamente que as ondas de Raios-X são mais prejudiciais a saúde do que as ondas de ultrassom, mas não explicaram tal afirmação. Não deixaram claro o que quiseram dizer com “liberando picos de ondas desuniformes.” A pesquisadora compreendeu como ondas com energias diferentes, mas isso não ficou explícito na afirmação do grupo.

No mapa conceitual do aluno Marcos (*nome fictício*) há um amplo relato sobre a Ultrassonografia:

“Em nosso universo existem vários tipos de onda: ondas transversais, longitudinais e as sonoras que se classificam como sendo ondas mecânicas que necessitam de um meio para se propagar; e as ondas eletromagnéticas que são aquelas que não necessitam de um meio para se propagar. Dentro de nosso espectro eletromagnético existem vários comprimentos e frequências de ondas diferentes, e por sua vez essas são muito utilizadas em diversas aplicações no nosso dia-dia, algumas dessas aplicações começam no simples trocar de canal da televisão (infravermelho) até uma destruição de células cancerígenas.

Por sua vez a aplicação na Medicina ganhou muito nos últimos anos, com a descoberta das partículas elementares mais precisamente o Modelo Padrão, observou-se que uma partícula depende de outra para existir e depende ainda de forças para se manterem estáveis dentro de um núcleo de um átomo. Então fica a pergunta: se duas partículas de cargas contrárias se atraem e duas cargas opostas se repelem por uma força de intensidade muito grande (força elétrica) como pode existir em um núcleo com dois prótons com cargas iguais? A resposta veio de um Físico chamado Chediwck, que descobriu o nêutron, outra partícula que necessita de mais três partículas para existir dois up, e um down. Pode-se perceber que tudo está ligado em um núcleo estável graças a está força chamada também força forte, que é uma das quatro forças fundamentais da natureza.

Uma das aplicações é na Ultrassonografia, que funciona basicamente por ondas (sonoras), captadas por um material chamado piezoelétrico. Então existe tipos de materiais que captam essas mensagens por som, eco (efeito Doppler), daí podem ser coletados dados e feito a Ultrassonografia.

Outra aplicação são os Raios-X, que também está inserido no espectro eletromagnético e possui um comprimento de onda baixo, mas uma frequência muito alta. Isso facilita os exames, pois tem um capacidade de penetração muito alto, sendo bloqueado apenas pelo elemento químico que possui um elevado número atômico que é o chumbo com 82, isso acontece porque o chumbo tendo um número atômico elevado vai possuir mais camadas eletrônicas, conseqüentemente possui mais elétrons livres na eletrosfera, isso proporciona uma dificuldade maior para a radiação ultrapassar essa barreira, pois vai haver mais choques entre essa radiação e os elétrons da eletrosfera. Mas o que vai haver depois desse choque? Vai haver muita emissão de elétrons, conseqüentemente muita emissão de fótons (pacotinhos de energia).

Pode-se ainda ir mais fundo e a partir daí tentar explicar o fenômeno fotoelétrico, que consiste em arrancar elétrons do átomo, pois quando essa energia chega até o elétron, esse absorve toda essa radiação e depois sim é ejetado de sua camada, mais para suprir a falta do elétron que "saiu do seu lugar" vai vir outro elétron que ao passar de uma camada para outra também vai liberar uma quantidade de energia, essa energia vai sair do átomo em forma de radiação, essa radiação é chamada também de fóton.

Já quando falamos em radiação "beta" é um processo que acontece por o núcleo não estar estável, ele não estando estável tende a "expulsar" um próton ou um nêutron que está em excesso, no momento que ele tira do núcleo a partícula que está sobrando vai liberar partícula positiva ou partícula negativa, essa partícula é chamada de radiação "beta".

Quando tiramos uma chapa de Raios-X, muitas vezes, estes não aparecem bem visível com partes meio cinzentas, essas partes cinzentas é devido a outro efeito, o efeito Compton, que por sua vez transforma a radiação tirada do átomo em dois tipos de energia, mas é conservado pelo principio de conservação da energia, em outras palavras pode-se dizer é a diminuição de energia e um aumento do comprimento de onda conseqüentemente, de um fóton de Raios-X ou raio gama, com isso fica evidente mais que o principio da relatividade ou seus postulados (Einstein) é valido pois as leis físicas são as mesmas para todos os referenciais inerciais e que a velocidade da luz no vácuo tem o mesmo valor para todos os observadores, qualquer que seja seu movimento ou movimento da fonte.

Pode-se também falar de outros tipos de radiação que por sua vez são singulares digamos assim, pois um vai depender do outro para acontecer, depois que um elemento possui um numero maior que o do chumbo que é 82, vai espontaneamente emitir raios beta que é um elétron e um pósitron, esses dois se chocando vai gerar um aniquilamento do par esse aniquilamento vai gerar uma nova radiação chamada de gama, isso acontece, por exemplo, com o bismuto o polônio, entre outros elementos mais radiativos. Já a radiação alfa acontece quando é ejetado do núcleo dois nêutrons e dois prótons".

No que o aluno escreveu pode-se destacar o seguinte: não necessariamente quando há a emissão de elétrons (efeito fotoelétrico) há a emissão de fótons. Não há a liberação de um nêutron individualmente. Explica corretamente o efeito Compton fazendo ponte com a relatividade. Não explica a emissão da radiação alfa em termos das forças nucleares e das forças elétricas. O restante o aluno explica corretamente, fazendo pontes entre os conhecimentos abordados, explicando mais do que descrevendo. Tais características fornecem indícios de aprendizagem significativa.

O aluno Francisco (*nome fictício*), coloca no mapa conceitual, como ele iria trabalhar os assuntos abordados no curso no Ensino Médio. “Para trabalhar com os alunos inicialmente vamos inserir ondas mecânicas. Neste momento será abordado o comportamento das ondas, a partir deste princípio é possível falar em ondas eletromagnéticas, ondas sonoras e aplicação da Física para exames de ultrassom. Outra aplicação é o funcionamento dos olhos utilizando-se da Óptica. Passando para a Física Moderna iremos abordar a radiação, que divide-se em dois tipos, a ionizante e a não-ionizante. A ionizante pode ser nuclear ou eletrônica. A nuclear vai formar as radiações alfa, beta e gama devido a extração das partículas do núcleo. A radiação eletrônica vai formar os Raios-X, devido a extração dos elétrons, estes por sua vez localizadas nas camadas externas do núcleo. Voltando as radiações nucleares, pode-se relacionar a aplicação nos exames de Tomografia Nuclear.”

As colocações do aluno, diferentemente do aluno Marcos, foram bastante descritivas, até por que ele demonstra que está pensando em como ensinar (abordar) o tema no Ensino Médio.

Apresentou o seguinte equívoco: 1) os elétrons estão no núcleo (na realidade os elétrons estão na eletrosfera). Mencionou, corretamente, que as radiações nucleares podem ser utilizadas nos exames de Tomografia Nuclear.

Na Tabela 12 há a divisão dos mapas conceituais segundo as categorias de análise propostas por Dutra (2004, p.5).

Tabela 12: análise mapas conceituais aplicação 2- palavras de ligação.

Alunos (nomes fictícios)	Assunto do mapa	Se encaixa em qual categoria de análise
1. Saionara e Elisa	Ultrassonografia	6 implicação local 8 implicação sistêmica 1 implicação estrutural
2. Margarida e Fabio		1 implicação local 7 implicação sistêmica 4 implicação estrutural
3. Cristian		1 implicação local 7 implicação sistêmica 0 implicação estrutural
4. Alceu	Ultrassonografia, produção e interação da radiação com a matéria.	3 implicação local 13 implicação sistêmica 0 implicação estrutural
5. Marcos		6 implicação local 12 implicação sistêmica 0 implicação estrutural
6. Silvio		13 implicação local 7 implicação sistêmica 0 implicação estrutural
7. Saionara e Elisa	Produção de radiação	13 implicação local 7 implicação sistêmica 0 implicação estrutural
8. Hérica	Fluoroscopia	3 implicação local 6 implicação sistêmica 9 implicação estrutural
9. Alceu e		0 implicação local

Francisco.		3 implicação sistêmica 0 implicação estrutural
10.Sérgio	Todos os assuntos	3 implicação local 9 implicação sistêmica 0 implicação estrutural
11.Francisco		4 implicação local 6 implicação sistêmica 0 implicação estrutural
12.Alceu e Francisco.	Radioterapia	1 implicação local 3 implicação sistêmica 0 implicação estrutural
13.Marcos		0 implicação local 19 implicação sistêmica 0 implicação estrutural
14.Sérgio.	Formação imagem	0 implicação local 15 implicação sistêmica 0 implicação estrutural
15.Margarida, Lurdes e Fabio.	Equipamento de Raios-X	0 implicação local 1 implicação sistêmica 0 implicação estrutural Este grupo apenas colocou uma palavra de ligação os demais conceitos não foram ligados.
16.Margarida, Lurdes e Fabio.	Mamografia	0 implicação local 1 implicação sistêmica 0 implicação estrutural Este grupo apenas colocou uma palavra de ligação os demais conceitos não foram ligados.

Observa-se na Tabela 12 que dos 16 mapas 2 apresentam como característica principal a implicação local, ou seja, palavras de ligação que surgem de observações diretas. Treze mapas conceituais apresentam como característica principal a implicação sistêmica, expressando relação de causa e efeito. Apenas um mapa tem como característica principal a implicação estrutural, ou seja, possui explicações e não mais descrições, justificando as relações. Estes dados indicam que a maioria dos grupos não conseguem explicar, mas apenas descrever os conceitos utilizados por eles nos mapas conceituais, o que não fornece indícios de aprendizagem significativa na maioria dos mapas.

Nas Figura 13 e 14 há 3 mapas conceituais que possuem por característica principal cada uma das três divisões feitas por Dutra (2004, p.5).

A Figura 13 tem como característica principal a implicação local, entretanto há também a implicação sistêmica.

Nos conjuntos 1 e 2 destacou-se três implicações locais contidos no mapa: 1) as ondas possuem reflexão, refração e difração que são regidas por leis; 2) as ondas podem ser mecânicas que são transversais ou longitudinais; 3) há ondas bidimensionais, unidimensionais e tridimensionais.

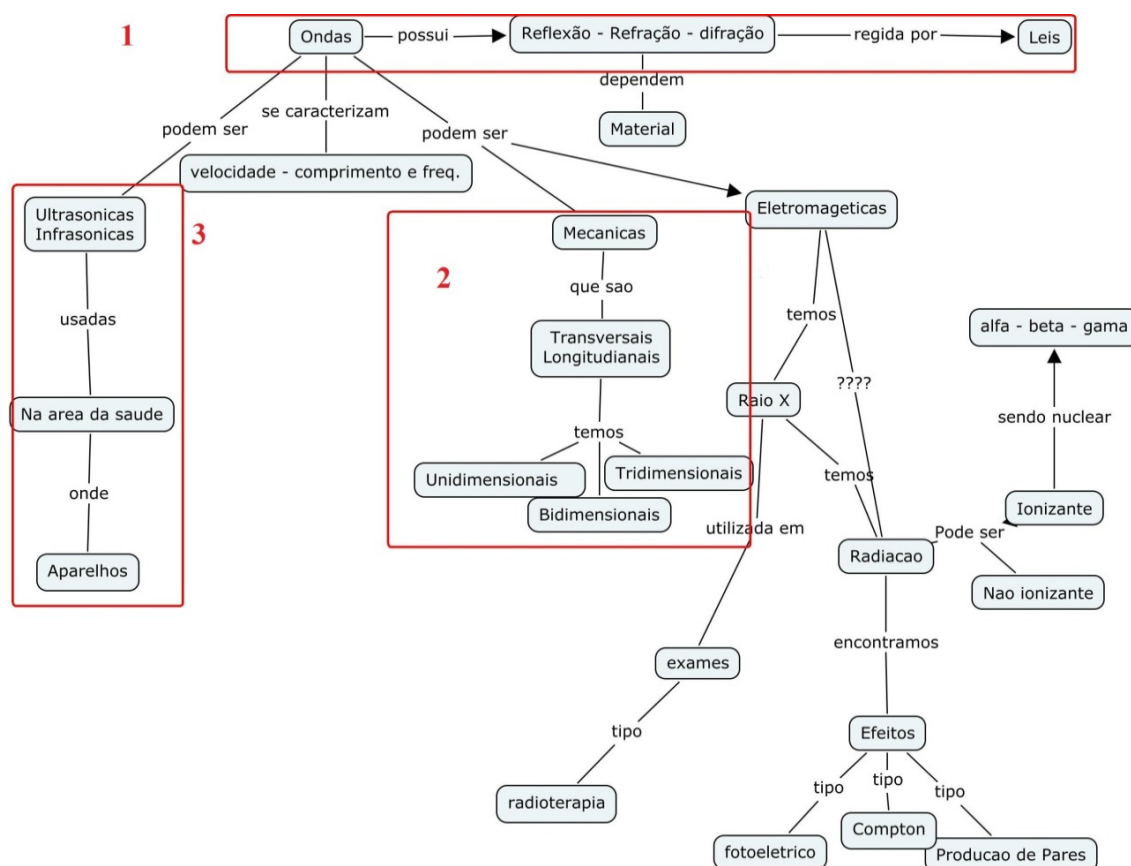


Figura 13: mapa conceitual do aluno Silvio (*nome fictício*): Ultrassonografia, produção e interação da radiação com a matéria.

As demais ligações entre os conceitos utilizados no mapa conceitual também possuem caráter descritivo. Entretanto, expressão relação de causa e consequência, mas não explicam o porquê de tais consequências surgirem devido a uma causa, caracterizando-as como implicação sistêmica.

Pode-se exemplificar a afirmação do parágrafo anterior pela proposição marcada com o número 3 na Figura 13: “as ondas ultrassônicas são usadas na área da saúde nos aparelhos”. O aluno não colocou como estas ondas são usadas. Tal mapa, assim como os que possuem apenas implicações locais e sistêmicas, não fornecem indícios de aprendizagem significativa.

Na primeira proposição o aluno descreve qual é a função da braquiterapia e da teleterapia, as diferencia, mas não coloca como, a partir delas, ocorre a destruição celular.

Na segunda proposição o aluno descreve as características do isótopo radioativo utilizado, mas não explica a relação entre a sua massa e sua capacidade maior de frenagem, em relação aos outros materiais radioativos e a por que ele é usado na braquiterapia.

Na Figura 15 há um mapa conceitual referente à fluoroscopia. Tal mapa foi classificado como, principalmente, de implicação estrutural. Embora, também apresente implicações sistêmicas e locais.

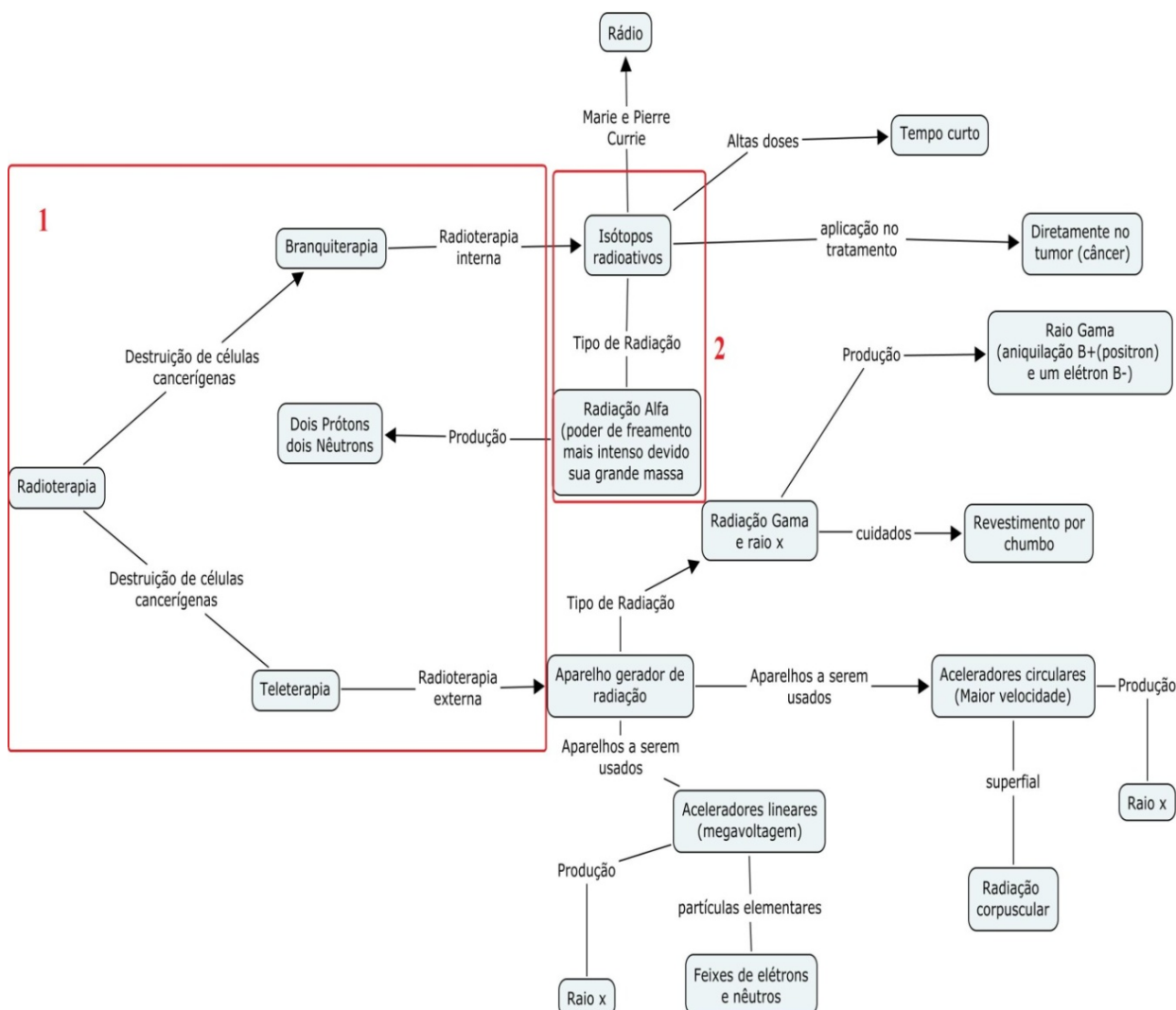


Figura 14: mapa conceitual do aluno Marcos: radioterapia.

Foi marcado, no mapa conceitual, a seguinte implicação estrutural: a fluoroscopia utiliza contraste para ressaltar a parte estudada ou absorvendo a radiação ou a deixando passar. Deixa a radiação passar quando possui menos densidade e dessa forma, possui menos elétrons. Dificulta a passagem da radiação quando possui mais densidade e consequentemente mais elétrons. Faltou, nesta proposição, relacionar a absorção ao efeito fotoelétrico.

A proposição, na Figura 15, que foi marcada com um 2 é uma implicação do tipo sistêmica: “no intensificador de imagem os fótons de Raios-X são transformados em fótons de luz através da radiação característica. Depois a luz é transformada em corrente elétrica por filamentos aquecidos e diferença de voltagem”. Pode-se ver na proposição, por exemplo, que os fótons de Raios-X são transformados em luz, mas não é explicado como isto ocorre, caracterizando uma implicação do tipo sistêmica.

A proposição 3 é uma implicação do tipo local: “a imagem é apresentada no monitor de televisão”.

Foi extraído, dessa análise, as seguintes conclusões para as próximas aplicações do curso:

- é fundamental, para a análise dos mapas conceituais, que se grave as explicações dos alunos;
- possibilitar aos alunos que eles refaçam os mapas conceituais;

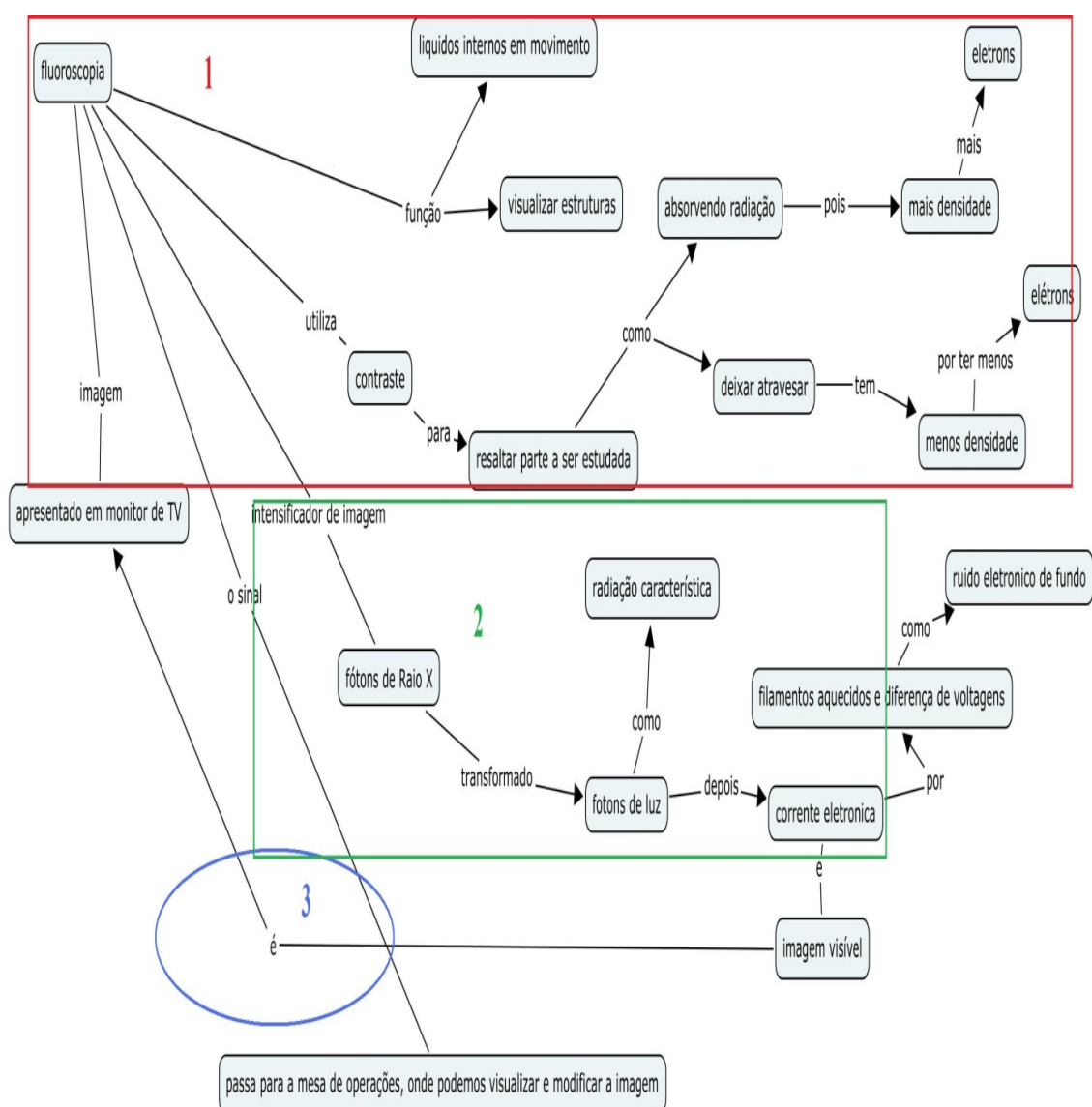


Figura 15: mapa conceitual da aluna Hérica (*nome fictício*): fluoroscopia.

- solicitar aos alunos que eles entreguem a explicação dos mapas conceituais por escrito;
- é importante dar a oportunidade dos alunos refazerem os mapas conceituais para que a pesquisadora possa avaliar as modificações decorrentes da instrução e dessa forma, buscar indícios de aprendizagem significativa;
 - ampliar o tempo do curso;
 - dar *feedback* para os alunos dos seus erros e acertos para que eles saibam os pontos que possuem dificuldades e possam se dedicar mais a eles, além de reduzir os equívocos;
 - ampliar o tempo de ensino de cada conteúdo;
 - rever os assuntos de uma aula na outra, recapitulando-os;
 - dar maior ênfase, no curso, à explicações e menor ênfase à descrições.

5.2.5 Análises das situações-problema

Foram analisadas as respostas dadas pelos alunos a duas situações-problema, com dois objetivos: 1) encontrar teoremas-em-ação e conceitos-em-ação e 2) buscar indícios de aprendizagem significativa.

Para alcançar o primeiro objetivo foi feita a Tabela 13 que contém: na primeira coluna o *nome fictício* dos alunos, na segunda a transcrição de suas respostas, na terceira os equívocos apresentados nas respostas dadas pelos alunos, na quarta e quinta coluna, respectivamente, os possíveis conceitos e teoremas-em-ação.

Para alcançar o segundo objetivo foram analisadas as respostas dadas pelos alunos.

Na Tabela 13 há a análise da primeira situação-problema que é: “Se você fosse técnico em radiologia e soubesse que:

- o chumbo possui um número atômico (Z) elevado (82);
- o efeito fotoelétrico é o maior responsável pela absorção da radiação e é proporcional a Z^3 .

Explique, para um paciente, com base nas afirmações acima, por que é utilizado placa de chumbo para se proteger dos Raios-X?”

Nesta situação-problema, o primeiro grupo não conseguiu responder antes da aula, pois não conseguiram relacionar o número atômico, ao efeito fotoelétrico, a por que é utilizado chumbo para as pessoas se protegerem dos Raios-X. Os alunos, deste grupo, sabiam os conceitos envolvidos, mas não conseguiam utilizá-los para resolver a situação-problema.

Depois da aplicação o grupo 1 não mostrou nenhum equívoco. Relacionaram, corretamente, o número atômico ao efeito fotoelétrico. Explicaram, corretamente, por que utiliza-se chumbo.

O grupo 2 conseguiu responder antes da aplicação, embora de maneira bastante superficial. Antes da aplicação do curso não foi apresentado nenhum equívoco, enquanto houve quatro erros depois da aula. Pode-se justificar esta diferença devido ao fato de que houve, no segundo momento, muito mais argumentação, ou seja, os alunos se permitiram arriscar mais. Este grupo, também não explicou, por que é utilizado chumbo e não outro elemento atômico, para as pessoas se protegerem dos Raios-X.

Como pode-se ver na Tabela 13 ambos os grupos, depois da aplicação da aula, conseguiram explicar a utilização do chumbo para a proteção contra os Raios-X. Embora o segundo grupo tenha apresentado alguns equívocos. Nos pontos onde não houveram equívocos foi identificado indícios de aprendizagem significativa dos conceitos científicos.

Tabela 13: análise das respostas à primeira situação-problema.

Nomes (fictícios)	Transcrição das respostas dadas pelos alunos: primeira situação-problema.	Equívocos apresentados	Conceitos-em-ação	Teoremas-em-ação
Grupo 1: Arthur e Fabiana.	<p>Depois aplicação.</p> <p>Arthur: “o chumbo é bom para capturar a radiação X por que ele tem número atômico elevado, quanto mais elétrons ele tem”.</p> <p>Fabiana: “maior a chance de haver absorção devido ao efeito fotoelétrico”.</p> <p>Arthur: “isso. O que significa que quando os Raios-X incidem no átomo são absorvidos pelos elétrons, produzindo uma ionização e daí quanto mais grosso for a placa de chumbo.”</p> <p>Fabiana: “mais matéria e conseqüentemente mais elétrons têm.”</p> <p>Arthur: “daí se os primeiros centímetros não absorvem os segundos absorvem e assim sucessivamente, é uma questão de estatística, de probabilidade”.</p> <p>Fabiana: “Exato”.</p>	Não houveram equívocos.	Raios-X, absorção, elétrons, prótons e fótons.	<p>1) os Raios-X podem ser prejudiciais aos seres humanos;</p> <p>2) se há mais elétrons é maior a probabilidade da radiação colidir com eles;</p> <p>3) o número de elétrons é proporcional ao número de prótons;</p> <p>4) o elétron absorvendo os fótons emitidos pelos Raios-X são acelerados indo para uma camada mais externa do átomo.</p>
Grupo 2: Sérgio e Francisco.	<p>Antes aplicação.</p> <p>Sérgio: “pelo chumbo ter um número atômico alto e por ser estável os elétrons acabam absorvendo toda a radiação emitida pela fonte”.</p> <p>Depois aplicação.</p> <p>Francisco: “o efeito fotoelétrico é importante”.</p> <p>Sérgio: “mas o que é? O efeito fotoelétrico é a emissão de elétrons por um material exposto radiação eletromagnética como a luz, que possui energia suficiente, pois o objetivo é arrancar elétrons do átomo”.</p> <p>Francisco: “mas no chumbo não acontece por que a radiação que chega até ele não tem energia suficiente para arrancar o átomo”.</p> <p>Sérgio: “por causa do alto número atômico que possui o chumbo e por ser estável”.</p> <p>Francisco: “a questão do chumbo está na estabilidade e daí acaba que não consegue arrancar só absorve e fica ali”.</p> <p>Sérgio: “por isso é usado na proteção radiológica”.</p> <p>Francisco: “muito interessante, pode-se dar o exemplo, do experimento que foram feitas com o celular uma onda pequena, o alumínio conseguiu absorver e dessa forma o celular não tocou”.</p> <p>Sérgio: “já para os Raios-X que possuem uma quantidade de energia superior e uma frequência também grande o alumínio não consegue bloquear, por isso precisa ser uma placa de chumbo”.</p> <p>Francisco: “até pela questão de densidade, o chumbo possui mais densidade do que o alumínio”.</p> <p>Sérgio: “é o chumbo é um material muito denso e, portanto é um material bastante pesado”.</p>	<p>Antes de aplicação</p> <p>1) o que o aluno falou é correto, mas muito superficialmente.</p> <p>Depois da aplicação</p> <p>1) ao contrário do que o grupo falou, no chumbo também pode ocorrer efeito fotoelétrico e é devido a isso que a o chumbo bloqueia a radiação ionizante;</p> <p>2) a radiação arranca átomos (o que a radiação ionizante pode fazer é arrancar elétrons do material e não átomos);</p> <p>3) há confusão entre estabilidade e o efeito fotoelétrico, os alunos acham que não ocorre efeito fotoelétrico, porque o material é estável;</p> <p>4) Ao contrário do que</p>	Efeito fotoelétrico, número atômico, chumbo, prótons, elétrons, densidade, Raios-X, radiação, átomo, absorção e reflexão.	<p>1) o efeito fotoelétrico é proporcional ao cubo do número atômico;</p> <p>2) usa-se chumbo para bloquear a radiação, pois ele possui um número atômico alto e é estável;</p> <p>3) quanto maior o número de prótons, maior será o número de elétrons e maior será a densidade;</p> <p>4) quanto maior a densidade maior será o peso do material.</p>

		o grupo falou, não necessariamente por um material ser denso ele será pesado.		
--	--	---	--	--

Na Tabela 14 há a análise da segunda situação-problema que é: “suponha que vocês precisam destruir células cancerígenas de um paciente, estão em um hospital equipado para tanto: a) Qual tipo de radiação deve-se utilizar? Por quê? Justifique através de explicações físicas. b) Quais os procedimentos de segurança que teriam que fazer?”

Na segunda situação-problema os alunos tiveram argumentos para responder apenas depois da aplicação do curso. Buscou-se indícios de aprendizagem significativa nas respostas apresentadas pelos alunos.

Tabela 14: análise das respostas à segunda situação-problema.

Nomes (fictícios)	Transcrição do respondido pelos alunos: segunda situação-problema.	Equívocos apresentados	Conceitos-em-ação	Teoremas-em-ação
Grupo 1: Fabiana e Arthur	<p>Depois da aula.</p> <p>Fabiana: “depende muito do tipo do câncer”.</p> <p>Arthur: “para destruir célula a radiação precisa penetrar, então a radiação precisa ter capacidade de penetrar”.</p> <p>Fabiana: “e de matar a célula”.</p> <p>Arthur: “e quais são as duas radiações que tem capacidade de penetração? Os Raios-X e os raios gama”.</p> <p>Fabiana: “e também tem o ultravioleta, né?”</p> <p>Arthur: “mas o ultravioleta acho que não”.</p> <p>Fabiana: “é mais baixo, sem dúvida”.</p> <p>Arthur: “acho que deve ser ou Raios-X ou raios gama, desta forma ou você vai trabalhar com a radiação do núcleo ou da eletrosfera, mas são radiações de alta energia”.</p> <p>Fabiana: “mas se você quer que o tecido mais duro absorva tem que ser Raios-X então”.</p> <p>Arthur: “então no caso do câncer de osso utilizaríamos Raios-X? Eu não tenho certeza, porque a radiação precisa ser absorvida”.</p> <p>Fabiana: “mas uma coisa é você usar radioterapia a outra é você injetar, porque dá para injetar também, que daí é a quimioterapia que é um elemento radioativo”.</p> <p>Arthur: “mas nesse caso aqui se quer destruir células. Vai ser uma das duas, mas de acordo com cada tipo de tecido o que vai precisar regular é a energia do tipo de radiação utilizada, mas se eu pego a energia de uma fonte de cobalto como ele é um elemento químico ele não tem uma radiação característica se são os Raios-X eu posso regular”.</p> <p>Fabiana: “os Raios-X eu posso utilizar sempre que eu estiver fazendo radioterapia, já na quimioterapia eu preciso utilizar elementos instáveis que liberem radiação alfa, que dizer gama”.</p> <p>Arthur: “mas eu não posso incidir a radiação de um elemento radioativo? Posso. Tem que isolar</p>	<p>1) apenas os Raios-X e os raios gama podem matar as células cancerígenas;</p> <p>2) para que tecidos mais duros absorvam é necessário utilizarmos Raios-X;</p> <p>3) na quimioterapia utiliza-se material radioativo;</p> <p>4) consideram que apenas a radiação gama e de Raios-X possuem elevada energia.</p>	<p>Célula, radiação, Raios-X, raios gama, ultravioleta, núcleo, eletrosfera, energia, radioatividade, elementos instáveis, alfa, frequência, absorção, tumor, osso, órgãos, blindagem, potência, radioterapia e quimioterapia.</p>	<p>1) o tipo da radiação a ser utilizada dependerá do tipo de câncer;</p> <p>2) para destruir célula a radiação precisa penetrar;</p> <p>3) as radiações que possuem capacidade de penetrar são os Raios-X e os raios gama que possuem altas energias;</p> <p>4) se você quer que o tecido mais duro absorva precisa ser Raios-X;</p> <p>5) se injetamos material radioativo chamamos de quimioterapia;</p> <p>6) pode-se regular a energia dos Raios-X;</p> <p>7) na quimioterapia utiliza-se elementos instáveis que liberam radiação gama;</p> <p>8) os elementos radioativos possuem frequência e energia característica;</p> <p>9) o tipo de radiação vai depender de quanto a radiação</p>

	<p>o paciente, mas se eu pegar o césio ele vai ter uma frequência e uma energia característica”.</p> <p>Fabiana: “então depende de quanto tem que penetrar no tecido e aonde vai ser absorvido”.</p> <p>Arthur: “Acho que sim. Se é Raios-X eu posso regular se for em função do material radioativo eu preciso escolher o material radioativo”.</p> <p>Fabiana: “se o paciente dependesse de nós ele estava morto”.</p> <p>Arthur: “o que eu acho mais complicado é dizer: o tumor tá no osso tal agora como eu chego lá? Por que órgãos eu vou passar? Então tem-se que escolher um caminho para que não destrua células boas que estão no caminho”.</p> <p>Fabiana: “o mínimo possível, isolando a área onde não há câncer e somente conseguimos blindar raios externos, agora se você faz uma aplicação de quimioterapia”.</p> <p>Arthur: “daí não”.</p> <p>Fabiana: “depende muito do tipo de câncer, do espalhamento, da área do corpo atingida”.</p> <p>Arthur: “se for uma área pequena utiliza-se radioterapia se for uma área grande utiliza-se quimioterapia, mas daí precisa estudar a potência que você precisa utilizar, em que direção que você aplica, qual é o melhor ângulo, tudo isso”.</p> <p>Fabiana: “acho que é isto”.</p>			<p>precisa penetrar no tecido, aonde vai ser absorvido; o tipo de câncer, o espalhamento e a área do corpo atingida;</p> <p>10) para mudar a energia, se for material radioativo, preciso mudar de radioisótopo;</p> <p>11) somente pode-se blindar radiação externa;</p> <p>12) deve-se isolar a área onde não há câncer;</p> <p>13) se o câncer estiver em uma área pequena utiliza-se radioterapia;</p> <p>14) se o câncer estiver em uma área grande utiliza-se quimioterapia.</p>
Grupo2: Margarida e Fabio	<p>Depois da aula.</p> <p>Margarida: “acho que tem-se que achar um método que agrida menos”.</p>	<p>Não há equívocos, mas a resposta é muito superficial e apenas um aluno falou.</p>	<p>Não apresenta nenhum conceito-em-ção.</p>	<p>1) deve-se utilizar um método que agrida menos.</p>
Grupo3: Silvio e Francisco	<p>Depois da aula.</p> <p>Silvio: “para matar as células cancerígenas vamos utilizar da radioterapia, utilizando Raios-X, mas pode-se ter dois problemas, quando o câncer é interno e externo. Quando o câncer é externo, por exemplo, na pele, focaliza-se os Raios-X apenas no local, para isso tem-se que diminuir a amperagem, a corrente elétrica.</p> <p>Francisco: “aumentar a voltagem”.</p> <p>Silvio: “o potencial elétrico”.</p> <p>Francisco: “reduzi a corrente elétrica, com as bobinas, para reduzir o efeito fotoelétrico”.</p> <p>Silvio: “mas daí tem-se que calcular o tempo de exposição que o paciente precisa ficar”.</p> <p>Francisco: “porque a exposição é proporcional ao tempo de exposição”.</p> <p>Silvio: “porque além de diminuir o efeito fotoelétrico há a necessidade de controlar o tempo de exposição”.</p> <p>Francisco: “pois, se expor o paciente a muito tempo de radiação ao invés de você ajudar o paciente você pode estar prejudicando-o, ampliando ainda mais o quadro dele”.</p> <p>Silvio: “isto é para proteger o paciente, além disso, deve-se proteger o corpo inteiro”.</p> <p>Francisco: “exatamente, porque a radiação vai para todo corpo, então, por exemplo, se você for emitir radiação no braço, deve-se proteger o restante do corpo com um material refletor, por</p>	<p>1) quando o câncer é externo focaliza-se os Raios-X apenas no local (esta errado, pois quando o câncer é de fácil acesso utiliza-se radiação alfa e beta);</p> <p>2) precisa-se aumentar a voltagem para tratar câncer externos (se aumenta-se a voltagem terá</p>	<p>Células, Raios-X, corrente elétrica, potencial elétrico, tempo, efeito fotoelétrico e radiação.</p>	<p>1) para matar as células cancerígenas utiliza-se radioterapia;</p> <p>2) quando o câncer é externo, focaliza-se os Raios-X apenas no local, diminuindo a corrente elétrica e aumentando a voltagem;</p> <p>3) através de bobinas diminui-se a corrente elétrica;</p> <p>4) se há menos corrente elétrica há menos efeito fotoelétrico;</p> <p>5) no exame é necessário haver o mínimo de efeito fotoelétrico e de tempo de exposição;</p> <p>6) os Raios-X possuem, com baixo tempo de exposição, uma</p>

	<p>exemplo, o chumbo, para evitar que a parte sadia do corpo seja atingida pela radiação”.</p> <p>Silvio: “mas os Raios-X fazem o que?”</p> <p>Francisco: “eles matam as células doentes, por que ele é projetado em uma frequência somente para atingir as células doentes e não atingir as células saudáveis”.</p> <p>Silvio: “mas se você deixar mais tempo de exposição a radiação não vai atingir apenas as células doentes, mas as células saudáveis também”.</p> <p>Francisco: “o tempo de exposição é uma quantidade X por ano, então daqui a pouco, você começa com a radioterapia e tem muita exposição, então o paciente vai precisar passar por outro tipo de tratamento para evitar que ele tenha mais problemas ainda, então todos estes cuidados devem ser tomados”.</p>	<p>mais energia e consequentemente mais penetração);</p> <p>3) através de bobinas diminui-se a corrente elétrica;</p> <p>4) os Raios-X não atingem as células saudáveis;</p> <p>5) o chumbo reflete a radiação;</p> <p>6) tratamentos evitam doenças.</p>		<p>frequência que afeta apenas as células doentes;</p> <p>7) deve-se, ao incidir sobre o paciente radiação, proteger as partes saudáveis do corpo para que não incida radiação sobre elas;</p> <p>8) o chumbo reflete radiação.</p>
--	---	---	--	---

O grupo 1 apresentou três equívocos e mostrou bastante insegurança ao responder a situação-problema. Esta dupla chegou a aula depois da parte expositiva sobre o assunto, pois tinham consulta médica, o que pode justificar o observado. Entretanto, sabem como regular o nível energético de fontes que emitem Raios-X e que emitem raios gama. Mostraram saber como são produzidos os Raios-X e os raios gama. Pensam, corretamente, que os Raios-X podem ser utilizados na radioterapia.

Tal grupo sabe muitas das normas de proteção radiológica, tais como, proteger partes do corpo que não apresentam células cancerígenas com placas de chumbo.

O grupo percebeu a complexidade da resolução da situação-problema, afirmando que a escolha da radiação depende de onde encontra-se o câncer, por quais órgãos a radiação precisa passar, da extensão do câncer, enfim de vários fatores.

Faltou o grupo explicar quais radiações são utilizadas na braquiterapia. Houve confusão entre braquiterapia e quimioterapia, afirmaram que o último é a injeção de materiais radioativos, se assim fosse todo o corpo seria bombardeado por radiação. Apesar de na braquiterapia ser utilizado fonte radioativa ela não é injetada no corpo humano, mas colocada diretamente onde há células cancerígenas.

Apesar do grupo apresentar várias confusões eles forneceram indícios de aprendizagem significativa nos seguintes pontos: algumas formas de se proteger da radiação ionizante, a complexidade que envolve a escolha do tratamento que será feito com as radiações, a utilização de Raios-X e de raios-gama, que pode-se regular a energia dos Raios-X e que não pode-se regular a energia emitida por uma material radioativo (se há a necessidade de mudar a energia precisa-se mudar de material que está emitindo radiação).

O grupo 2 não apresenta equívocos, mas a resposta é muito superficial e apenas um aluno falou. Colocou que se deve achar um método que agrida pouco, entretanto há a necessidade de que a radiação chegue as células cancerígenas, portanto, às vezes, é necessário usar um método que agrida mais do que outro para que se consiga matar as células cancerígenas. Devido a superficialidade da resposta há indícios de que não há aprendizagem.

O grupo 3 também apresentou vários equívocos, mas forneceu indícios de aprendizagem significativa nos seguintes pontos: 1) quanto mais tempo de exposição e quantidade de efeito fotoelétrico mais radiação o paciente absorve; 2) que deve-se proteger partes sadias do corpo com chumbo, para não aumentar as chances de tornar as células sadias cancerígenas ou matá-las.

Através da análise do que os alunos falaram, para buscarem resolver as situações-problema, pode-se perceber que os alunos, mesmo depois do curso, mantiveram várias ideias errôneas. Os grupos 1 e 3 tiveram pontos que forneceram indícios de aprendizagem significativa, enquanto que o grupo 2 não forneceu indícios de aprendizagem.

Cabe considerar que o pouco tempo de interação com a turma dificultou uma inferência mais conclusiva sobre a aprendizagem. Há que se considerar o contexto e a possibilidade de que o aprendiz, à luz da TAS, possa estar numa fase inicial de um processo de captação de significados ou de assimilação.

5.2.6 Análise comparativa entre pré e pós-teste

Como haviam poucos alunos (três) que responderam o pré-teste e o pós-teste, foram avaliadas as respostas deles individualmente a partir da Tabela 15 e não foi analisado se os ganhos foram significativos.

O pré-teste e pós-teste aplicados foram os mesmos e encontram-se no APÊNDICE F- Pré e pós-teste aplicado nos cursos.

A partir da Tabela 15, pode-se concluir que todos os alunos diminuíram o número de respostas que afirmaram não saber, aumentaram o número de questões que acertaram e erraram no pós-teste em relação ao pré-teste.

Na Tabela 15 há a análise dos pré-testes e pós-testes.

Tabela 15: resultados individuais do pré-teste e do pós-teste: aplicação 2.

NOMES (FÍCTICIOS)	ACERTOS	TOTAL	NÃO SEI	ERRADO	G= (Y-X)
Arthur (Pré-teste)-X	0	48	43	5	3
Arthur (Pós-teste)-Y	3	48	16	29	
Sérgio (Pré-teste)-X	7	48	24	17	9
Sérgio (Pós-teste)-Y	16	48	0	32	
Silvio (Pré-teste)-X	11	48	21	16	13
Silvio (Pós-teste)-Y	24	48	2	22	
					SG1=25

Foi encontrado para o ganho médio o valor de 8,33, o que significa que em média os respondentes acertaram 8,33 questões a mais no pós-teste do que no pré-teste¹³.

A única questão que todos os alunos acertaram no pós-teste foi a de número 14. Houve, portanto, indícios de que os alunos aprenderam significativamente que o fóton não é outro nome que se dá à luz.

¹³ Para mais detalhes de como fazer os cálculos ir para seção 5.1.5 Análise pré e pós-teste.

As questões 2, 5, 15, 16, 17, 20, 21, 24, 27, 28, 30, 31, 37, 47 não foram respondidas corretamente por nenhum dos alunos, não fornecendo indícios de aprendizagem significativa nos seguintes tópicos:

- Raios-X nem sempre possuem mais energia que os raios gama;
- efeito fotoelétrico é a emissão de elétrons por um material quando exposto a uma radiação eletromagnética, como a luz, de frequência suficientemente alta para arrancar o elétron do material;
- meia vida não é o tempo de vida de cada radionuclídeo;
- decaimento radioativo ocorre quando há uma emissão de radiação (corpuscular ou ondulatória), tendendo a deixar o átomo estável;
- áreas, nos filmes, expostas a mais radiação ficam mais escuras, enquanto que as áreas expostas a menos radiação aparecem mais claras;
- o grau de absorção não é determinado apenas pelo número atômico do material;
- a absorção fotoelétrica predomina sobre a dispersão Compton com Raios-X de baixa energia;
- na RMN a função dos meios de contraste é a de mudar o campo magnético no local em que será aplicado o exame;
- não é a corrente elétrica que determina a energia dos Raios-X;
- no intensificador, a imagem é produzida conforme a seguinte sequência: fótons de Raios-X que são transformados em fótons de luz e, em seguida, em corrente elétrica e, finalmente, em imagem;
- em aparelhos que usam filmes para formar a imagem, quanto maior for o valor de kVp mais escura será a imagem, se for mantido o mesmo valor para miliampere (mA);
- os Raios-X chegam inicialmente ao écran que, em contato com os raios-x, produzem luz; essa luz impressiona o filme no qual é produzida a imagem;
- a RMN utiliza a capacidade dos prótons de receber e devolver energia através de ondas de radiofrequência;
- na SPECT há a emissão de raios gama simples.

A seguir foi feita a análise individual dos três respondentes.

O aluno Arthur (*nome fictício*), acertou três questões a mais no pós-teste, em relação ao pré-teste; errou 24 questões a mais e 27 questões a menos ele assinalou “não sei”. O aluno não forneceu indícios de aprendizagem significativa na maioria das questões que respondeu. Os pontos nos quais o aluno forneceu indícios de aprendizagem significativa foram:

- soube dizer que o fóton não é outro nome que se dá a luz;
- soube que na PET um pósitron se aniquila com um elétron e não emite Raios-X.

As demais respostas avaliadas no teste (APÊNDICE F- Pré e pós-teste aplicado nos cursos) não forneceram indícios de aprendizagem significativa.

O aluno Sérgio (*nome fictício*) acertou nove questões a mais no pós-teste; não respondeu nenhum *não sei* no pós-teste, em contrapartida ao pré-teste em que havia afirmado não saber metade das questões; respondeu 15 questões erradas a mais no pós-teste.

Observando as questões respondidas corretamente no pré-teste (1, 4, 10, 21, 24, 29, 39, 45, 46) e as questões corretas do pós-teste (6, 7, 8, 9, 11, 14, 22, 23, 26, 36, 38, 39, 40, 41, 45, 46), percebe-se que nenhuma das respostas assinaladas de maneira correta foram mantidas no pós-teste, o que é bastante preocupante.

A partir das respostas corretas do pós-teste, pode-se afirmar que o aluno forneceu indícios que aprendeu significativamente que:

- a frequência necessária para ejetar elétrons de um material depende de sua natureza;

- o efeito Compton não ocorre quando um elétron muda para uma camada mais energética e ao voltar para seu estado de origem (menos energético), libera a energia excedente em forma de radiação;

- prótons não são a antimatéria dos elétrons;

- alguns materiais quando estimulados por um sinal elétrico produzem deformações mecânicas;

- quando utilizado o sinal analógico, a informação não é convertida para bits;

- os meios de contrastes são materiais que não emitem radiação;

- não é a kVp que determina a quantidade de fótons emitidos pelo equipamento de Raios-X;

Raios-X;

- o exame de RMN não utiliza radiação ionizante;

- na ausência de um campo magnético externo, a orientação dos spins nos tecidos não é organizada;

- ao ser aplicado um campo magnético, fornecido pelo magneto principal, os spins se alinham de acordo com ele;

- quanto maior for a concentração do elemento hidrogênio, em um segmento estimulado, mais forte será o sinal de ressonância;

- as partículas elementares são as menores partículas que constituem a matéria;

- na PET, um pósitron se aniquila com um elétron emitindo raios gama;

- a PET/CT sobrepõe as imagens metabólicas (PET) às imagens anatómicas (CT).

As demais respostas avaliadas no teste (ver APÊNDICE F- Pré e pós-teste aplicado nos cursos) não forneceram indícios de aprendizagem significativa.

O aluno Silvio acertou 13 questões a mais no pós-teste; respondeu dois *não sei* no pós-teste em contrapartida ao pré-teste em que havia afirmado não saber 21 questões; respondeu seis questões erradas a mais no pós-teste.

Observando as questões respondidas corretamente no pré-teste (1, 2, 6, 9, 10, 15, 19, 34, 36, 39, 44) e as questões corretas do pós-teste (1, 3, 4, 9, 10, 12, 13, 14, 18, 19, 23, 25, 29, 32, 33, 34, 35, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 48), pode-se concluir que o aluno forneceu indícios de aprendizagem significativa nos seguintes itens:

- a Ultrassonografia não faz mal à saúde;

- a produção de Raios-X por freamento ocorre quando um elétron energético, ao se aproximar do átomo, é desviado de sua órbita devido à atração com o núcleo, esse freamento libera energia em forma de uma onda eletromagnética;

- o efeito fotoelétrico é um dos responsáveis para levar as informações do olho até o córtex visual (no cérebro);

- a antimatéria possui as mesmas características da matéria, mas com massas e cargas diferentes, como é o caso dos pósitrons e dos elétrons;

- sob determinada pressão mecânica alguns materiais emitem corrente elétrica;

- uma forma de analisar as estruturas em movimento, na Ultrassonografia, faz uso do efeito Doppler;

- radiação ionizante pode trazer ações indiretas (produção de radicais livres);

- fóton não é outro nome que se dá à luz;

- materiais mais duros absorvem mais a radiação;

- materiais mais duros absorvem mais a radiação;

- a maior tarefa do gerador é fornecer uma voltagem alta para produzir Raios-X com suficiente energia e adequada quantidade de radiação;
 - os meios de contrastes são materiais que emitem radiação;
 - a principal função do fluoroscópio é proporcionar imagens em tempo real de estruturas anatômicas;
 - para valores baixos de kVp há maior absorção de radiação pelo paciente;
 - a radioterapia é um método de tratamento que consiste na destruição de células cancerígenas;
 - a radioterapia não utiliza apenas Raios-X;
 - nos dosímetros de filmes, a radiação produz alterações na densidade Óptica do filme revelado;
 - a TC tem como principal vantagem, em relação a exames radiológicos convencionais, a não sobreposição de imagens de estruturas anatômicas;
 - ao ser aplicado um campo magnético fornecido pelo magneto principal, os spins se alinham de acordo com ele;
 - quanto maior a concentração do elemento hidrogênio em um segmento estimulado, mais forte será o sinal de ressonância;
 - partículas elementares são as menores partículas que constituem a matéria;
 - elétrons, prótons e nêutrons não são as menores partículas que existem;
 - radioisótopos não emitem somente radiação eletromagnética (gama);
 - na PET há a emissão de um pósitron pelo radioisótopo;
 - na PET há a emissão de pósitron já na SPECT há a emissão de fóton.
- As demais respostas avaliadas no teste (APÊNDICE F- Pré e pós-teste aplicado nos cursos) não forneceram indícios de aprendizagem significativa.

5.2.7 Análise da avaliação do curso

Foram quinze alunos que fizeram a análise do curso, dessa forma, não será utilizada porcentagem para analisar a avaliação que realizaram. O questionário que os alunos responderam encontra-se no APÊNDICE G- Análise das aulas.

Foram utilizadas as respostas dos alunos do curso para buscar indícios para responder aos seguintes questionamentos: 1º) os conteúdos de Óptica, Eletromagnetismo, Física Moderna e Contemporânea podem ser utilizados na Física aplicada à Medicina? Essa aplicação facilita sua compreensão? 2º) Que abordagem (ns), estratégia(s) poderia(m) ser mais facilitadoras da aprendizagem significativa da Física aplicada à Medicina?

Para isso, foram colocadas, na Tabela 16, as transcrições de todas as justificativas dadas pelos alunos na primeira parte (assinalar) e na Tabela 17, as transcrições de todas as justificativas dadas pelos alunos na segunda parte (descritiva). A partir de tais transcrições foram buscados indícios para responder as perguntas supracitadas.

Ao desenvolver a análise, encontraram-se menos críticas do que na primeira aplicação. Isso foi atribuído a uma maior maturidade da pesquisadora e na maior familiaridade com os conteúdos e estratégias de ensino abordadas.

Alguns alunos preferiram não se identificar e, por isso, foram identificados como Aluno 1, Aluno 2...

Tabela 16: transcrições das justificativas do grupo 2- primeira parte.

Questões	Sim	Não	Às vezes	Justificação: transcrições
1	15	0	0	“Proporciona um maior entendimento do mesmo” (ALUNO 7).
2	14	0	1	“Vai da minha compreensão” (Fábio). “É uma forma detalhada de Física aplicada” (ALUNO 7).
3	13	0	2	“Vai da minha compreensão” (Fábio). “Pois foge um pouco de nosso entendimento em função do conteúdo ser novo” (ALUNO 7).
4	4	3	8	“Boa parte já conhecia, porém com uma abordagem menos interligada” (Arthur). “Gosto muito de Física Moderna e estudo então ficou claro para mim” (ALUNO 7). “Pouco trabalhado na faculdade” (ALUNO 1). “Alguns conceitos específicos não são trabalhados no ensino médio e nem na graduação tivemos informações” (Marcos).
5	1	5	9	“Só estou pensando na melhor forma de fazer uma transposição didática para os alunos” (ALUNO 7). “Por não conhecer alguns conteúdos integralmente” (ALUNO 1). “Sempre as coisas novas deixam um pouco de dúvida. Mas com a explicação da pesquisadora, consegui tirar muitas dúvidas” (Marcos).
6	15	0	0	“Em alguns por não ter visto antes” (Fábio). “Principalmente as simulações, acho que vai ficar mais claro para o aluno o entendimento” (ALUNO 7).
7	15	0	0	“Pois proporciona um pensamento mais elaborado do conteúdo (ALUNO 7).”
8	14	0	1	“Muito, pois a forma lúdica ajuda em qualquer momento a compreensão (ALUNO 7).”
9	15	0	0	“Vai me ajudar a compreender ainda mais o universo onde estamos inseridos” (ALUNO 7).
10	14	0	1	“Acredito, que pode facilitar o entendimento quando for tratado primeiramente o Modelo Padrão ou partículas elementares” (ALUNO 7). “Não sei dizer” (Fábio).
11	14	0	1	“Em geral muito boa, mas um ou dois slides estavam com cores fracas ou apagadas” (Francisco).
12	15	0	0	Não houve nenhuma justificativa.
13	8	0	7	“Acho que é preciso selecionar. Talvez em outras sequências. O bom seria testar primeiro” (Arthur). “Depende de muitos fatores” (Fábio). “Vai facilitar o aprendizado desse mundo microscópico” (ALUNO 7).
14	14	0	1	Não houve justificativa.
15	15	0		Não houve justificativa.
16	14	0	1	Não houve justificativa.

Tabela 17: transcrições das justificativas do grupo 2- segunda parte.

Questão	Transcrições
17	<p>“Construção de mapa conceitual”, Diagrama V (Arthur).</p> <p>“Gostei do organograma de montagem de esquemas” (Fábio).</p> <p>“O mapa conceitual, não conhecia, só tinha ouvido falar” (ALUNO 2).</p> <p>“Mapa conceitual e o programa <i>Audacity</i>” (ALUNO 7).</p> <p>“Mapa conceitual, por que organiza o pensamento e esquematiza e as simulações, pois nos dão uma percepção bem clara das situações” (Francisco).</p> <p>“<i>Audacity</i>” (ALUNO 3).</p> <p>“Mapa conceitual e simuladores no computador, mostra como dinamizar as aulas” (ALUNO 4).</p> <p>“Mapa conceitual e a atividade com material de baixo custo” (Margarida).</p> <p>“As simulações, os exemplos, os mapas conceituais, pois clarearam mais os conceitos” (ALUNO 5).</p> <p>“Mapas conceituais, as simulações” (ALUNO 1).</p> <p>“<i>Audacity</i> e simulações computacionais” (ALUNO 6).</p> <p>“As atividades referentes ao efeito fotoelétrico que me proporcionaram compreender melhor o decaimento eletrônico e a atividade de Ultrassonografia que me proporcionaram compreender melhor todo o processo durante uma consulta” (Carol).</p> <p>Esquematização do conteúdo (Sérgio).</p> <p>“o mapa conceitual foi muito interessante porque permite uma organização adequada sobre os determinados conceitos de um tema</p>

	outra atividade interessante foram as simulações, onde pudemos observar o que acontece na prática e que na maioria das vezes não vemos” (Marcos).
18	<p>“Não posso dizer que não gostei, pois tinha muito pouca compreensão ou visto pouco o conteúdo” (Fabio).</p> <p>“O V” (ALUNO 2).</p> <p>“Mapa conceitual” (ALUNO 3).</p> <p>“Mapa conceitual, pois não terminei” (ALUNO 6).</p> <p>“Todas as atividades foram adoráveis” (Carol).</p> <p>Não tenho atividades que não gostei (Marcos).</p>
19	<p>“simulações, mapa conceitual”; (Arthur);</p> <p>“Como funciona a Física Médica Nuclear”. Aplicação, prevenção, etc.” (Fabio).</p> <p>“O mapa conceitual e a clareza de suas explicações no quadro” (ALUNO 2).</p> <p>“Simulações” (ALUNO 7).</p> <p>“Mapa conceitual e problematização, pois fazem pensar e organizar o pensamento” (Francisco).</p> <p>“As simulações” (ALUNO 3).</p> <p>“Mapa conceitual, editor de áudio” (ALUNO 4).</p> <p>“As explicações, pois era um conteúdo que eu não tinha muito conhecimento” (ALUNO 5).</p> <p>“As simulações na internet e os debates com os colegas” (ALUNO 1).</p> <p>“As simulações, pois foi feito comparação” (ALUNO 6).</p> <p>“A Simulação de aniquilação dos pares. Por poder visualizar como ocorre o processo” (Carol).</p> <p>“A esquematização de conteúdo e a explanação do mesmo” (Sérgio).</p> <p>“As discussões em grupo e as relações bem feitas entre os conteúdos e a pratica cotidiana aplicada na Medicina. Como funcionam os equipamentos, Raios-X, por exemplo” (Marcos).</p>
20	<p>“A dificuldade surgiu por ter pouco contato com os conteúdos” (Fabio).</p> <p>“Quando relaciona química, biologia, etc. A minha base de Física é mínima, eu tenho que ser autodidata” (ALUNO 2).</p> <p>“Na verdade os assuntos são bastante abstratos, mas os materiais ajudaram na compreensão” (ALUNO 7).</p> <p>“Estes conteúdos não são de fácil entendimento, nem para nós professores e muito menos para os alunos, minha preocupação é de reorganizar tudo de modo com que o aluno tenha compreensão pelo menos da estrutura geral” (Francisco).</p> <p>“Sim, por que é um conteúdo pouco trabalhado” (ALUNO 3).</p> <p>“Relacionar a Física com outras áreas do conhecimento, Química, Biologia” (ALUNO 4).</p> <p>“Sim, as relações com a Química” (ALUNO 5).</p> <p>“Sim, algumas relações com a Química” (ALUNO 1).</p> <p>“Sim, pois a maioria não está usando no cotidiano em sala e tem pouca leitura sobre o assunto” (ALUNO 6).</p> <p>“Sim, pois o conteúdo foi relativamente novo” (Sérgio).</p> <p>“As dificuldades foram diversas, principalmente no que se refere ao funcionamento dos equipamentos na Medicina e como ocorre o processo de produção de Raio-X, gama e raios alfa” (Marcos)</p>
21	<p>“Gostei porque mudou a apresentação de conteúdos, com atividades, simulações, questões problemas, produções, abordando o mesmo tema de diferentes formas favorecendo a aprendizagem” (Arthur);</p> <p>“Sim, eu tenho um pouco de inibição quando tenho que me expressar num grupo de professores, assim eu não me sinto à vontade de apresentar algo” (ALUNO 2).</p> <p>“Muito boa, pois com certeza vai fazer parte de um construtivismo, ficará mais fácil de fazer essa ponte para o saber ensinar” (ALUNO 7).</p> <p>“As estratégias são boas, porém o tempo que o curso teve foi pouco para a quantidade de conteúdos e conceitos. Acredito que se reduzir em quantidade poderemos estudar e discutir mais situações e com mais calma para a parte prática” (Francisco).</p> <p>“Sim, boa” (ALUNO 3).</p> <p>“A pesquisadora foi dinâmica, com momentos expositivos e outros de prática facilitou o entendimento” (ALUNO 4).</p> <p>“Boa, sim” (Margarida).</p> <p>“As estratégias foram boas e claras” (ALUNO 5).</p> <p>“A pesquisadora conhece o conteúdo e apresentou adequadamente os conteúdos” (ALUNO 1).</p> <p>“Sim, a estratégia foi acessível” (ALUNO 6).</p> <p>“Ótima, pude compreender processos interessantes como a Ultrassonografia e a tomografia” (Carol).</p> <p>“A estratégia foi boa, pois o conteúdo foi compreendido” (Sérgio)</p> <p>“A pesquisadora foi dedicada e sua estratégia foi fundamental para o sucesso do curso. Foi preciso muita abstração” (Marcos).</p>
22	<p>“Em relação a apostila, há o índice ,as não há o número nas páginas, o CD foi bom” (Arthur).</p> <p>“Os computadores não ajudaram muito” (ALUNO 2).</p> <p>“Para mim uma sugestão seria trabalhar diretamente, com os alunos envolvidos, “digo assim” com simulações” (ALUNO 7).</p> <p>“O material é muito bom” (ALUNO 3).</p> <p>“Apenas alguns computadores da sala funcionavam (ALUNO 4).</p> <p>“Talvez o curso poderia ser num momento posterior com uma carga horária maior para esse conteúdo, pois o</p>

	mesmo é importante” (Sérgio). “O material foi muito bem elaborado e a partir de agora cabe a nós pesquisar, O trabalho da pesquisadora foi incentivar a pesquisa, despertar para a pesquisa” (Marcos).
23	“Repetir a experiência do curso com outros temas, sempre visando a aplicação na sala com os alunos” (Francisco). “Não, tudo foi muito bom” (ALUNO 3). “Desejo muita sorte e sucesso. A pesquisadora tem muito conhecimento e consegue apresentar com clareza os conteúdos trabalhados” (Marcos).

Para verificar se os conteúdos de Óptica, Eletromagnetismo, Física Moderna e Contemporânea poderiam ser utilizados na Física aplicada à Medicina e se essa aplicação facilitaria a compreensão, foram utilizadas as respostas das questões: 1, 2, 3, 4, 5, 13, 20 e 22 do APÊNDICE G- Análise das aulas. A partir de tais respostas e da justificação dos alunos, pode-se concluir:

- os alunos do curso consideram importante a utilização da Física aplicada à Medicina para dar sentido aos conceitos de Física;
- os alunos expressaram que gostaram do material; que esse material explica os conteúdos com clareza e que, dessa forma, ajudaram a aprender os conteúdos de Óptica, Eletromagnetismo, Física Moderna e Contemporânea que envolvem a Física aplicada à Medicina, facilitando a sua compreensão;
- o conteúdo era total ou parcialmente novo para onze dos quinze alunos que responderam o questionário, e a isso muitos atribuíram suas dificuldades;
- mostram preocupação na forma como iriam transpor esses assuntos para o Ensino Médio;
- todos os alunos acham que é possível, total ou parcialmente, aplicar tais assuntos no Ensino Médio, mas percebem a necessidade de adaptar o material e testar a melhor forma de aplicá-los com os alunos;
- os alunos tiveram dificuldades na interdisciplinaridade necessária para a compreensão dos conteúdos e, também, por ser esse um conteúdo novo e complexo;
- as respostas dos alunos forneceram indícios de que essa abordagem facilitou a compreensão dos mesmos;
- em relação ao curso, é preciso melhorar: numerar as páginas no material; mais tempo de curso; instigar os alunos do curso a testar o material no Ensino Médio, vendo quais são as melhores sequências, as melhores formas de abordar tal assunto, avaliando tais aplicações, testando várias sequências e melhorando a forma de ministrar as aulas, aprimorando, dessa forma, o ensino e, conseqüentemente, a aprendizagem.

Para buscar indícios de quais abordagem(ns) e estratégia(s) são mais facilitadoras da aprendizagem significativa na Física aplicada à Medicina foram analisadas as questões: 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21 e 23 do APÊNDICE G- Análise das aulas.

Todos os alunos afirmaram que os exemplos, os exercícios, as imagens, as atividades lúdicas (atividade experimental, simulações e jogos) ajudaram na compreensão dos conteúdos e que a dimensão do material foi satisfatória.

Na décima questão, todos os alunos colocaram que a ordem do material estava boa. Entretanto, um deles considera que os alunos aprenderiam mais se o conteúdo inicia-se abordando primeiro o Modelo Padrão.

Na décima primeira questão, todos colocaram que a aparência do material estava boa. Um aluno colocou que algumas das figuras dos slides estavam fracas.

Em relação às atividades desenvolvidas, todos afirmaram que essas foram dinâmicas e agradáveis, que oportunizaram boa compreensão do conteúdo e que foram detalhadas com clareza.

Na décima-sétima questão, as atividades que os alunos mencionaram como as que mais gostaram de realizar foram: 1º) mapa conceitual (12 alunos); 2º) simulações computacionais (7 alunos); 3º) programa *Audacity* (3 alunos); 4º) atividades experimentais de baixo custo (2 alunos); 5º) Diagrama *V* (1 aluno); 6º) exemplos (1 aluno). Como os alunos podiam colocar mais de uma atividade, a soma das respostas dos alunos foi maior que o número de respondentes.

Na décima-oitava questão, as atividades que alguns alunos mencionaram que não gostaram foram: 1º) mapa conceitual (2 alunos), um aluno justificou que não gostou, pois não teve tempo de terminar; 2º) o *V* (um aluno).

Na décima-nona questão, foi solicitado que os alunos colocassem as atividades que consideravam as mais facilitadoras da compreensão dos conteúdos. Essas atividades foram: 1º) simulações computacionais (6 alunos); 2º) mapa conceitual (5 alunos); 3º) explicação (3 alunos); 4º) discussões em grupo (2 alunos); 5º) programa *Audacity* (1 aluno); 6º) problematizações (1 aluno). Como os alunos podiam colocar mais de uma atividade, a soma das respostas dos alunos foi maior que o número de respondentes.

Na vigésima questão, solicitou-se que os alunos descrevessem qual a sua opinião referente à estratégia utilizada. Houve um comentário não-positivo. Uma das alunas citou que não ficava à vontade ao apresentar trabalhos em grupo, ao passo que os demais gostaram das estratégias utilizadas.

Na última questão, um aluno sugeriu a realização de mais cursos para professores. Mencionou que faziam muitos anos que não havia mais cursos voltados para professores de Física na cidade. Coincidentemente, neste ano (2010), foram proporcionados dois cursos, o que está sendo ora avaliado e um de astronomia para o Ensino Médio.

A partir das respostas, da justificção dos alunos e da análise dessas respostas, pode-se concluir que:

- a abordagem citada pelos alunos como a de que eles mais gostaram foi a dos mapas conceituais, embora houve dois alunos que não gostaram dessa atividade, portanto, foi enfatizada nas outras implementações do curso essa metodologia;
- a abordagem que os alunos consideram como a que mais facilitou a compreensão foi a das simulações computacionais, por esse motivo foi enfatizada, nas outras implementações do curso, essa metodologia;
- como cada aluno tem o seu próprio ritmo, é melhor que os alunos façam os mapas conceituais em casa e apenas os apresentem e os discutam em aula;
- tentar começar o curso a partir do Modelo Padrão e avaliar se o aprendizado dos alunos é realmente melhor;
- rever os slides, de modo a refazer aqueles que estão com aparência ruim;
- aumentar o tempo de aplicação do curso;
- incentivar os professores para que trabalhem os conteúdos de Física aplicada à Medicina e avaliem se os alunos estão aprendendo mais significativamente os conceitos;
- utilizar a Física aplicada à Medicina para dar sentido a um número maior de conceitos dentro da Física, por exemplo, utilizar o funcionamento do aparelho de Raios-X para explicar toda a eletrônica que o envolve. Desenvolvendo, a partir daí, oficinas práticas, ajudando os alunos do curso, por exemplo, a montar um modelo de equipamento de Raios-X;

- os exemplos, os exercícios, as atividades lúdicas (atividade experimental e jogos) ajudaram na compreensão dos conteúdos;
- a dimensão do material, segundo os alunos, foi satisfatória;
- as imagens contidas no texto auxiliaram na compreensão pelos alunos;
- em relação às atividades desenvolvidas, todos afirmaram que foram dinâmicas e agradáveis, que oportunizaram uma boa compreensão do conteúdo, além de haverem sido detalhadas com clareza.

Um aluno do curso se dispôs a aplicar a primeira das cinco partes do curso em sala de aula. Na sequência, há a análise dessa atividade.

5.2.8 Análise das aulas observadas no Ensino Médio

5.2.8.1 Oficina: interação da radiação com a matéria, produção de radiação e aparelho de Ultrassonografia

As observações da implementação da primeira parte do material de apoio, no Ensino Médio, foram feitas em uma oficina com quatorze estudantes do terceiro ano. A atividade proposta foi extraclasse e ministrada por um aluno da segunda aplicação do curso, em uma escola particular na cidade de Chapecó. Essa oficina foi composta de quatro encontros de duas horas e meia cada, totalizando dez horas de aplicação.

Buscaram-se indícios de aprendizagem significativa através dos mapas conceituais. Estes referiam-se aos seguintes assuntos: 1º) Ultrassonografia; 2º) interação da radiação com a matéria; 3º) produção de radiação.

Na primeira aula, o professor apresentou aos alunos os assuntos que seriam abordados.

Na sequência, levantou a seguinte situação-problema (para deixá-los curiosos e motivados, tal situação-problema foi respondida apenas na terceira aula): se você fosse técnico em radiologia e soubesse que:

- o chumbo possui um número atômico (Z) elevado (82);
- o efeito fotoelétrico é o maior responsável pela absorção da radiação e é proporcional a Z^3 .

Dessa forma, explique para um paciente, com base nas afirmações acima, por que se utiliza uma placa de chumbo como forma de se proteger dos Raios-X?

Depois, diferenciou a Física Clássica da Física Moderna.

Mostrou um esquema do equipamento de Ultrassonografia e suas partes, seguindo com a explicação de quais são as características das ondas; o que é reflexão e refração, distinguindo reflexão regular e difusa, exemplificando cada uma delas. Após, o professor perguntou aos alunos: 1) o que você acha que irá ocorrer quando a onda passar de um meio a outro com índices de refração diferentes: a) com a velocidade? b) com o comprimento da onda? c) com a frequência? Em seguida o professor realizou uma simulação para que os alunos a confrontassem com o que disseram inicialmente.

O professor começou a explicar que o som é uma onda longitudinal, diferenciando o som das ondas de ultrassom. Explicou, em seguida, as características do som, mostrando-as mais detalhadamente no programa *Audacity*. O professor mostrou algumas das ferramentas do programa, deixando que os alunos lidassem com o programa durante aproximadamente 10

minutos, para que explorassem algumas das possibilidades do *software*, enquanto o professor os ajudava, buscando potencializar a aprendizagem.

A seguir, apresentou razões para o uso do aparelho de Ultrassonografia, logo a pós, utilizando os conceitos de reflexão, absorção, refração, densidade, indução eletromagnética, polarização molecular, pressão, excitação atômica, excitação elétrica, camadas eletrônicas explicou o funcionamento do aparelho de ultrassom e a formação da imagem do corpo no monitor.

O professor explicou o efeito Doppler e depois fez aos alunos a seguinte pergunta: 1) o que ocorre com a frequência, o comprimento e a velocidade da onda ouvida pelo observador quando: a) o automóvel se aproxima dele? b) o automóvel se afasta dele? Depois ele apresentou uma simulação para confrontá-la com o que os alunos responderam.

Explicou a utilização do efeito Doppler nos equipamentos de ultrassom, cujo objetivo é o de verificar se as veias dificultam a passagem de sangue por algum motivo. Depois, o professor explicou como é feito um mapa conceitual, deixando o restante da aula para eles começarem a fazer um mapa conceitual sobre o aparelho de ultrassom.

Na segunda aula, o professor tentou, junto com os alunos, estourar pipocas com o celular. Colocaram três celulares em torno de algumas pipocas, os alunos ligaram simultaneamente para eles e foi observado que nada ocorreu com as pipocas.

Os alunos começaram a debater sobre o porquê de as pipocas não haverem estourado, analisando as diferenças e semelhanças entre os diferentes tipos de radiação.

Em seguida, fizeram uma colagem do espectro eletromagnético, destacando as características de cada tipo de radiação, exemplos de suas aplicações, diferenciando radiações ionizantes e não ionizantes.

Na sequência, apresentou-se uma simulação do espectro eletromagnético. Antes de observarem a simulação, o professor fez as seguintes perguntas: **a)** o que acontece com a energia se aumento a frequência da onda? **b)** o que acontece com o comprimento de onda se aumenta a frequência da onda? **c)** quais dessas radiações são mais perigosas para os seres humanos?

Em seguida, o professor iniciou a apresentação do modelo atômico de Bohr, relacionando-o com os radioisótopos, com as formas de produção da radiação nuclear (alfa, beta e gama).

Quando o professor explicou sobre a radiação alfa, utilizou uma simulação computacional. Antes de fazê-la, pediu que alunos respondessem (por escrito) o seguinte: **a)** o que irá acontecer com o peso atômico quando há a emissão de radiação alfa? Justifique sua resposta a partir de explicações físicas; **b)** se coloco mais átomos no sistema, o que ocorre com a emissão de radiação alfa? Justifique suas respostas a partir de explicações físicas.

Posteriormente, foram ensinados aos alunos os dois tipos de produção de Raios-X (característico e de freamento) e a forma de bloquear cada um deles.

Na sequência, dividiu a sala em quatro grupos. Cada um realizou uma das atividades experimentais e, com a ajuda da pesquisadora e de algumas simulações computacionais, buscaram compreender as atividades experimentais e depois explicá-las aos demais. Depois houve a apresentação das atividades experimentais pelos alunos e a discussão em relação a elas, não houve tempo para que os alunos fizessem um V da atividade experimental. Uma das atividades precisava de uma lâmpada, mas essa queimou no decorrer do experimento, então, não conseguiram finalizar a atividade. A seguir, o professor explicou o que deveria ter ocorrido na atividade experimental.

As atividades experimentais foram:

1) funcionamento do celular. Nessa atividade os alunos enrolavam vários objetos no celular, tais como papel de ofício, papel alumínio, papel laminado, caixa de leite. Depois buscavam compreender por que com alguns materiais o celular funciona e com outros não e quais são as características das ondas envolvidas;

2) visão das cores. Nesta atividade os alunos tinham papéis contacts de várias cores. Tinham como objetivo predizer as cores que veriam através dos papéis contacts coloridos, depois olhavam através desses papéis para ver se a previsão deles estava ou não correta, buscando explicar o observado;

3) irradiação. Os alunos colocaram uma lâmpada potente equidistante de um prato branco, de um prato preto e de um prato azul para observarem o que ocorria com a temperatura de cada um deles;

4) ondas mecânicas. Nesse experimento havia duas cordas, uma com uma espessura maior e outra menor, e uma mola flexível, popularmente chamada de “mola maluca”. Nessa atividade eles tinham como objetivo estudar as características das ondas longitudinais e transversais.

Um grupo de alunos ficou muito animado com a primeira atividade experimental, pois viram uma forma de, a partir de papel alumínio, deixarem o telefone “fora de área”. Dessa forma, não precisam atender o telefone quando não tinham interesse.

Na terceira aula, o professor perguntou inicialmente aos alunos, para deixá-los motivados: 1º) como ocorre o acendimento automático das lâmpadas? 2º) como as pessoas enxergam as cores? 3º) como são produzidas as imagens radiográficas?

Depois o professor começou a explicar a interação da radiação com a matéria, mostrando uma imagem que sistematiza o efeito fotoelétrico.

Em seguida, ele formalizou o efeito fotoelétrico e colocou as condições que são necessárias para que ele ocorra.

O professor fez as seguintes perguntas: 1) para conseguir arrancar elétrons de um material o que há necessidade de alterar? 2) se aumento a intensidade da luz incidente o que ocorre: a) quando já está sendo arrancado elétrons do material; b) quando não esta sendo ejetado elétrons; 3) se aumento a voltagem o que ocorre: a) com a corrente elétrica quando há efeito fotoelétrico; b) com a energia cinética dos elétrons. Mostrando, então uma simulação para confrontar com o que os alunos responderam.

O professor explicou a utilização do efeito fotoelétrico nos postes de luz, na visão e nas imagens produzidas no aparelho de Raios-X convencional.

Depois ele explicou brevemente sobre a teoria onda-partícula e a importância do efeito Compton para corroborar a teoria corpuscular da luz.

A partir de uma imagem, explicou o efeito Compton, mostrando as diferenças e semelhanças entre este e o efeito fotoelétrico e as condições necessárias para ele ocorrer. Explicou as consequências do efeito Compton na imagem radiológica.

O professor começou a mostrar, a partir de uma imagem, como funciona a produção e aniquilação de pares e quais são as condições necessárias para ele ocorrer.

O professor calculou, junto com os alunos, a partir da equação de Einstein ($E=mc^2$), a energia mínima necessária para que ocorra a produção de pares. Acharam primeiro em joules e depois transformaram esse valor em eletrovolts.

O professor fez aos alunos a seguinte pergunta: 1) o que acontecerá quando o fóton passar próximo ao núcleo de um átomo com energia: a) igual a 1,02 MeV, b) menor que 1,02 MeV c) superior a 1,02 MeV? Colocou, na sequência, uma simulação para que eles confrontassem com o que responderam.

Posteriormente, explicou que a aniquilação de pares é utilizada na Tomografia por Emissão de Pósitrons, mostrando, através de uma simulação, como é utilizada.

Antes da simulação computacional, o professor instigou os alunos a pensar sobre as seguintes perguntas: 1º) o que ocorre quando um elétron e um pósitron se chocam? a) com a direção do movimento; b) com a energia; c) com a massa; 2º) quais são as diferenças e semelhanças entre um pósitron e um elétron?

Na sequência mostrou, com um gráfico do número atômico do absorvedor em função da energia do fóton (MeV), em que faixas predominavam cada uma das interações da matéria. Posteriormente, solicitou aos alunos que gravassem no *Audacity*, a resposta à situação-problema já mencionada no primeiro encontro. O professor reservou o restante da aula para que os alunos começassem a fazer um mapa conceitual sobre a interação da radiação com a matéria.

Na quarta aula, foi alocada uma hora e meia para que os alunos terminassem os mapas conceituais em duplas (no programa Cmap Tools). O restante do tempo foi utilizado para apresentação, discussão e correção dos mapas conceituais e para que os alunos respondessem a um questionário sobre as aulas (APÊNDICE G- Análise das aulas).

5.2.8.2 Avaliação para verificar indícios de ocorrência de aprendizagem significativa

Para buscar indícios de ocorrência de aprendizagem significativa nos alunos, foram analisados apenas os seis mapas conceituais entregues, pois a oficina teve apenas 10 horas de duração e, por isso, não foi possível coletar mais material. Também não foi possível solicitar aos alunos que refizessem tais mapas, assim, a análise dos mapas foi desenvolvida em função das ligações entre os conceitos, conforme sugere Dutra (2004).

O professor também solicitou aos alunos que escrevessem as impressões deles referentes a oficina que lhes foi ministrada. Essas respostas também foram analisadas.

Como se pode observar das figuras 16 à 21, os mapas assemelham-se mais a fluxogramas, pois não foram utilizados apenas conceitos e todos apresentam frases inteiras, o que é comum quando da confecção dos primeiros mapas conceituais.

Nas figuras 16 e 17, há dois mapas que se referem à produção de radiação.

A Figura 16 apresenta uma implicação local (“a produção de radiação utiliza raios gama que são ondas eletromagnéticas com cargas e massas desprezíveis e com núcleos instáveis”) e sistêmica (“a produção de radiação utiliza radiação alfa que são mais energéticas, porém facilmente barradas por uma folha de papel”). Não justificou, em nenhum momento, como ocorre a produção de radiação, ou seja, o primeiro mapa conceitual é essencialmente descritivo e não explicativo, fornecendo indícios de aprendizagem mecânica.

O mapa conceitual da Figura 16 apresenta os seguintes equívocos: 1º) os raios gama possuem carga e massa desprezíveis; 2º) os raios gama são núcleos instáveis; 3º) há necessidade de emissão de raios gama por longos períodos de tempo para causar má formação celular; 4º) a radiação beta possui massa nula; 5º) o beta negativo é semelhante aos elétrons; a radiação alfa é mais energética.

Informações importantes faltantes: 1º) divisão da produção de Raios-X característicos e de freamento e explicação de cada uma delas; 2º) divisão da emissão de radiação beta positivo e negativo e explicação de cada uma delas; 3º) explicação de como ocorre emissão dos quatro tipos de radiação.

A partir destas análises pode-se concluir que não houve indícios de aprendizagem

significativa pelo aluno Anderson (*nome fictício*), quanto as formas de produção de radiação.

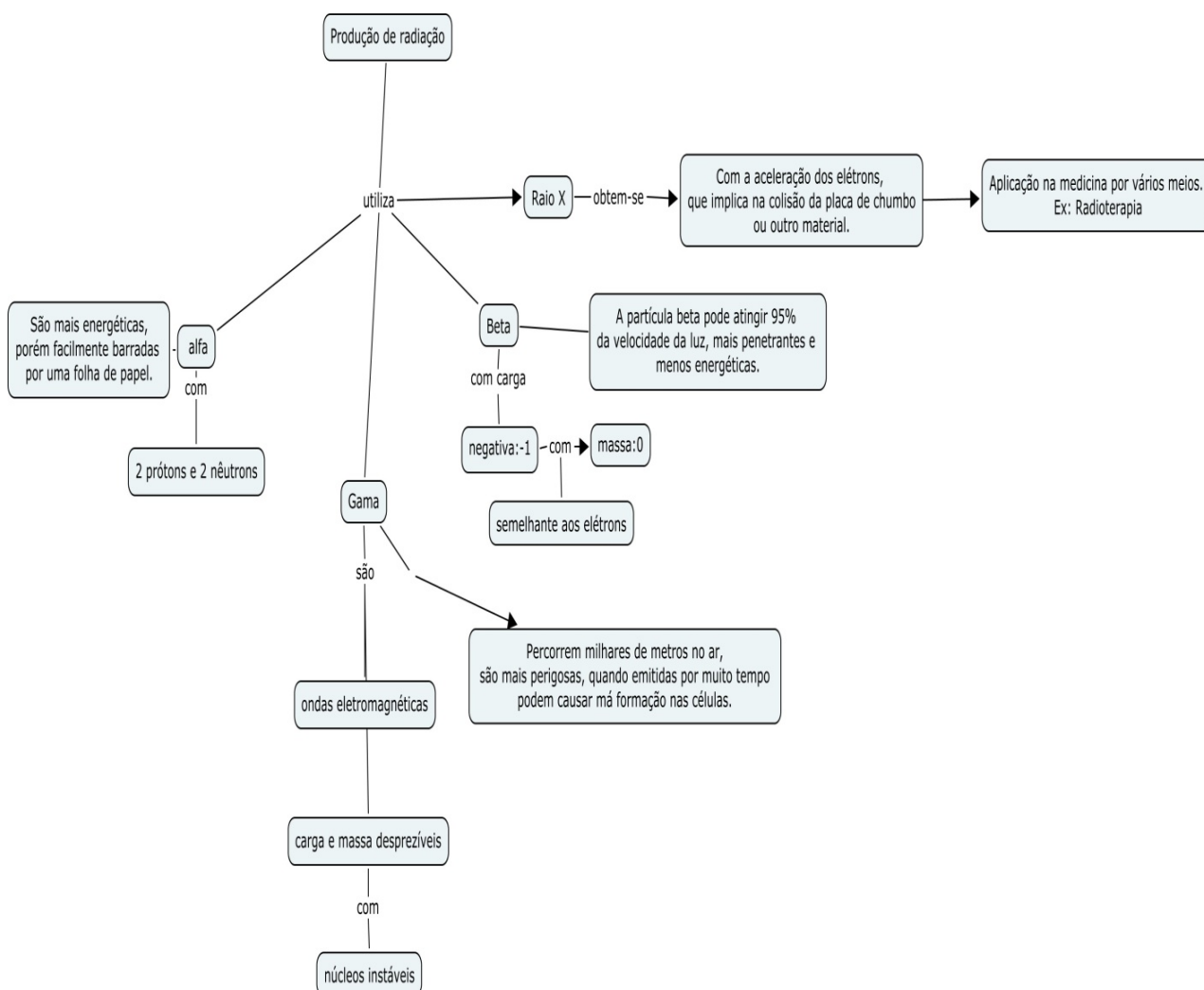


Figura 16: mapa conceitual de produção de radiação do aluno Anderson.

No segundo mapa conceitual (Figura 17) há implicações locais, por exemplo: “existem quatro tipos de radiação que são: os raios gama, que é uma radiação que não tem massa nenhuma e é mais forte com carga de aproximadamente 10^5 .” Possui implicações sistêmicas, por exemplo: “os Raios-X são divididos em freamento e característica. Os Raios-X de freamento são aqueles em que a força do elétron é tão forte que ele passa até pelos da camada K e só é atraído pelo núcleo, freando e produzindo energia”. Há também implicação estrutural, por exemplo: “os Raios-X característicos são aqueles em que um elétron reage com outro de uma camada bem interna, fazendo com que ele saia do elemento. O elétron da camada mais externa terá que substituir o elétron que saiu, e isso emite energia”.

Apresenta os seguintes equívocos: 1º) os raios gama possuem carga de 10^5 ; 2º) é produzido energia na radiação de freamento (na realidade é transformado energia cinética em energia luminosa); 3º) há necessidade de arrancar um elétron para que haja produção de Raios-X característica.

As seguintes informações relevantes faltam no mapa conceitual: 1º) como é emitida a

radiação alfa; 2º) como há a emissão de radiação gama; 3º) qual energia que se transforma em Raios-X na produção de freamento; 4º) por que o elétron da camada mais externa vai para a lacuna que esta mais próximo ao núcleo.

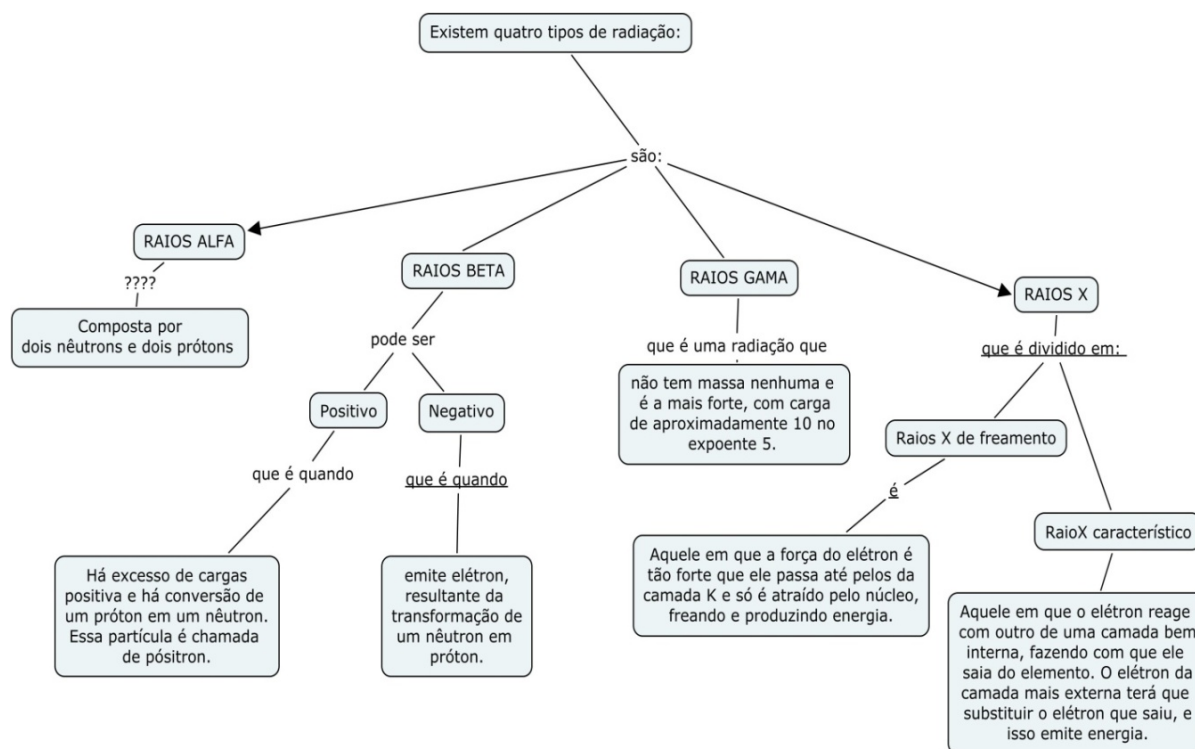


Figura 17: mapa conceitual de produção de radiação do aluno Paulo.

A partir dessas observações pode-se concluir que há indícios de aprendizagem significativa pelo aluno Paulo (*nome fictício*), embora ficaram lacunas em sua aprendizagem quanto as formas de produção de radiação.

A Figura 18 apresenta um mapa sobre interação da radiação com a matéria do aluno Matheus (*nome fictício*). Este mapa conceitual apresenta implicação local, por exemplo: “produção de pares é quando a radiação passa próximo ao núcleo e produz massa: um pósitron e um elétron”. Apresenta implicação sistêmica, por exemplo: “na imagem radiológica, como o osso é mais denso, há mais elétrons e a possibilidade de serem arrancados é maior através do o efeito fotoelétrico.” Há também implicação estrutural, por exemplo: “o efeito fotoelétrico ocorre quando os elétrons da superfície do metal, ao serem iluminados recebem energia, ficam agitados e abandonam o metal”.

O mapa conceitual da Figura 18 apresenta os seguintes equívocos: 1º) o efeito Compton é o espalhamento de elétrons livres pela luz; 2º) o efeito fotoelétrico ocorre apenas em metais; 3º) se possui mais energia arranca mais elétrons (por possuir mais energia não significa que irá arrancar mais elétrons, mas sim que os elétrons arrancados terão mais energia em relação aos arrancados pelas ondas com frequências menores).

Informações importantes que faltam: 1º) explicar a aniquilação de pares; 2º) explicar os fatores que fazem com que ocorram os três tipos de interação da radiação com a matéria; 3º) diferenciar os três tipos de interação da radiação com a matéria.

A partir dessas observações pode-se concluir que há indícios de aprendizagem significativa pelo aluno Matheus. Embora tenham ficado algumas lacunas em sua aprendizagem quanto às interações de radiação com a matéria.

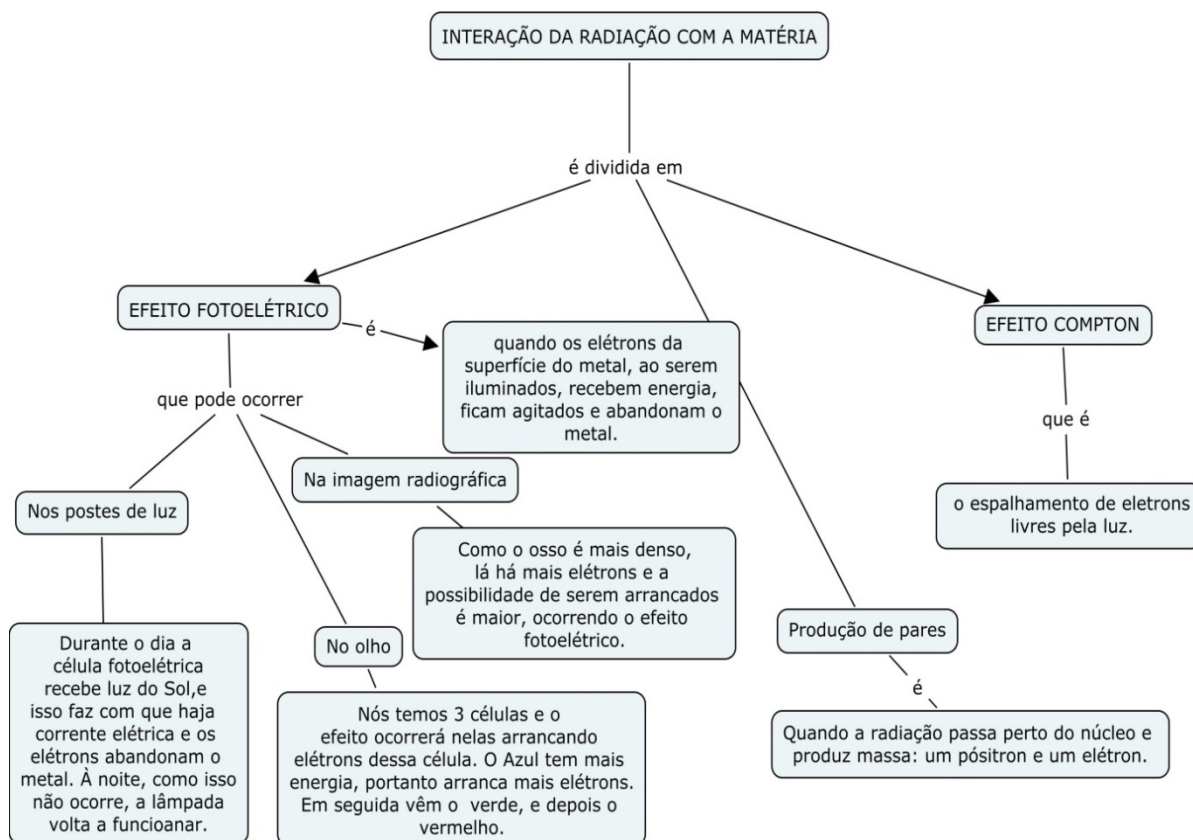


Figura 18: mapa conceitual de produção de radiação do aluno Matheus.

A Figura 19 apresenta um mapa sobre a interação da radiação com a matéria do aluno Alex (*nome fictício*). Esse mapa conceitual apresenta implicação sistêmica: “na formação de pares, uma onda de luz interage com um núcleo de elevado número atômico, dando origem a um pósitron e um elétron. Quando ambos se encontram e se chocam, transformam-se em duas ondas gama”. Há também implicações estruturais, por exemplo: “no efeito fotoelétrico uma onda de luz atinge o elétron, que absorve o fóton, recebendo energia suficiente para sair da eletrosfera, quando isso acontece nas camadas inferiores ocorre o decaimento eletrônico. E o elétron da camada externa desce até a camada interna na qual faltam elétrons. Durante esse processo, existe um excesso de energia que é liberada na forma de onda.”

Este mapa conceitual não apresenta erros, mas o aluno não colocou as aplicações das três interações da radiação com a matéria. Entretanto, ele mencionou, na apresentação, que o efeito fotoelétrico é responsável pelo acendimento automático de algumas lâmpadas, que o efeito Compton é um dos responsáveis por haver “borrões” nas imagens radiográficas e que a aniquilação de pares é utilizada na PET.

A partir destas análises pode-se concluir que há indícios de aprendizagem significativa pelo aluno.

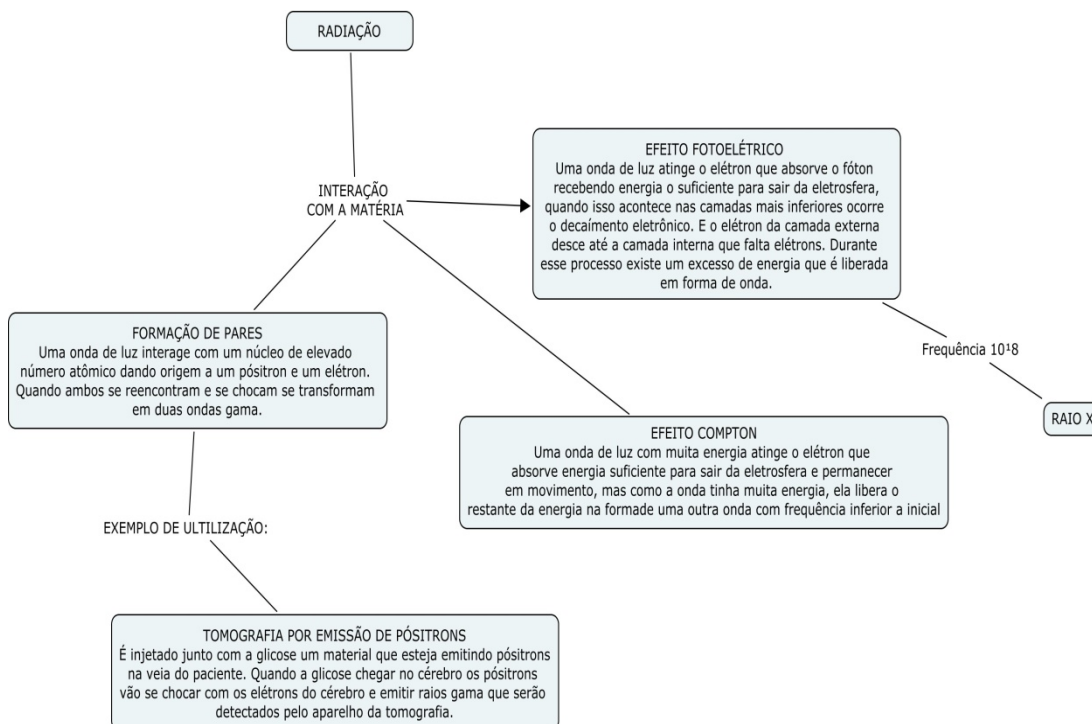


Figura 19: mapa conceitual de interação da radiação com a matéria do aluno Alex.

A Figura 20 mostra um mapa sobre o funcionamento do aparelho de Ultrassonografia do aluno William (*nome fictício*). Neste mapa conceitual há a presença, predominante de implicações estruturais, por exemplo: “as ondas eletromagnéticas oscilantes chegam no material piezoelétrico carregadas positivamente ou negativamente. Os átomos do piezoelétrico podem ser repelidos ou atraídos, ocorrendo oscilações (atração e repulsão) que vão modificar o diâmetro da placa. Quando atrai, o diâmetro diminui e quando repele o diâmetro aumenta. Essa variação no tamanho da placa vai emitir ultrassom”. Há também implicações sistêmicas, por exemplo: “na fonte há fios de cobre com elétrons livres que recebem energia e ficam oscilando gerando corrente elétrica alternada e depois gerando um campo magnético.”

Apresenta o seguinte equívoco: o campo eletromagnético variado é um ímã.

Informação importante que falta: explicar como ocorre a emissão de luz no fósforo.

Nesse mapa ocorreu problema quanto às palavras de ligação, pois não ligam as frases contidas nas caixas de textos. O aluno, como os demais, não colocou apenas conceitos, mas frases, embora com as frases explicou corretamente o funcionamento do aparelho de Ultrassonografia. A partir dessas análises foi concluído que há indícios de aprendizagem significativa pelo aluno.

A Figura 21 é um mapa sobre o funcionamento da Ultrassonografia do aluno Juca (*nome fictício*). Esse mapa apresenta explicações e descrições.

Apresenta, por exemplo, a seguinte implicação sistêmica: “a fonte dá uma corrente elétrica que chegará ao transdutor e as partículas polarizadas farão um campo magnético variável e uma corrente elétrica alternada, que produzirão as ondas ultrassônicas. Elas chegarão ao corpo, onde ocorrerão os ecos, que é a reflexão do som. Quanto mais denso o órgão for, mais emitirá, por causa do efeito fotoelétrico. Os ossos, por exemplo, são muito densos. O eco volta e ocorre o campo magnético variável e a corrente elétrica alternada, que se dirigirá ao monitor.” Há também implicações locais, por exemplo, “no monitor há fósforo”

e implicações estruturais, por exemplo, “a radiação chega no monitor e arranca um elétron, por exemplo, da camada K. O elétron da camada L irá para o mais interno e isso emitirá uma onda, que se tornará a imagem no monitor”.

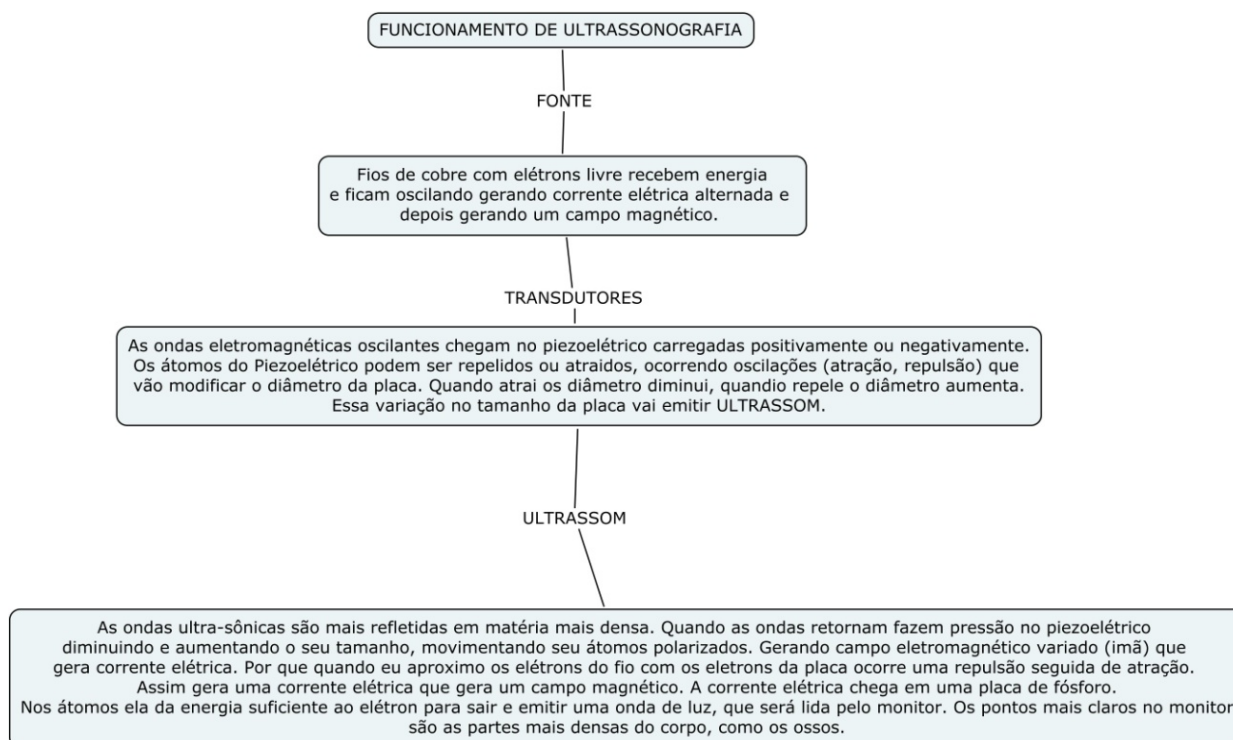


Figura 20: mapa conceitual Ultrassonografia do aluno Wiliam.

Apresenta o seguinte equívoco: é devido ao efeito fotoelétrico que a radiação é refletida.

Informações importantes faltantes: 1º) como a corrente elétrica alternada gera campo magnético; 2º) como são produzidas ondas ultrassônicas; 3º) como o ultrassom se transforma em corrente elétrica alternada; 4º) por que quando passa de uma camada mais externa para a mais interna há emissão de luz.

A partir destas observações pode-se concluir que há indícios de aprendizagem significativa pelo aluno, embora há indicativos de que ficaram lacunas em sua aprendizagem.

A partir das análises dos dados pode-se concluir que a maioria dos alunos apresentaram indícios de aprendizagem significativa, embora tenham apresentado algumas dificuldades na confecção dos mapas conceituais e lacunas no aprendizado.

Essa análise dos mapas conceituais foi exposta aos alunos durante a apresentação feita por eles, fornecendo-lhes um *feedback* dos seus erros e acertos, de modo a poderem melhorar seu entendimento do que lhes fora ensinado.

Através dessa implementação no Ensino Médio, encontraram-se vários indícios, de que há a possibilidade de aplicar a proposta no Ensino Médio. Os alunos forneceram indícios de aprendizagem significativa, embora houve a necessidade de utilizar uma linguagem mais simples para o ensino e também mais tempo para a aplicação (foi necessário o dobro do tempo do que para a segunda aplicação do curso).

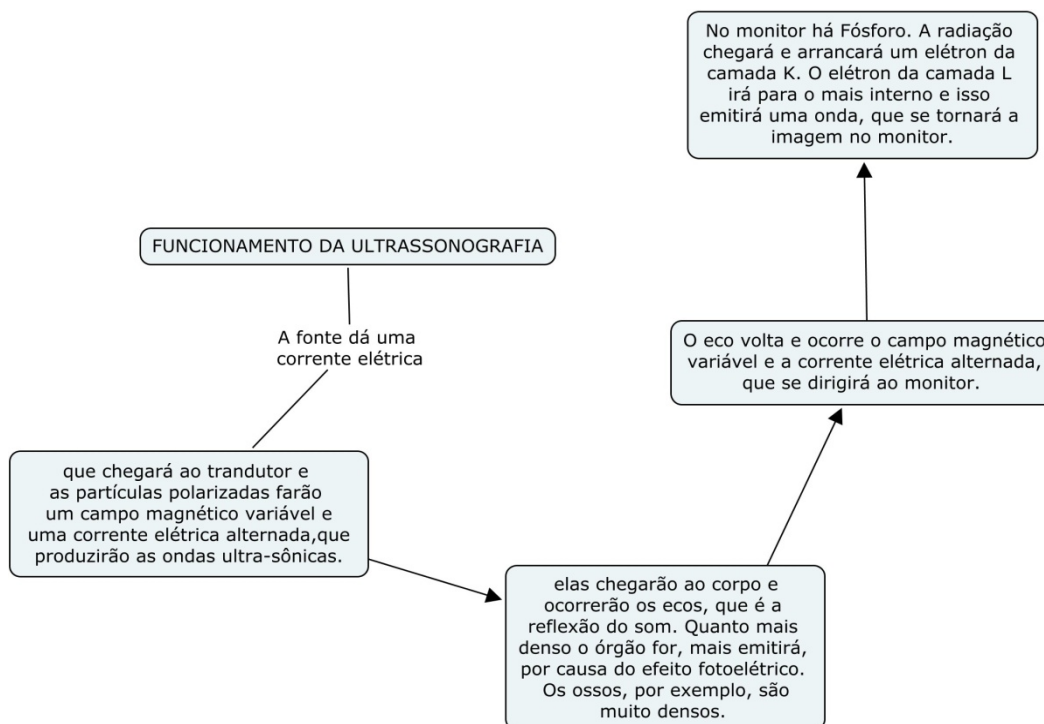


Figura 21: mapa conceitual Ultrassonografia do aluno Juca.

Quando o professor aplicou o teste para a análise da opinião dos alunos, infelizmente, havia apenas dois alunos na sala, pois os outros tinham curso pré-vestibular e por este motivo saíram antes. Por isso, será feita a análise de forma mais geral, pois eles raramente justificavam suas respostas.

Ambos escreveram que: 1) o material possui metodologias/recursos adequados para a compreensão dos conteúdos; 2) explica com clareza os conteúdos; 3) os conteúdos do curso (ou parte deles) não eram de seu conhecimento; 4) tiveram dificuldades de compreensão (anteriormente ou durante o curso) sobre os conteúdos apresentados; 5) os exemplos, exercícios, as várias atividades diferenciadas, tais como jogos e atividades experimentais auxiliaram na compreensão dos conteúdos; 6) a dimensão do material entregue durante o curso foi satisfatória; 7) os conteúdos estavam em uma ordem boa; 8) a aparência dos materiais entregues durante o curso estavam boas; 9) as imagens, presentes nos materiais entregues durante o curso, auxiliaram na compreensão do conteúdo; 10) eles acham possível aplicar esse material no Ensino Médio.

Quanto às atividades desenvolvidas, ambos colocaram que foram dinâmicas agradáveis, oportunizaram que entendessem bem o conteúdo e que foram detalhadas com clareza.

Quando se pediu que os alunos apontassem duas atividades que gostaram de realizar, o aluno Juca respondeu que “gostei de entender o efeito fotoelétrico e a Ultrassonografia” e o aluno Wiliam respondeu que foram “as apresentações” a atividade que ele mais gostou.

Ambos responderam que gostaram de todas as atividades realizadas, não justificando a resposta.

O aluno Juca respondeu que a atividade que mais lhe proporcionou entendimento foram “as simulações” enquanto o aluno Wiliam respondeu que “foram as apresentações”.

O aluno Juca escreveu que a dificuldade que teve foi na compreensão da emissão de partícula beta e na produção de pares. O aluno Wiliam respondeu que não teve dificuldades.

Quando perguntado aos alunos: qual sua opinião sobre a estratégia utilizada na aula? Segundo você, a estratégia auxiliou no seu aprendizado? Cite sugestões, críticas referentes à estratégia utilizada. Ambos apenas responderam que a aula foi boa.

Quando os alunos foram indagados se possuíam alguma crítica e sugestões referentes ao material utilizado, o aluno William colocou que “gostaria de entender a Física Quântica e a Teoria da Relatividade” e o aluno Wiliam nada respondeu.

5.2.9 Mudanças necessárias para a próxima etapa

Através da segunda aplicação do curso, chegou-se às seguintes conclusões de mudanças necessárias para as próximas etapas:

- 1) desenvolver atividades extraclasse;
- 2) oportunizar aos alunos que refaçam as atividades;
- 3) ministrar mais tempo de curso;
- 4) dar *feedback* aos alunos dos seus erros e acertos.

5.3. Aplicação para alunos da Licenciatura em Física

5.3.1 Descrição das aulas e diário de bordo

Essa aplicação ocorreu com nove alunos do curso de Licenciatura em Física da UNOCHAPECÓ, nos dias 27, 28, 29 e 30 de julho no período noturno e nos dias 31 de julho, 07 e 14 de agosto de 2010 nos períodos matutino e vespertino, totalizando 32 horas de aplicação. Oito horas, foram utilizadas para desenvolver atividades extraclasse. Tais horas foram empregadas para a confecção de mapas conceituais e para reformulação dos mesmos. Totalizando 40 horas de curso.

A turma era bem homogênea, pois todos haviam terminado o segundo semestre do curso de Licenciatura em Física. Das disciplinas da Física, apenas haviam cursado Física 1 (mecânica), Física 2 (fluidos) e seus respectivos laboratórios. Esse fato e o resultado do questionário que buscava encontrar os conhecimentos prévios dos alunos exigiu que a apresentação fosse mais minuciosa. Tópicos que foram abordados de maneira mais sucinta na aplicação para professores do Ensino Médio, tais como reflexão, refração, absorção, indução magnética, corrente elétrica, nesta aplicação foram explicadas detalhadamente. Devido ao tempo, optou-se por fazer apenas uma explicação conceitual e não formal destes tópicos.

No dia 27 de julho, chegaram os nove alunos, entregou-se a eles o questionário sobre conhecimentos prévios, o pré-teste e o pedido de autorização para utilizar os materiais produzidos e gravados por eles.

Iniciou-se o organizador prévio com um vídeo do *Youtube*, na qual algumas pessoas estouravam pipoca com o celular, tentou-se fazer o mesmo. Foram posicionados três celulares ao redor das pipocas e ligado simultaneamente para eles, não eclodiu nenhuma pipoca, contradizendo o filme do *Youtube*. Depois, começou-se a discutir o porquê da impossibilidade de eclodir pipocas com a radiação do celular, começou-se então a identificar os diferentes tipos de ondas, as suas características, suas semelhanças e diferenças.

Em seguida, foi colocada a primeira situação-problema apresentada na seção 5.2.1 Descrição das aulas e diário de bordo, para que os alunos fossem pensando sobre ela.

Na sequência, foi seguido o esquematizado nos apêndices L e M para a primeira parte do curso. Nesse primeiro dia foi explicado, detalhadamente, o aparelho de Ultrassonografia.

No segundo dia (dia 28), estiveram presentes oito alunos, um aluno ficou doente e pegou atestado, dessa forma não compareceu mais às aulas.

Solicitou-se, aos alunos, que montassem um painel das radiações eletromagnéticas, explicando suas características, apontando as diferenças e as semelhanças entre elas, estabelecendo comparações entre a energia, a frequência e o comprimento de onda, diferenciando ondas ionizantes de não-ionizantes.

Em seguida, foi trabalhado o número atômico, átomo (modelo de Bohr), estabilidade e instabilidade atômica, a força elétrica, força nuclear forte e fraca, os isótopos e radioisótopos, as radiações nucleares (alfa, beta e gama), a produção de radiação na eletrosfera (característica e de freamento) e a forma de bloqueá-los.

Na terceira aula (dia 29), compareceram todos os alunos. Foi explicada a interação da radiação com a matéria (efeito fotoelétrico, efeito Compton, produção e aniquilação de pares) e suas influências em radiodiagnóstico (imagem e absorção da radiação pelo paciente), bem como em outros fatores do nosso dia-a-dia, conforme se pode ver, mais detalhadamente, nos apêndices L e M. Na sequência, foram gravadas a discussão dos alunos referentes à primeira situação-problema.

Posteriormente, os alunos foram divididos em três grupos. Cada grupo recebeu uma atividade experimental (ver seção 5.2.1 Descrição das aulas e diário de bordo). O restante da aula (30 minutos) foi utilizado para interagirem com as atividades experimentais (exceto a do celular). Incentivou-se o uso simultâneo das simulações computacionais para facilitar a compreensão dos conceitos físicos envolvidos. Optou-se que os alunos realizassem as atividades experimentais mais simples, pois não tinham ainda conhecimentos sobre o assunto. Na sequência, começaram a fazer o V para apresentar aos demais.

Na quarta aula (dia 30), estiveram todos os alunos. Esses terminaram inicialmente de fazer o V e o apresentaram para os demais. Posteriormente, começou-se a trabalhar com os alunos a segunda parte do curso.

Como muitos tópicos de Física os alunos não tinham visto, conforme mencionado anteriormente, o curso estava mais lento e, devido às limitações de tempo, foram selecionados os seguintes tópicos para não serem abordados: partes da célula; reprodução celular; efeitos biológicos das radiações ionizantes; classificação dos efeitos biológicos; unidades de medida das radiações; exposição natural à radiação ionizante e acidentes nucleares.

Em seguida, foi solicitado aos alunos que respondessem a segunda e terceira situação-problema colocada na seção 5.2.5 Análises das situações-problema, porém, os alunos não tiveram argumentos para respondê-las.

Depois, continuou-se a ensinar sobre a ação direta e indireta da radiação ionizante no organismo. Em seguida, foi utilizado, como organizador prévio, um pequeno filme de apenas um minuto, com imagens de um homem desde a infância até metade de sua vida (<http://www.youtube.com/watch?v=isXe78uZbVQ>). Depois os alunos foram indagados sobre o significado dado, normalmente, à expressão meia vida. Qual foi a meia vida de vocês até o momento?

Após essa atividade, buscaram no dicionário o significado de “meia” e “vida” e a pesquisadora, então, começou a explicar o sentido de meia vida para a Física, promovendo a negociação de significados considerados relevantes por Vergnaud e Toulmin.

A interação cognitiva ocorre quando o aluno percebe as diferenças e semelhanças entre meia vida, no sentido usual da expressão, e o sentido de meia vida para a Física, assinalando suas semelhanças e diferenças.

Em seguida, foi feita uma simulação referente à meia vida do site: http://phet.colorado.edu/simulations/sims.php?sim=Alpha_Decay. Para guiar a aprendizagem sugeriu-se que os alunos respondessem as seguintes questões antes de ver o que ocorria na simulação, confrontando, posteriormente, com o predito: 1º) o que acontece com o peso atômico do Polônio quando chega à sua meia vida? 2º) o que acontece com a meia vida do Polônio se passo de 10 a 20 átomos deste elemento? 3º) o que acontece com o tempo de decaimento se passo de 10 a 20 átomos de Polônio?

Na sequência, explicou-se o funcionamento do equipamento de Raios-X, como se pode ver nos apêndices L e M.

Ao explicar o equipamento de Raios-X, foi perguntado aos alunos como eram produzidos os Raios-X no aparelho. Eles responderam corretamente, mostrando que conseguiram relacionar a produção de Raios-X nos equipamentos. Depois, começou-se a explicar sobre os geradores e suas partes constituintes, que são os transformadores, diodos, retificadores e semicondutores.

Em seguida, explicou-se a formação de imagens e a relação tela-película. Passou-se, posteriormente, a analisar as semelhanças e diferenças da mamografia em relação ao aparelho de Raios-X e as relações do kVp e do mA (miliampere) em relação à formação da imagem. Explicando, quais são as partes formadoras da imagem radiográfica (écran, chassi e filme). Chegando, conseqüentemente, as relações entre densidade radiográfica e anatômica.

Foi solicitado, nesse momento, que discutissem a segunda situação-problema, colocada na seção 5.3.5 Análise das situações-problema e mencionada no início da aula. Solicitou-se, também, que gravassem as discussões.

Começou-se a explicar a fluoroscopia. Houve necessidade de explicar as diferenças e semelhanças entre sinal digital e analógico e sobre o que são e como se comportam os meios de contraste. Passou-se a utilizar esses conceitos para explicar o funcionamento do fluoroscópio, sendo analisado o funcionamento de cada uma das partes dele, voltando, por último, ao equipamento para fazer a reconciliação integradora.

Por último, começou-se a apresentar a radioterapia, a qual é dividida em braquiterapia e teleterapia, explicando o funcionamento, a função, as diferenças e semelhanças de ambas.

No final foi gravado o debate dos alunos referente a terceira situação-problema.

Na quinta aula (dia 31- sábado pela manhã), vieram somente três alunos. Foi solicitado a eles que fizessem um mapa conceitual sobre: 1º) o equipamento de Raios-X convencional e da mamografia; 2º) fluoroscopia analógica e digital; 3º) formação de imagens analógicas e 4º) Radioterapia: Braquiterapia e Teleterapia.

Entretanto, eles conseguiram fazer, no tempo estipulado, um mapa conceitual do aparelho de mamografia e de radiologia convencional. A partir do que foi ensinado a eles e da leitura do texto potencialmente significativo, eles confeccionaram um mapa conceitual e o apresentaram das 10h30min até as 11 horas da manhã. A pesquisadora e os demais alunos fizeram várias considerações a respeito do mapa conceitual. O restante da manhã eles utilizaram para melhorar o mapa e o entregar novamente.

À tarde, foi solicitado aos alunos que lessem os textos sobre Fluoroscopia analógica e digital; formação de imagens analógicas e radioterapia: braquiterapia e teleterapia e discutissem as questões que tinham no final dos textos no grande grupo.

Por fim, foi explicado aos alunos, através de aula expositivo–dialogada, os detectores de radiação, intercalando com questões referentes ao assunto, com o objetivo de estimular o questionamento, a argumentação e o dialogo entre os alunos.

Na sexta aula (dia 07 de agosto), seis alunos vieram. Começou a aula com o filme “*The Big Bang Machine*”. Em seguida, foi respondido, em conjunto com a turma, algumas questões relativas ao filme. Na sequência, explicou-se, através de aula expositivo-dialogada, sobre tomografia e Ressonância Magnética Nuclear.

Depois, foram divididos os alunos em três duplas: detectores de radiação, tomografia e Ressonância Magnética Nuclear. Cada dupla fez um mapa conceitual sobre um dos assuntos e apresentou-o aos demais. A pesquisadora novamente fez vários questionamentos e sugestões sobre os mapas conceituais que precisaram ser novamente refeitos e reentregues.

Por fim foi feita à dinâmica das “bombinhas”. No final dos textos referentes aos assuntos estudados haviam algumas questões, estas foram utilizadas na atividade. Os alunos se dividiram em dois grupos, um de cada grupo precisava passar sobre um tapete cheio de “bombinhas”. Aquele que estourava uma devia responder uma questão, se acertava continuava na dinâmica, se errava saía. Ganhou a equipe que ficou com mais alunos no final. Para ter uma descrição mais detalhada da dinâmica ver APÊNDICE M - Material de apoio.

No último encontro (14 de agosto), foi mostrado um filme curto do *Youtube*, em que um especialista em sinuca realizava várias jogadas, com vários tipos de colisões. Buscou-se fazer relações entre as colisões existentes em uma mesa de sinuca e as existentes nos aceleradores circulares de partículas.

Posteriormente, realizou-se a última situação-problema colocada na seção 5.3.5 Análise das situações-problema. Os alunos não conseguiram explicá-la no início da aula.

Na sequência, foi assistido o filme “O Discreto Charme das Partículas Elementares” e o foi discutido através de algumas questões. Em seguida, foi realizada uma apresentação expositivo-dialogada através de *projeto multimídia*, intercalado com simulações computacionais referentes à Medicina Nuclear.

Posteriormente, foram feitas algumas indagações relativas ao trabalhado na aula expositiva. Tais questões foram debatidas em “mesa redonda”.

Em seguida, os alunos apresentaram os painéis de todos os equipamentos estudados no curso, fazendo, simultaneamente, uma linha histórica, explicando as partes principais, os conceitos físicos envolvidos, as suas vantagens e desvantagens, tanto para as pessoas quanto para o meio em que vivem, seu histórico, de modo a fazer a reconciliação integradora proposta por Ausubel (2002).

Por fim, foi gravada a discussão realizada pelos alunos em relação à última situação-problema e lhes foram entregues, para que respondessem, o pós-teste e a avaliação do curso.

5.3.2 Análise dos conhecimentos prévios

A primeira questão referia-se às características do ultrassom, na qual dois alunos acertaram e sete responderam incorretamente. Dos alunos que responderam incorretamente, seis afirmaram que as ondas ultrassônicas são ondas com frequência abaixo das audíveis pelos seres humanos, enquanto que uma assinalou que a onda ultrassônica é uma radiação ionizante. Nenhum dos alunos assinalou que as ondas ultrassônicas são prejudiciais aos seres humanos.

Na segunda questão, dois alunos responderam de maneira correta que o aparelho de Ultrassonografia transforma a energia mecânica (ultrassom) em corrente elétrica. Duas responderam incorretamente que o aparelho de ultrassom possui uma sonda composta por cristais que apresentam somente efeito piezoelétrico e uma que utiliza gel para aumentar a intensidade do som. Os demais responderam que não sabiam.

A terceira questão referia-se à produção de radiação característica. Seis alunos responderam corretamente, discordando que quando elétrons são retirados da eletrosfera do átomo (por exemplo, por uma captura eletrônica), a vacância originada é imediatamente preenchida por um elétron de orbitais inferiores. Três concordaram com essa afirmação, respondendo incorretamente.

A quarta questão referia-se à radiação de freamento. Houve uma pessoa que afirmou não saber. Seis alunos responderam, corretamente, que quando um elétron (negativo), ao passar nas proximidades de um núcleo (positivo), experimenta uma força de atração elétrica e é desviado de sua direção original. Ao variar de direção, o elétron transforma energia cinética em energia luminosa. O processo descrito é chamado de emissão de radiação por freamento. Dois alunos discordaram com essa afirmação, que é verdadeira.

Na quinta questão, quatro alunos acertaram, três não souberam e duas discordavam que o efeito fotoelétrico possui várias aplicações, como, por exemplo, levar as informações que nossos olhos captam até o cérebro, mais especificamente ao córtex visual. O efeito fotoelétrico é a capacidade da luz, ao incidir sobre um material, arrancar elétrons. As ondas eletromagnéticas são compostas por fótons (pacotes de energia) que, ao incidirem sobre um elétron, podem dar a ele energia suficiente para se desprender do átomo (efeito fotoelétrico).

Na sexta questão, um aluno discordou, corretamente, cinco não souberam responder e três concordaram que, no efeito Compton, diferentemente do efeito fotoelétrico, o elétron não possui energia suficiente para se desprender do átomo, pois apenas absorve toda, ou em parte, a energia do fóton. Quando o elétron absorve toda a energia do fóton, ele muda para uma camada mais externa. Ao retornar, o elétron emite a radiação absorvida. Quando absorve apenas parte da radiação, há duas ondas: uma decorrente da mudança de camada e outra devido ao desvio da radiação incidente, ocasionada pela incidência do fóton no elétron, conforme previsto pela conservação do momento angular.

Na sétima questão, nenhuma pessoa errou, quatro assinalaram “não sei” e cinco alunos responderam corretamente que: os processos de aniquilação e de produção de pares surgiram da necessidade de se explicar os resultados da equação de Dirac, que tem como soluções uma energia negativa e uma energia positiva. Dirac assumiu que os níveis de energia negativa estavam todos ocupados, de modo que os elétrons de energia positiva não poderiam cair em um “buraco” da energia negativa. Esse “buraco” de energia negativa é interpretado como uma antipartícula (antimatéria), por exemplo, um pósitron. O processo inverso pode ocorrer, se um elétron de energia positiva cair em um “buraco”; nesse caso seria emitido um fóton e o elétron seria aniquilado pelo “buraco”.

Na oitava questão seis acertaram, três não souberam responder e nenhum discordou que: se há duas bobinas, elas vão funcionar a partir do seguinte processo: corrente elétrica alternada na primeira bobina gera um campo magnético variado entre a primeira e a segunda bobina, que, por sua vez, produz nela uma corrente elétrica alternada na segunda bobina.

Na nona questão, sete alunos responderam corretamente que os Raios-X são um tipo de radiação eletromagnética ionizante. Uma respondeu, incorretamente, que os Raios-X são produzidos quando elétrons de baixa energia são subitamente desacelerados. Outra pessoa que os Raios-X necessitam de um meio material para se propagar, não se propagam no vácuo.

Nenhum respondente afirmou que os Raios-X podem ser bloqueados por chumbo e a espessura não dependerá da energia dos Raios-X.

A décima questão quatro alunos não souberam responder. Duas responderam incorretamente (concordaram). Três discordaram que no intensificador, a imagem é produzida de acordo com a seguinte sequência: fótons de luz são transformados em fótons Raios-X, que geram corrente elétrica e esta em imagem.

A décima primeira questão sete alunos responderam que não sabiam respondê-la. Dois alunos responderam que concordavam, incorretamente, que a fluoroscopia trabalha com doses de radiação maiores do que os demais equipamentos de Raios-X, dessa forma, embora o tempo de exposição seja o mesmo, as doses de radiação que chegam aos pacientes são maiores na fluoroscopia.

A décima segunda questão cinco alunos afirmaram não saber. Um respondeu corretamente. Três discordaram que quando se aumenta o valor do kVp, aumenta-se também a energia dos Raios-X e, conseqüentemente, a capacidade de penetração da radiação no paciente, afetando com isso o contraste da imagem. Para valores baixos de kVp, os fótons não possuem energia suficiente para atravessar o paciente, sendo absorvidas, o que requer uma maior dose de radiação. Portanto, mantido o mesmo valor para a corrente elétrica (medida em miliampères), quanto menor o valor de kVp, mais clara será a imagem.

Na décima terceira questão três alunos afirmaram que não sabiam, cinco responderam corretamente. Um discordou que os Raios-X chegam inicialmente ao écran, uma película que, em contato com os Raios-X, produz luz que impressiona o filme onde a imagem é produzida. O filme é protegido pelo chassi radiográfico (feito de chumbo), que impede que o filme seja sensibilizado por outras radiações.

A décima-quarta questão cinco alunos responderam que não sabiam, quatro responderam corretamente. Nenhum concordou que, se o tecido orgânico tiver maior densidade, a imagem será mais escura no exame de Raios-X convencional e, portanto, terá maior densidade radiográfica. Os fótons que são atenuados ou espalhados atingirão o écran, com maior intensidade, em função da espessura do paciente e da densidade do tecido, produzindo assim uma imagem com diferentes níveis de cinza.

A décima quinta questão três alunos erraram, três não sabiam e três concordaram que o contraste é definido pela diferença entre a densidade Óptica dos objetos. Os componentes que podem ser radiografados são músculos, fluidos, tecido adiposo, gases e ossos, sendo que os três primeiros possuem densidades similares e, por isso, possuem pouco contraste na imagem radiográfica.

A décima sexta questão seis alunos não souberam responder, três responderam corretamente. Nenhum discordou que a radioterapia é um método de tratamento que consiste na destruição de células cancerígenas, em especial na fase de multiplicação celular, utilizando radiações ionizantes eletromagnéticas (Raios-X e Raios gama) e radiações corpusculares (partículas alfa e beta), que são de elevada frequência e, conseqüentemente, mais energéticas. A radioterapia é dividida em dois tipos: teleterapia (externa) e braquiterapia (interna).

A décima sétima questão três alunos não souberam responder, quatro responderam corretamente. Duas discordaram que os aceleradores são túneis circulares que servem para acelerar partículas até que elas atinjam energias muito elevadas e possam emitir, além de Raios-X, feixes de elétrons e nêutrons com várias energias. Um exemplo de acelerador é o ciclotron e um dos mais conhecidos ciclotrons da atualidade é o LHC (Grande Colisor de Hádrons). Os aceleradores não possuem material radioativo no seu interior.

A décima oitava questão sete alunos não souberam responder e dois afirmaram corretamente que os detectores a gás são constituídos de um tubo cheio de gás, no qual existe

um eletrodo ao longo do eixo central. Se for criada uma diferença de potencial entre o eletrodo central e a parede, de maneira que o eletrodo seja positivo e a parede negativa, então o eletrodo atrairá os elétrons produzidos por ionização dentro do tubo. Os elétrons formarão um sinal elétrico, como um pulso de elétrons ou uma corrente contínua. O sinal elétrico é amplificado e medido. Sua intensidade é proporcional à intensidade da radiação que o causou.

A décima nona questão três alunos não souberam responder, uma concordou erroneamente e cinco discordaram, corretamente, que os detectores de cintilação são formados por alguns materiais que emitem luz depois de algumas horas de terem absorvido um fóton de Raios-X. A quantidade de luz emitida é inversamente proporcional à quantidade de energia absorvida pelo material.

A vigésima questão cinco alunos não souberam e quatro responderam corretamente que os dosímetros termoluminescentes são constituídos de um material que, ao ser submetido ao calor, libera a energia excedente (gerada, p. ex., pelo contato com radiação). Essa energia emitida é medida e seu valor indica a quantidade de radiação a que o dosímetro foi exposto.

A vigésima primeira questão sete alunos não souberam responder, um respondeu incorretamente e um respondeu corretamente que no processo de luminescência estimulada opticamente, a irradiação do óxido de alumínio estimula alguns elétrons a um estado excitado. Durante o processo, uma luz laser estimula estes elétrons, fazendo com que voltem ao estado original, com a consequente emissão de luz. A intensidade da luz é proporcional à dose de radiação recebida.

A vigésima segunda questão sete alunos não souberam responder e duas responderam corretamente que os detectores de estado sólido são formados por um material à base de fósforo que cintila (emite luz) pela passagem de radiação. A luz incide no núcleo do detector e emite elétrons (efeito fotoelétrico), dando origem a uma corrente elétrica que é proporcional ao fóton (radiação) incidente.

A vigésima terceira questão quatro alunos responderam não saber, uma discordou incorretamente e quatro concordaram que no dosímetro de filme, a radiação produz alterações na densidade do filme revelado. Desta forma, pode-se quantificar a exposição da radiação, pois quanto maior for à intensidade da radiação, maior será o enegrecimento da imagem.

A vigésima quarta questão seis alunos responderam que não sabiam. Três alunos discordaram acertadamente que na tomografia computadorizada helicoidal, ao contrário da tomografia computadorizada, o emissor de radiação e os detectores fazem uma volta completa de 360° ao redor do paciente. Para isso, os cabos de fibra Óptica foram substituídos por anéis deslizantes. Uma superfície é um anel liso e a outra é um anel com contatos eletrônicos que rastreiam as informações do anel liso. Essas informações geralmente são emitidas por radiofrequência.

A vigésima quinta questão cinco alunos responderam que não sabiam, dois concordaram e dois discordaram, acertadamente, que a Ressonância Magnética Nuclear, é um exame moderno que utiliza radiação ionizante (raios gama), que são produzidos no núcleo, por isso o nome nuclear.

A vigésima sexta questão cinco alunos responderam que não sabiam, um discordou incorretamente, três responderam corretamente que a Ressonância Magnética Nuclear faz uso de campos magnéticos e radiofrequência. Na ausência de um campo magnético externo, a orientação dos spins nos tecidos é aleatória. Quando o magneto principal aplica um campo magnético, o vetor momento magnético se alinha com o campo (estado de equilíbrio). Ao se aplicar sobre os spins uma radiofrequência, eles ganham energia e mudam de orientação (estado fora de equilíbrio). Cessando o estímulo, os spins retornaram ao alinhamento original,

liberando a energia sob a forma de ondas de radiofrequência, que são captadas pelas antenas receptoras.

A vigésima sétima questão um aluno respondeu que não sabia. Oito responderam acertadamente que o Modelo Padrão, que organiza as partículas elementares e suas interações, desempenha um papel análogo à tabela periódica para os elementos químicos.

Três alunos responderam que não sabiam a vigésima oitava questão. Seis discordaram, acertadamente, que dois elementos são chamados de isótopos se possuem igual número de elétrons e diferentes números de massa, quer dizer, apresentam diferente número de nêutrons.

Na vigésima nona questão sete alunos responderam que não sabiam e dois responderam acertadamente que a Medicina Nuclear consiste na administração de radiofármaco. Um radiofármaco incorpora dois componentes: um radioisótopo, ou seja, uma substância com propriedades físicas adequadas ao procedimento desejado (partícula emissora de radiação beta ou partícula emissora de radiação gama) e uma molécula orgânica com fixação preferencial em determinado tecido ou órgão.

A trigésima questão seis alunos responderam que não sabiam. Três discordaram corretamente que os radioisótopos usados na Medicina Nuclear decaem em questão de dias, horas ou até mesmo minutos, têm níveis de radiação maiores que os Raios-X e que as tomografias computadorizadas e são eliminados pela urina ou pelas fezes.

A trigésima primeira questão seis alunos responderam que não sabiam. Três responderam corretamente que na PET, utiliza-se um radioisótopo emissor de pósitrons. Ao se chocarem, o pósitron e o elétron aniquilam-se, emitindo dois Raios gamas.

Três alunos responderam que não sabiam a última questão, três responderam corretamente. Três discordaram, erroneamente, que na PET há a emissão de dois Raios gama enquanto que na SPECT ocorre à emissão um único Raios gama.

As questões que possuem mais erros foram as questões 1 (sete erros), 2, 3, 6, 12, 15 e 32 com três erros cada uma. Foram identificados, dessa forma, os seguintes conhecimentos prévios que precisam ser corrigidos ao longo do curso:

- a maioria dos alunos pensam que as ondas ultrassônicas possuem frequência menor do que as audíveis pelos seres humanos;
- alguns alunos mostraram saber que o transdutor é formado por cristais que apresentam o efeito piezoelétrico, entretanto não sabem que o transdutor também apresenta o efeito piezoelétrico inverso;
- há confusões entre som e ultrassom, alguns alunos acham que é utilizado som no exame de Ultrassonografia;
- confusão nas energias das camadas eletrônicas, onde há mais e menos energia de ligação;
- não relacionam corretamente a diferença de voltagem entre o cátodo e o ânodo e a energia das ondas de Raios-X;
- confusão entre efeito Compton e efeito Fotoelétrico;
- não relacionam corretamente a diferença na densidade da anatomia do corpo com a produção de claros e escuros na imagem radiográfica;
- confusão entre emissão de um ou dois Raios gamas pela PET e pela SPECT.

As questões que mais da metade dos alunos afirmaram desconhecer o assunto são 6, 11, 12, 14, 16, 18, 20, 21, 22, 24, 26, 29, 30 e 31. Dessa forma, deve-se enfatizar mais durante o curso:

- as diferenças e semelhanças entre o efeito Compton e o efeito fotoelétrico;

- o que é efeito Compton, os parâmetros que devem ser seguidos para que ele ocorra, quais são as consequências na imagem radiográfica e nos malefícios da radiação no corpo humano;

- o que é efeito fotoelétrico, os parâmetros que devem ser seguidos para que ele ocorra, quais são as consequências na imagem radiográfica e nos malefícios da radiação no corpo humano;

- o funcionamento da fluoroscopia;

- a diferença entre a fluoroscopia e radiografia convencional;

- a relação entre a diferença de voltagem no equipamento de Raios-X com a energia destes;

- a relação entre a energia dos Raios-X com as características das imagens produzidas no filme;

- a relação entre a densidade do tecido orgânico com as características da imagem produzida no filme;

- a radioterapia e como ela é dividida;

- as diferenças e semelhanças entre teleterapia e braquiterapia;

- quais são as radiações usadas na radioterapia e como elas matam as células cancerígenas;

- o funcionamento de um detector a gás, relacionando-o com o efeito fotoelétrico;

- a relação entre corrente elétrica e a radiação incidente;

- o funcionamento de um dosímetro termoluminescente;

- a relação entre a radiação a que o dosímetro termoluminescente foi exposto e a radiação que ele emite quando aumenta-se a temperatura do material;

- explicar o processo de luminescência estimulada opticamente;

- relacionar a intensidade de luz emitida com a dose de radiação recebida;

- explicar o funcionamento dos detectores de estado sólido, relacionando-o com o efeito fotoelétrico;

- explicar o nível energético das camadas eletrônicas;

- diferenciar tomografia computadorizada da tomografia computadorizada helicoidal;

- a relação entre o funcionamento dos anéis deslizantes;

- o porquê de na tomografia computadorizada helicoidal os detectores e emissores fazerem uma volta de 360° em torno do paciente, enquanto que nas outras tomografias apenas fazem uma volta de 180°;

- o funcionamento da Ressonância Magnética Nuclear;

- como é formado um radiofármaco;

- o que é radioisótopo, molécula orgânica e a função de cada uma delas na PET e na SPECT;

- o funcionamento da PET e da SPECT;

- as diferenças e semelhanças entre a radiação utilizada na Medicina Nuclear dos demais exames que utilizam radiação ionizante;

- a aniquilação de pares mostrando a sua aplicação na PET.

Os demais assuntos contidos no teste (APÊNDICE E - Questionário conhecimentos prévios aplicado nos cursos) mais da metade dos alunos responderam corretamente e, portanto, podem ser utilizados como subsunçores para a ancoragem dos demais conteúdos.

5.3.3 Análise V de Gowin

Entregou-se aos alunos três atividades experimentais. A turma foi dividida em três grupos. Cada grupo fez um V para a atividade experimental que pegou. Junto com a atividade experimental havia simulações e questões para direcionar o andamento do trabalho e facilitar a compreensão.

Foram utilizados, para analisar os V entregues pelos alunos, os parâmetros propostos por Gurley (1992 apud Cappelletto, 2009, p.126), detalhados na seção 5.2.3 Análise V de Gowin.

Observa-se os diagramas construídos pelos estudantes. O V nº 3, mostrado na Figura 22, se refere à análise do funcionamento de uma atividade experimental em que colocavam-se três pratos de cores diferentes (preto, branco e azul) equidistante de uma lâmpada acesa. Os alunos precisam ver qual dos pratos esquentava mais através do tato e a partir dessa atividade fazer o V.

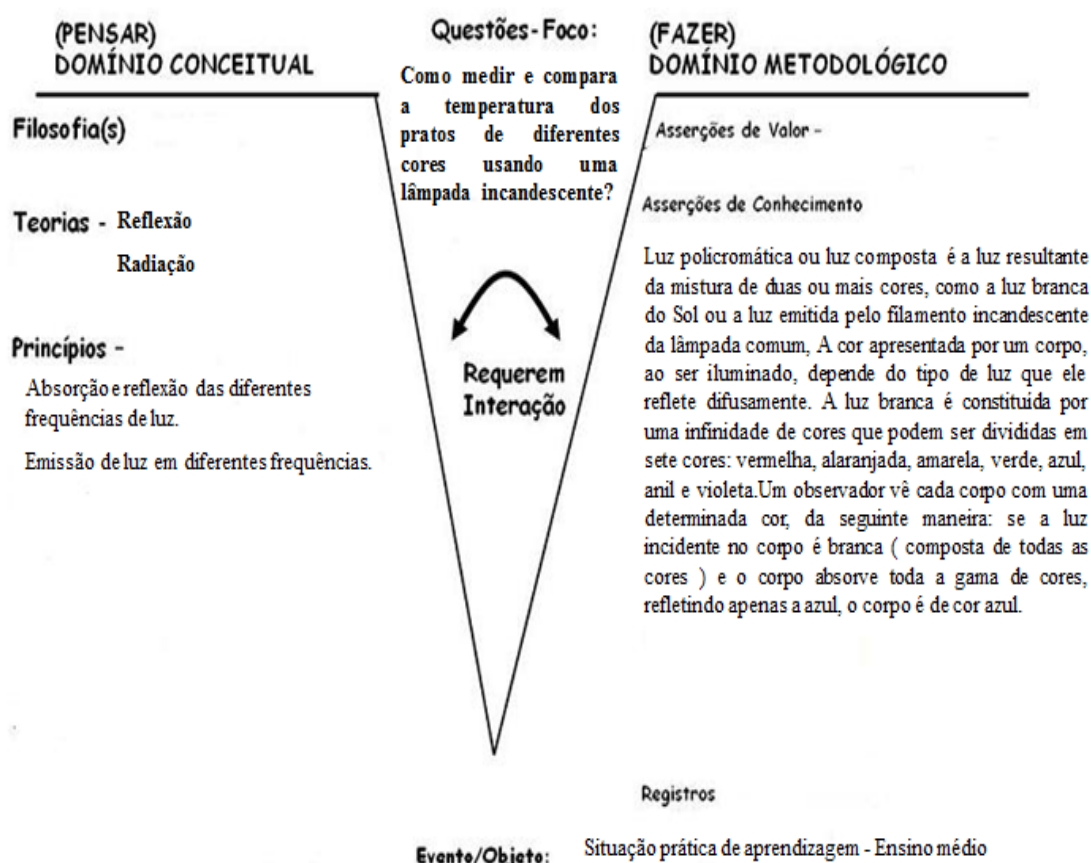


Figura 22: V número três- 3º aplicação.
Autores: Darlan e Claudia (nomes fictícios).

Como se pode ver na Figura 22, os alunos, de forma análoga ao que ocorreu na segunda aplicação, não colocaram várias informações. Faltou a filosofia, os conceitos, os registros, os dados, as transformações e as asserções de valor. Na teoria os alunos colocaram ideias mais gerais do que os princípios. O evento/objeto não possui relação com a atividade

experimental, a asserção de conhecimento não está respondendo a questão-foco, ou seja, fizeram um V com vários equívocos.

Utilizando os critérios do ANEXO A - Critérios para avaliar os V construídos pelos estudantes, tem-se: teorias, princípios e conceitos (0); evento (1); registros, dados e transformações (0); asserções de conhecimento (1); asserções de valor; (0), questão básica (2); nova questão foco (0). Total: 4 pontos.

O V nº 4, mostrado na Figura 23, se refere à análise do funcionamento de dois polaróides. Os alunos precisavam organizá-los com diferentes ângulos uns sobre os outros e fazerem anotações das observações feitas quanto a intensidade de luz que passava por eles e a partir dessa atividade fazer o V.

Os alunos apenas não colocaram a filosofia e a nova questão foco. O único ponto que apresenta problema é o evento que não está relacionado à atividade experimental. Utilizando os critérios do ANEXO A - Critérios para avaliar os V construídos pelos estudantes, tem-se: teorias, princípios e conceitos (4); evento (0); registros, dados e transformações (4); asserções de conhecimento (4); asserções de valor (1); questão básica (3); nova questão foco (0). Total: 16 pontos.

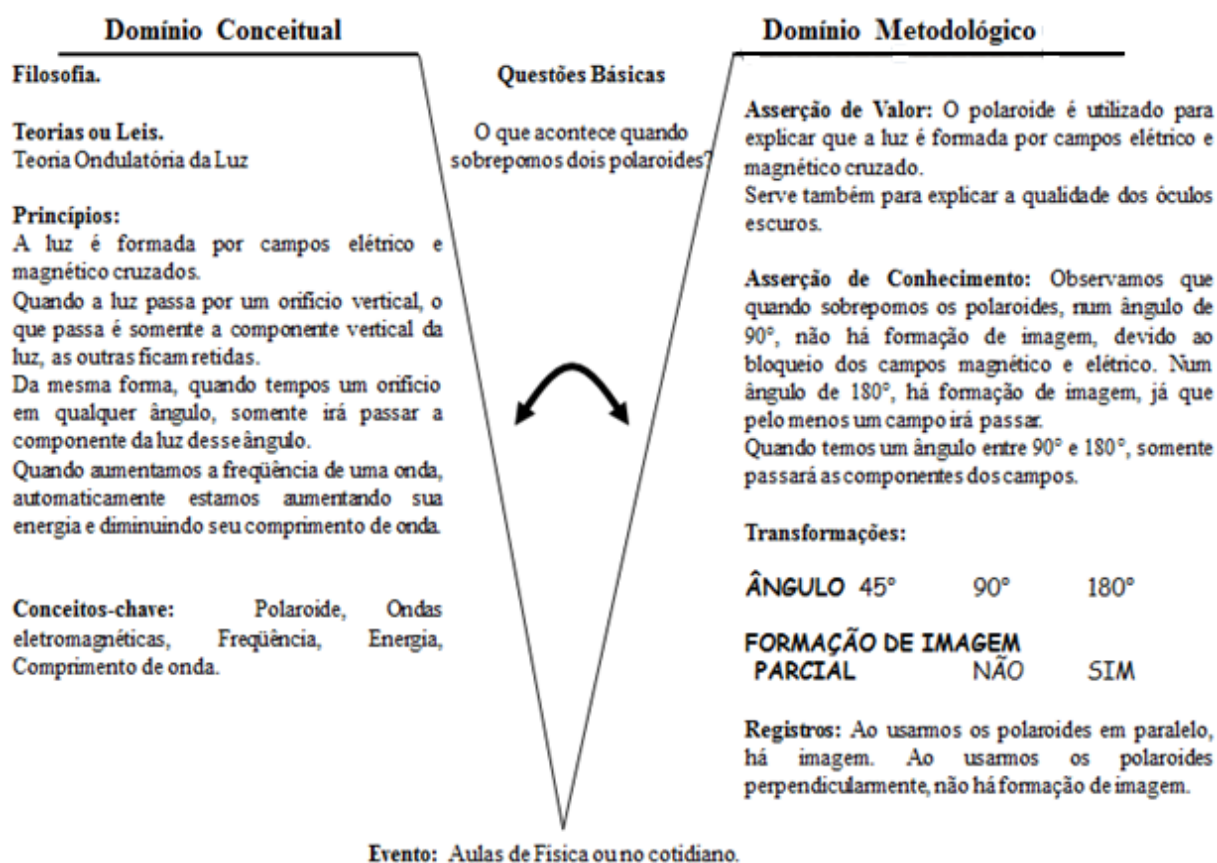


Figura 23: V número quatro- 3ª aplicação.
Autores: Rafael, Juca, Tatiana (nomes fictícios).

O V nº 5, mostrado na Figura 24, se refere à percepção das cores.

Os alunos apenas não colocaram a filosofia, as transformações e a nova questão foco. A questão base está incorreta, pois não é direcionada ao objetivo do experimento, que é ver que cor os objetos apresentam sob determinados filtros quando expostos a luz branca. Entretanto, a asserção de conhecimento está respondendo a tal questão e as asserções de valor

condiz com a importância da realização do experimento, descrevendo a utilidade da asserção de conhecimento.

Utilizando os critérios do ANEXO A - Critérios para avaliar os V construídos pelos estudantes, há: teorias, princípios e conceitos (4); evento (0); registros, dados e transformações (2); asserções de conhecimento (3); asserções de valor (1); questão básica (2); nova questão foco (0). Total: 12 pontos.

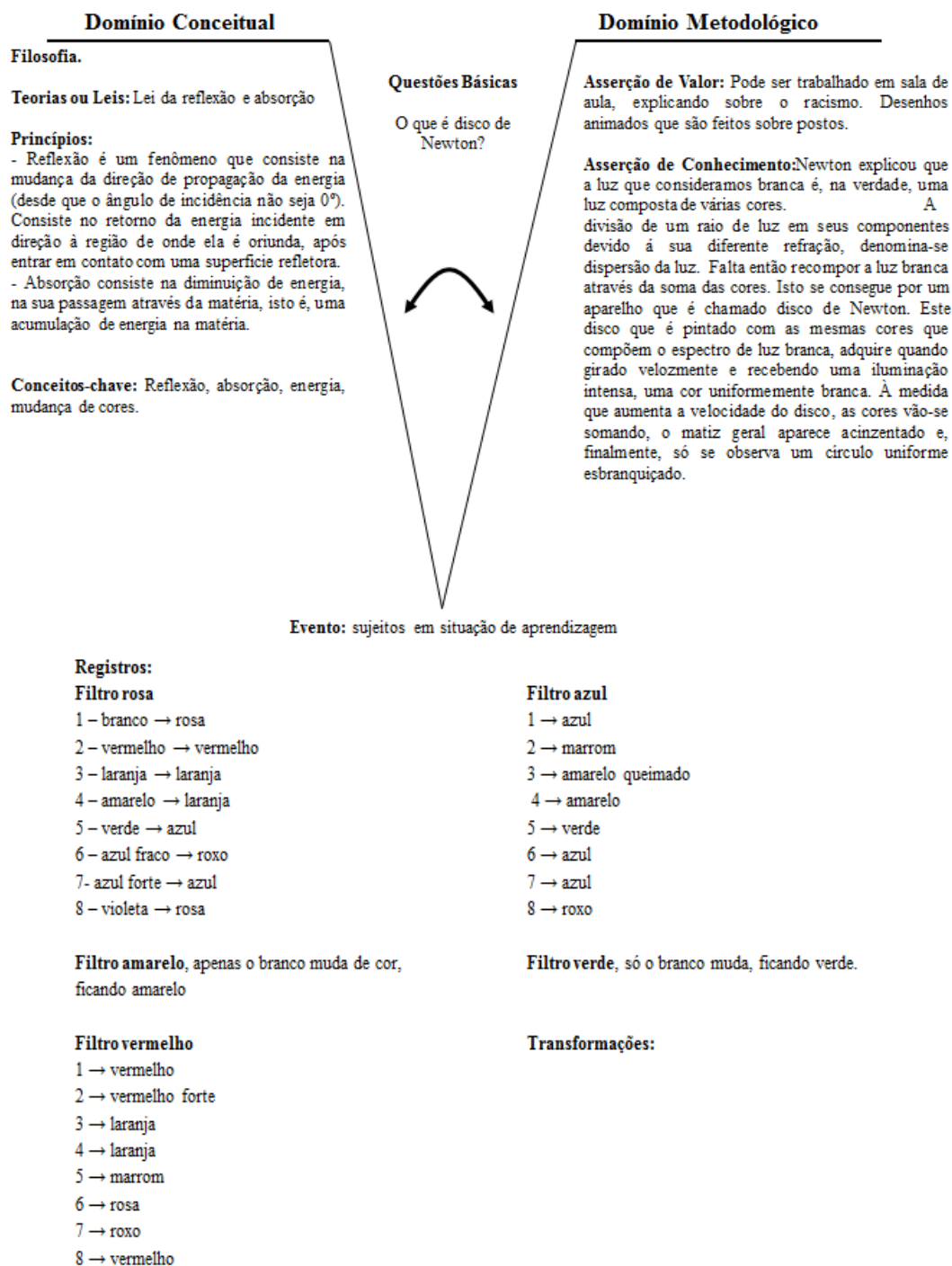


Figura 24: V número cinco- 3ª aplicação.
Autores: Catiane, Carlos e Raquel (nomes fictícios).

A partir da análise dos três V pode-se obter como conclusão para a partir da quarta etapa (pois a segunda e terceira aplicação foram feitas simultaneamente):

- utilizar mais atividades experimentais, de preferência uma por dupla (por uma questão de tempo não foi possível implementar, na outra aplicação do curso, esse item);
- solicitar aos alunos que façam todas as atividades experimentais (por uma questão de tempo não foi possível implementar, na outra aplicação do curso, esse item);
- explicar aos alunos o que são conceitos;
- enfatizar a importância de ser colocado uma nova questão, já que nenhum dos grupos a colocou;
- terminar a atividade em sala de aula;
- pedir aos alunos em um encontro anterior para trazerem livros e materiais sobre o assunto, para fomentar a pesquisa pelos alunos, para tornar o V mais rico, ou seja, com mais informações;
- explicar para os alunos quais são os critérios de avaliação do V;
- dar oportunidade para os alunos, assim como nos mapas conceituais, refazerem o V.

5.3.4 Análise mapas conceituais

Nesta terceira aplicação foi solicitado, como tarefa extraclasse, que os alunos fizessem onze mapas conceituais sobre os conteúdos abordados no curso. Estes mapas eram entregues a pesquisadora, corrigidos, re-entregues aos alunos que deveriam corrigi-los e reenviá-los. Entretanto, muitos mapas conceituais não foram corrigidos e reenviados pelos alunos.

Os mapas foram avaliados a partir de sua evolução (quando o aluno corrigiu o mapa e reenviou), conforme proposto por Araújo (2003, p. 292) ou de forma não evolutiva, como foi feito a análise nas duas primeiras aplicações do curso.

Foi analisado todos os mapas conceituais de três formas: 1) se os conceitos principais são destacados nos mapas conceituais, ou seja, se há uma hierarquia; 2) a partir de uma lista pré-definida de conceitos considerados relevantes, foram contados nos mapas dos alunos quantos destes conceitos estavam presentes; 3) a terceira categoria de análise utilizada foi as implicações, como proposto por Dutra (2004, p. 8), vista na seção 5.1.3.2. Formas de analisar os mapas conceituais.

Foram desenvolvidos, pelos alunos, 27 mapas conceituais, sendo que destes, apenas 6 foram corrigidos pelos alunos e reenviados, conforme pode-se observar na Tabela 18.

Tabela 18: análise mapas conceituais aplicação 3- Hierarquia.

Assunto do mapa	Quantidade de mapas	Há hierarquia	Não há hierarquia	Quantidade de mapas corrigidos	Há hierarquia	Não há hierarquia
Ultrassonografia	3	2	1	2	1	1
Interação da radiação com a	4	4	0	2	1	1

matéria						
Produção de radiação	4	3	1	1	1	0
O equipamento de Raios-X Convencional e da Mamografia	3	1	2	1	1	0
Imagem radiológica	3	3	0	0	0	0
Fluoroscopia	3	3	0	0	0	0
Radioterapia	1	1	0	0	0	0
Tomografia	2	2	0	0	0	0
Detectores de radiação	3	3	0	0	0	0
Ressonância Magnética Nuclear	1	1	0	0	0	0
Medicina Nuclear: PET e SPECT	0	0	0	0	0	0
Totais	27	23	4	6	4	2

Observando a Tabela 18, percebe-se que há mais mapas que possuem hierarquia do que mapas que não possuem, fornecendo indícios de aprendizagem significativa em 27 dos 33 mapas conceituais (23 não corrigidos e 4 dos corrigidos pelos alunos). Desta forma, não foi fornecido indícios de aprendizagem significativa em 6 mapas, sendo destes 4 mapas que não foram corrigidos pelos alunos e dois que foram corrigidos e reenviados.

Na Figura 25, há um mapa conceitual do aluno Darlan (*nome fictício*). Pode-se ver a presença de hierarquia, pois ele destaca as ideias principais no início do mapa e depois vai colocando as ideias menos gerais da sequência.

Na Tabela 19, há a análise dos conceitos presentes nos mapas conceituais em relação aos conceitos considerados relevantes pela pesquisadora.

As palavras em negrito na Tabela 19 representam os conceitos que o aluno colocou, mas que não foram considerados relevantes para o entendimento do aparelho.

Conforme pode-se observar na Tabela 19, nenhum primeiro mapa conceitual construído pelos alunos possui metade, ou mais, dos conceitos considerados relevantes. O único mapa conceitual que apresenta mais da metade dos conceitos é o décimo, na segunda versão. Estes dados fornecem indícios que os alunos aprenderam significativamente apenas alguns dos conceitos abordados.

Embora tenha sido falado para os alunos sobre a importância de se colocar a explicação dos mapas conceituais, nenhum dos alunos a colocou.

Observando a Tabela 19, percebe-se que apenas seis mapas foram refeitos, após o reenvio das sugestões de correções. Desses, cinco mapas conceituais aumentaram o número de conceitos relevantes apresentados e um apresentou a mesma quantidade de conceitos relevantes antes e depois das correções.

No mapa conceitual número 1 apareceu, na segunda versão, o conceito de energia que não havia aparecido no primeiro mapa conceitual feito pelo (a) aluno (a).

No mapa conceitual número 3 apareceu os conceitos de energia e de elétrons que não haviam aparecido no primeiro mapa conceitual enviado pelo aluno.

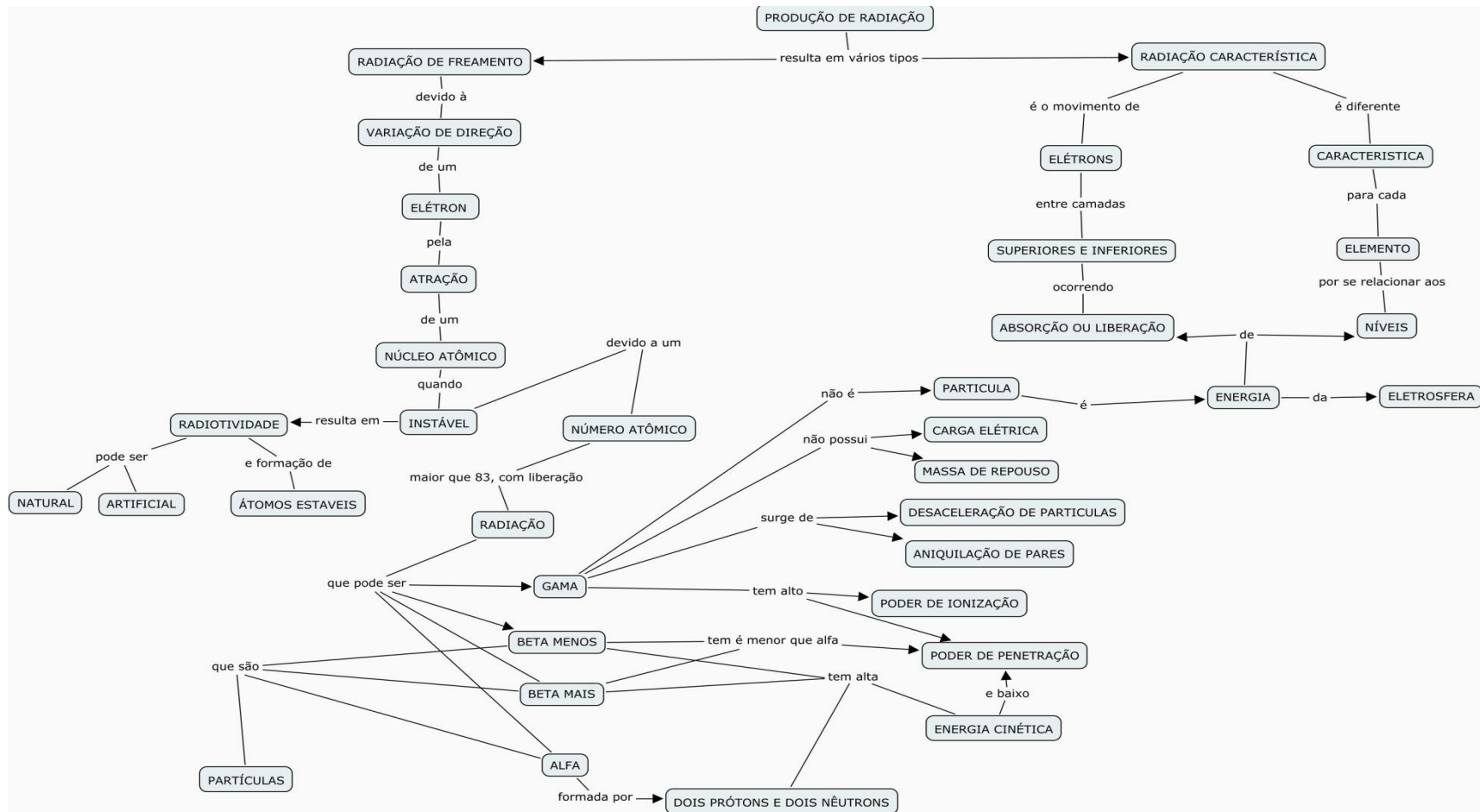


Figura 25: mapa conceitual do aluno Darlan representando a hierarquia.

No mapa conceitual número 4 apareceu o Efeito Compton que não havia aparecido no primeiro mapa enviado pelo aluno.

No mapa conceitual número 6, o (a) aluno (a) tirou um conceito que foi considerado relevante, o conceito de corrente elétrica, o que forneceu indícios de que o aluno (a) não aprendeu significativamente tal conceito. Em contrapartida colocou os seguintes conceitos no segundo

mapa que não estavam presentes no primeiro: aniquilação de pares, radiação eletromagnética, ondas, radiação, campo magnético, fornecendo índios de aprendizagem significativa, pelo aluno, nestes cinco conceitos.

Tabela 19: análise mapas conceituais aplicação 3- quantidade de conceitos apresentados pelos alunos.

Assunto do mapa.	Conceitos relevantes.	Grupo.	Alunos (nomes fictícios).	Conceitos relevantes utilizados: antes de o professor corrigir.	Quantidade de conceitos relevantes utilizados: antes de o professor corrigir.	Conceitos relevantes utilizados: depois do professor corrigir.	Quantidade de conceitos relevantes utilizados: depois de o professor corrigir.
Ultrassonografia	Ondas longitudinais, ondas de ultrassom, ondas eletromagnéticas, ondas mecânicas, energia, frequência, comprimento de onda, corrente elétrica, campo magnético, campo elétrico, elétron, próton (número atômico), absorção, camadas eletrônicas, molécula, polarização, campo magnético variado, eletrosfera, densidade, impedância acústica, velocidade, pressão, força, área, reflexão, refração, fóton, ondas, ressonância. Conceitos relevantes: 29.	1.	Claudia	ultrassom, ondas longitudinais, reflexão, espalhamento , absorção, intensidade , frequência, potência .	5	ultrassom, onda longitudinal, absorção, atenuação , frequência, reflexão, espalhamento , intensidade , energia, ondas sonoras , penetração , imagem , transdutor .	6
		2.	Catiane e Raquel	Reflexão, impedância acústica, intensidade , velocidade, distância , atenuação , onda sonora , absorção, calor , frequência, ultrassom, penetração , imagem , eco , amplitude , som , ondas longitudinais, pressão, refração, interferência , difração , ondas sonoras , efeito piezoelétrico , eletricidade , ressonância natural.	10		
		3.	Rafael	Sinal elétrico, ondas eletromagnéticas, voltagem , ondas de ultrassom, imagem , reflexão,	7	Equipamento de Ultrassonografia , voltagem ,	9

				ondas, densidade, eco , pressão, corrente elétrica.		corrente elétrica, ondas eletromagnéticas, vibrações , energia, pressão, eco , ondas ultrassônicas, reflexão, onda, densidade, efeito fotoelétrico , luz , elétrons.	
Interação da radiação com a matéria	Ondas eletromagnéticas, energia, frequência, comprimento, elétron, próton (número atômico), ionização, pósitron, matéria e antimatéria, radiação, absorção, espalhamento, emissão de radiação, corrente elétrica, voltagem, fóton, camadas eletrônicas, momento, massa, velocidade, eletrosfera, densidade, trabalho, energia cinética, aniquilação e produção de pares, efeito fotoelétrico e Compton, onda. Conceitos relevantes: 30.	4.	Claudia	Eletrosfera , camadas eletrônicas, absorção, energia, fótons, radiação eletromagnética, efeito fotoelétrico, elétrons, Raios-X , raios gama , matéria, produção de pares, pósitron, dose , radiação ionizante.	11	Efeito Compton, Raios-X , raios gama , matéria, eletrosfera , camadas eletrônicas, absorção, energia, fótons, radiação eletromagnética, efeito fotoelétrico, pósitron, elétron, dose , produção de pares, radiação ionizante.	12
		5.	Catiane e Raquel	Interação da radiação com a matéria , absorção, energia, radiação ionizante, tempo , elétron, pósitron, átomos , camada eletrônica, fótons, efeito fotoelétrico, efeito Compton, produção de pares.	10		
		6.	Rafael	Efeito fotoelétrico, efeito Compton, produção de pares, radiação gama , Raios-X , núcleo , átomo , energia , elétron, pósitron, corrente elétrica, matéria, energia.	8	Interação da radiação com a matéria , energia, efeito fotoelétrico, efeito Compton, produção e aniquilação de pares, partícula ,	12

						radiação eletromagnética, Raios-X e raios gama , ondas, radiação, núcleo, átomo , campo magnético, elétron, pósitron, matéria, partícula, antipartícula.	
		7.	Darlan	Interação da radiação com a matéria , eletrosfera, camadas eletrônicas, absorção, energia, fótons, radiação eletromagnética, efeito fotoelétrico, produção de pares, elétron, pósitron, energia, dose, radiação ionizante.	11		
Produção de radiação	Ondas eletromagnéticas, energia, onda, frequência, comprimento, elétron, próton (número atômico), nêutron, ionização, atração, repulsão, força nuclear forte, fraca e elétrica, pósitron, matéria, antimatéria, radiação, absorção, fóton, radioatividade, camadas eletrônicas, momento, massa, velocidade, núcleo, eletrosfera, partícula, corrente elétrica, voltagem, aniquilação de pares, Raios-X, radiação alfa, beta e gama. Conceitos relevantes: 35.	8.	Claudia	Radiação alfa, beta e gama, Raios-X, elétrons, absorção, radiação, energia, núcleo, instabilidade , radioatividade, próton (número atômico), penetração, ionização , aniquilação de pares, partícula, massa, carga elétrica.	14		
		9.	Catiane e Raquel	Elétron, núcleo, radioatividade, núcleos instáveis, átomos estáveis , radiação, alfa, beta, gama, próton, nêutron, aniquilação de pares, partícula, massa, carga elétrica , elétrons, absorção, energia, ionização, penetração.	16		
		10.	Rafael	Produção de radiação , alfa, beta, gama, Raios-X, núcleo, partícula carregada, antipartículas , energia, nêutrons, prótons, instabilidade , átomos, núcleo, eletrosfera.	12	Raios-X, partículas alfa, beta e gama, núcleo atômico, elétron, energia, eletrosfera, camada eletrônica, atração,	18

						trajetória, nêutron, átomo, pósitron, próton, partícula carregada, força elétrica, aniquilação de pares, fóton, força nuclear forte, estabilidade.	
		11.	Darlan	Elétrons, absorção, energia, atração, núcleo atômico, gama, alfa, beta, partículas, nêutrons, prótons, ionização, penetração, aniquilação de pares, carga elétrica, massa de repouso, partícula, absorção e eletrosfera.	17		
O Equipamento de Raios-X Convencional e da Mamografia	Cátodo, anodo, energia, voltagem, corrente elétrica, frenagem, número atômico, força elétrica, elétron, diodo, retificador, onda, onda eletromagnética, ponto de fusão, velocidade, fótons, absorção, frequência, comprimento de onda, conservação de energia, transformação de energia, radiação ionizante, Raios-X, chumbo, radiação, número atômico (próton), densidade, frequência, camada eletrônica, efeito fotoelétrico, luz. Conceitos relevantes: 30	12.	Rafael, Darlan e Juca	Mamografia, ânodo, voltagem, corrente elétrica, Raios-X, luz, imagem, fótons, elétrons, densidade, energia, radiação.	10	Voltagem, corrente elétrica, densidade, radiação, energia, elétron, Raios-X, onda, fóton, luz, cátodo, imagem, fósforo de entrada e de saída.	10
		13.	Catiane e Raquel	Raios-X, número atômico, elétron, energia, densidade, fótons, absorção, densidade, radiação, núcleo, anodo, cátodo, corrente elétrica, calor, absorção.	14		
		14.	Claudia	Raios-X, tempo, energia, potência, ionizante, transformador, diodo, retificador, voltagem, corrente elétrica, chumbo, frequência, retificador, absorção, efeito fotoelétrico, densidade, número atômico.	14		

Imagem radiológica	Corrente elétrica, carga, voltagem, cátodo, ânodo, elétron, próton (número atômico), velocidade, gerador, onda eletromagnética, filamento, energia, dose, tempo, Raios-X, fótons, efeito fotoelétrico, efeito Compton e produção de pares, densidade, absorção, chassi, chumbo, écran, camada eletrônica, luz, filme, radiação, claro e escuro, velocidade, penetração, contraste. Conceitos relevantes: 31.	15.	Rafael	Corrente elétrica, voltagem, dose , energia, fóton, cátodo, anodo, velocidade, elétrons, Raios-X, penetração, absorção, imagem , écran, luz.	13		
		16.	Catiane e Raquel	Raios-X, écran, luz, filme, chassi, imagem , fóton, radiações.	7		
		17.	Claudia	Imagem , écran, velocidade, densidade, voltagem, corrente elétrica, radiação, densidade, contraste, emulsão .	8		
Fluoroscopia	Corrente elétrica, resistência elétrica, carga, voltagem, potência, gerador, retificador, meios de contraste, sinal analógico, sinal digital, densidade, número atômico, voltagem, absorção, emissão, nêutrons, Raios-X, camada eletrônica, onda eletromagnética, decaimento radioativo, campo magnético, chumbo, filtro, colimador, fóton, contraste, elétron, efeito fotoelétrico, densidade radiação. Conceitos relevantes: 29.	18.	Catiane e Raquel	Raios-X, colimador, contraste, densidade, absorção, fótons, elétron, efeito fotoelétrico, radiação, voltagem, densidade.	11		
		19.	Juca	Sinal analógico, sinal digital, bits , gerador, Raios-X, colimador, meio de contraste, densidade, radiação, intensificador , efeito fotoelétrico, elétrons, cátodo , fósforo, fóton.	12		
		20.	Claudia	Raios-X, contraste, densidade, fótons, efeito fotoelétrico, elétrons.	6		
Radioterapia	Corrente elétrica, resistência elétrica, voltagem, absorção, emissão, elétron, pósitron, nêutrons, Raios-X, Raios gama, alfa, beta, onda eletromagnética, decaimento radioativo, campo magnético, chumbo, colimador, atividade radioativa, meia vida, emissão nuclear, tempo, dose, isótopo, radiação, próton. Conceitos relevantes: 25.	21.	Catiane e Raquel	Radiações, alfa, beta, Raios-X, gama, partícula, indução eletromagnética , campo magnético variável , bobina , velocidade , próton, nêutron, energia.	9		
Tomografia	Efeito fotoelétrico, ondas eletromagnéticas, frequência, energia, comprimento de onda, fótons, absorção, corrente elétrica, ionizantes, elétrons,	22.	Claudia	TC, TC Helicoidal, Tomografia Linear,	3		

	níveis energéticos, luz, TC, TC Helicoidal, Tomografia Linear, anel liso, anel deslizante, voltagem, corrente, tempo, dose, transformador, potência, gerador, retificador, ânodo, cátodo, filtro, blindagem, ionização, absorção e dispersão da radiação, voltagem, número atômico, excitação elétrica, Raios-X, colimador, radiação. Conceitos relevantes: 38	23.	Catiane e Raquel	Raios-X, imagem, radiação, TC, ondas, produção de radiação , efeito fotoelétrico, corrente elétrica, voltagem, radiação, tomografia computadorizada helicoidal de múltiplos cortes, detectores .	10		
Detectores de Radiação	Ionização, elétrons, corrente elétrica, voltagem, ondas eletromagnéticas, Raios-X, raios gama, radioatividade, efeito fotoelétrico, fotodiodo, camada eletrônica, laser, calor, luz, cintilação, estado sólido, térmicos, óptico, gás, absorção e excitação elétrica, radiação, ionização, fóton. Conceitos relevantes: 23.	24.	Catiane e Raquel	Radiação, gás, termoluminescência, cintilação, voltagem, pressão, dosímetro , calor, luz, elétrons, efeito fotoelétrico, energia , ionização.	10		
		25.	Darlan, Juca	Detector, gás, radiação ionizante, ionização, corrente elétrica, voltagem, eletrodo , elétrons, amplificador, prótons, nêutrons .	7		
		26.	Rafael	Detectores de radiação , a gás, ionização, efeito fotoelétrico, eletrodo , voltagem, corrente elétrica, dinodos , efeito fotoelétrico, radiação, semicondutores , luz, termoluminescência, dose , laser, luz , núcleo, fóton.	11		
Ressonância Magnética Nuclear	Radiofrequência, campo magnético, ressonância, spin, momento do spin, hidrogênio, nêutrons, prótons, elétrons, frequência, comprimento, energia, ondas, antena, corrente elétrica, excitação eletrônica, fótons, nível energético de equilíbrio, momento, densidade, luz. Conceitos relevantes: 21.	27.	Catiane e Raquel	Radiação ionizante , campo magnético, spins, imãs , onda, radiofrequência, elétrons, átomos , corrente elétrica, onda eletromagnética , frequência, energia.	8		
Medicina Nuclear: PET e SPECT	Energia, massa, velocidade, conservação de energia e do momento, raios gama, radiação beta, nêutron, próton, elétron, neutrino, força nuclear forte, força nuclear fraca, força elétrica, meia vida, radiofármacos, radioisótopos, molécula orgânica, aniquilação de pares, atividade radioativa. Conceitos relevantes: 20.	28.	Ninguém				

O mapa 10 foi o que apresentou maior evolução em relação a primeira versão. O aluno colocou sete conceitos a mais no segundo mapa. Esses conceitos são: elétron, camada eletrônica, pósitron, força elétrica, aniquilação de pares, fóton e força nuclear forte. Fornecendo indícios de aprendizagem significativa em tais conceitos.

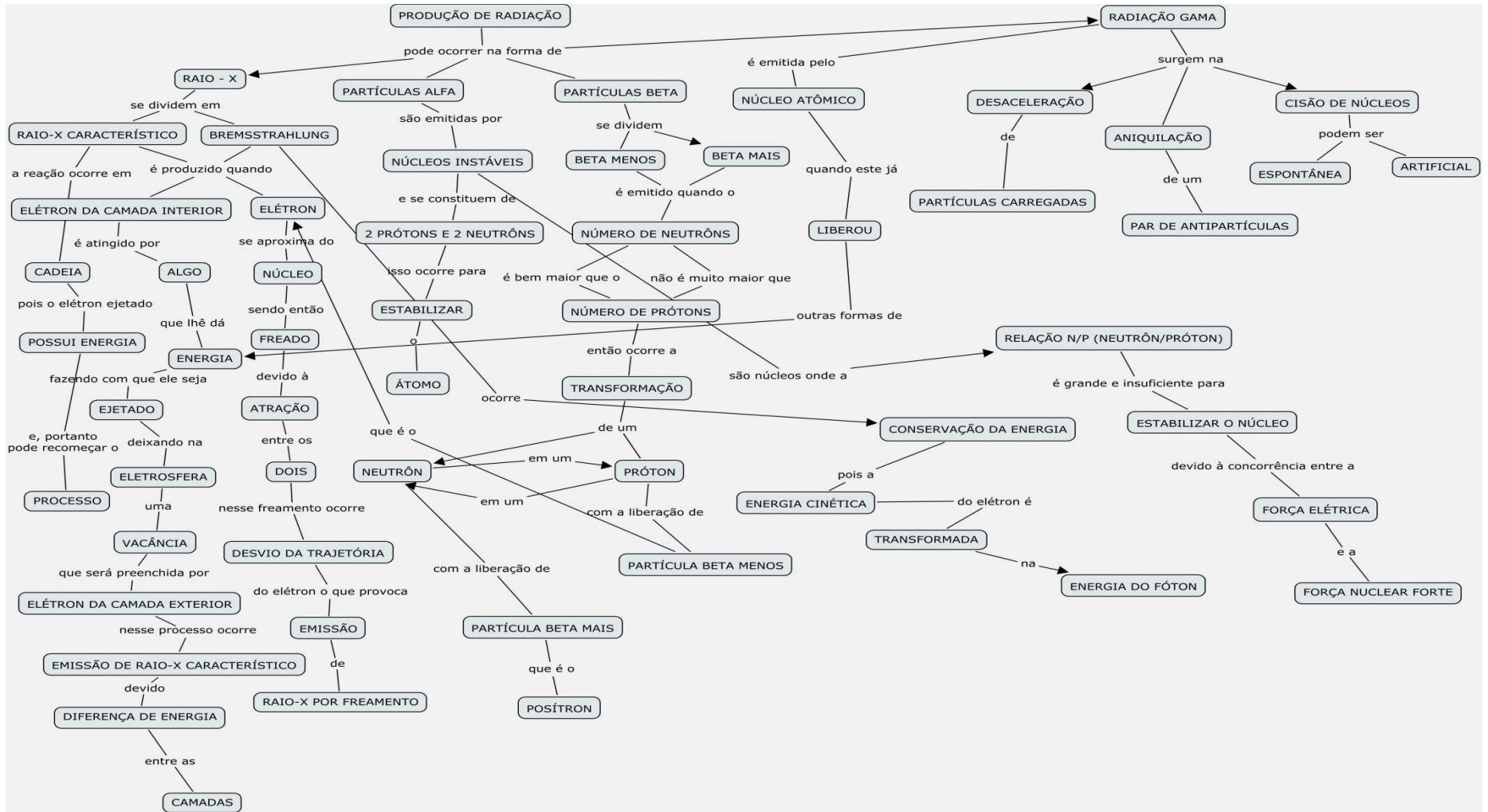


Figura 27: mapa conceitual número 10 feito pelo aluno Rafael depois da correção.

No mapa 12 houve a mesma quantidade de conceitos no primeiro e no segundo mapa. Entretanto, no primeiro mapa estava presente o conceito de ânodo que não aparece no segundo mapa conceitual. No segundo mapa apareceu o conceito de onda que não está presente no primeiro mapa, o que forneceu indícios de aprendizagem significativa desse conceito e possível aprendizagem mecânica do conceito ânodo.

A Figura 26 contém o décimo mapa conceitual, que é do aluno Rafael antes da correção, e a Figura 27 apresenta o mapa depois de corrigido pelo aluno. Pode-se observar que houve um aumento do primeiro para o segundo mapa em relação à quantidade de conceitos considerados significativos.

Na Tabela 20 há a divisão dos mapas conceituais segundo as categorias de análise propostas por Dutra (2004).

Tabela 20: divisão dos mapas conceituais segundo as palavras de ligação- grupo 3.

Assunto do mapa	Grupo	Alunos (nomes fictícios)	Se encaixa em qual categoria de análise- (antes correção)	Se encaixa em qual categoria de análise- (depois correção)
Ultrassonografia	1.	Claudia	1 implicação local 2 implicação sistêmica 0 implicação estrutural	5 implicação local 24 implicação sistêmica 2 implicação estrutural
	2.	Catiane e Raquel	9 implicação local 20 implicação sistêmica 2 implicação estrutural	
	3.	Rafael	2 implicação local 26 implicação sistêmica 0 implicação estrutural	2 implicação local 26 implicação sistêmica 10 implicação estrutural
Interação da radiação com a matéria	4.	Claudia	1 implicação local 0 implicação sistêmica 0 implicação estrutural	10 implicação local 20 implicação sistêmica 10 implicação estrutural
	5.	Catiane e Raquel	6 implicação local 22 implicação sistêmica 12 implicação estrutural	
	6.	Rafael	3 implicação local 0 implicação sistêmica 17 implicação estrutural	2 implicação local 0 implicação sistêmica 31 implicação estrutural
	7.	Darlan	9 implicação local 12 implicação sistêmica 14 implicação estrutural	
Produção de radiação	8.	Claudia	9 implicação local 9 implicação sistêmica	

			13 implicação estrutural	
	9.	Catiane e Raquel	7 implicação local 14 implicação sistêmica 10 implicação estrutural	
	10.	Rafael	8 implicação local 11 implicação sistêmica 18 implicação estrutural	7 implicação local 15 implicação sistêmica 27 implicação estrutural
	11.	Darlan	10 implicação local 13 implicação sistêmica 7 implicação estrutural	
O Equipamento de Raios-X Convencional e da Mamografia	12.	Rafael, Darlan e Juca	2 implicação local 15 implicação sistêmica 4 implicação estrutural	2 implicação local 24 implicação sistêmica 8 implicação estrutural
	13.	Catiane e Raquel	10 implicação local 10 implicação sistêmica 10 implicação estrutural	
	14.	Claudia	5 implicação local 21 implicação sistêmica 15 implicação estrutural	
Imagem radiológica	15.	Rafael	4 implicação local 11 implicação sistêmica 12 implicação estrutural	
	16.	Catiane e Raquel	0 implicação local 8 implicação sistêmica 0 implicação estrutural	
	17.	Claudia	10 implicação local 2 implicação sistêmica 19 implicação estrutural	
Fluoroscopia	18.	Catiane e Raquel	6 implicação local 23 implicação sistêmica 11 implicação estrutural	
	19.	Juca	7 implicação local 21 implicação sistêmica 5 implicação estrutural	
	20.	Claudia	7 implicação local	

			21 implicação sistêmica 5 implicação estrutural	
Radioterapia	21.	Catiane e Raquel	2 implicação local 31 implicação sistêmica 0 implicação estrutural	
Tomografia	22.	Claudia	6 implicação local 12 implicação sistêmica 0 implicação estrutural	
	23.	Catiane e Raquel	1 implicação local 29 implicação sistêmica 0 implicação estrutural	
Detectores de Radiação	24.	Catiane e Raquel	2 implicação local 15 implicação sistêmica 0 implicação estrutural	
	25.	Darlan, Juca	2 implicação local 21 implicação sistêmica 0 implicação estrutural	
	26.	Rafael	9 implicação local 3 implicação sistêmica 41 implicação estrutural	
Ressonância Magnética Nuclear	27.	Catiane e Raquel	0 implicação local 9 implicação sistêmica 8 implicação estrutural	
Medicina Nuclear: PET e SPECT	28.	Ninguém		

Através da Tabela 20, observa-se que dos 33 mapas confeccionados, um (antes da correção) apresenta como característica principal a implicação local, ou seja, palavras de ligação que surgem de observações diretas. Vinte e dois mapas conceituais (sendo destes 4 depois das correções), expressam relação de causa e efeito, mas não explicam o porquê de tais consequências surgirem devido a uma causa, ou seja, apresentam, como característica principal, implicações locais. Nove mapas (sendo dois depois da correção e sete antes) têm, como característica principal, a implicação estrutural, ou seja, possuem explicações e não mais descrições. Um mapa conceitual apresenta o mesmo número de implicações locais, sistêmicas e estruturais.

Esses dados indicam que dos 33 mapas feitos, 24 apresentam mais descrições do que explicações e apenas 9 mapas apresentam mais explicações do que descrições, o que não fornece indícios de aprendizagem significativa na maioria dos mapas conceituais entregues.

Entretanto, ao serem observados os mapas feitos antes e depois das correções, percebe-se que todos apresentam um aumento no número de ligações e um aumento de ligações do tipo de ligação estrutural. Fornecem, assim, indícios de aprendizagem significativa. Coloca-se na Figura 28 e na Figura 29, respectivamente, o mapa conceitual 6, antes e depois da correção. A análise dos dois mapas fornece indícios de aprendizagem significativa. Através da Figura 28 e da Figura 29 pode-se observar que se mantém o equívoco representado pelo número 1 em ambas as figuras.

No número 2, de ambos os mapas conceituais, percebe-se a conservação da proposição correta. Entretanto, na Figura 29, o aluno registrou que há necessidade de o elétron passar próximo ao núcleo, interagindo com o seu campo magnético, tornando a explicação mais completa.

Na proposição 3, contida na Figura 29, observa-se que, diferentemente da Figura 28, o aluno explica como ocorre a produção de pares. Nessa proposição há cinco implicações estruturais.

Coloca-se na Figura 30 o mapa conceitual 6 como exemplo de mapa conceitual antes da correção e na Figura 31 o mesmo mapa depois da correção. Apesar do segundo mapa apresentar mais implicações estruturais ainda prevalece descrições em detrimento das explicações.

Nos mapas da aluna Claudia (*nome fictício*), pode-se observar que, assim como a maioria dos demais mapas, não foi utilizado apenas conceitos. A aluna usou apenas três proposições (sendo duas sistêmicas e uma local), conforme pode-se observar no número 1. Muitos conceitos ficaram sem ligações como pode-se exemplificar pelo número 2 do mapa. O número 3 representa as correções sugeridas pela pesquisadora. Todas as proposições, neste mapa, são descritivas e não explicativas, não fornecendo, portanto indícios de aprendizagem significativa.

No mapa conceitual, Figura 31, podem ser observados os três tipos de implicações. No número 1, há implicações estruturais, como pode-se observar na proposição: “**ocorrem** efeitos lesivos acentuados **devido ao aumento de temperatura da** região afetada”. As palavras em negrito são exemplos de implicações estruturais.

No número dois, há um exemplo de implicação local, pode-se perceber isto pela seguinte proposição: “o ultrassom é **uma** onda longitudinal”. A palavra em negrito é um exemplo de implicação local.

No número 4, há um exemplo de implicação sistêmica: “a onda sonora é **convertida em calor situação que é aproveitada na** fisioterapia”. As palavras em negrito são exemplos de implicações sistêmicas.

Embora se possa perceber que, do mapa da Figura 30 ao da Figura 31, houve várias melhoras (mais ligações entre os conceitos, mais utilização de conceitos e menos de outros tipos de palavras, surgimento de implicações estruturais, todos os conceitos apresentam pelo menos uma ligação), mesmo assim, há poucas implicações estruturais o que indica que o mapa é bastante descritivo e pouco explicativo.

Com no segundo mapa da aluna, também houve falta de informações consideradas relevantes, equívocos, mais descrição do que explicação, e também foram colocadas sugestões de correções do mapa. Essas sugestões estão representadas, na Figura 31, pelo número 3.

Foram extraídas, dessa análise, as seguintes conclusões para as próximas aplicações do curso:

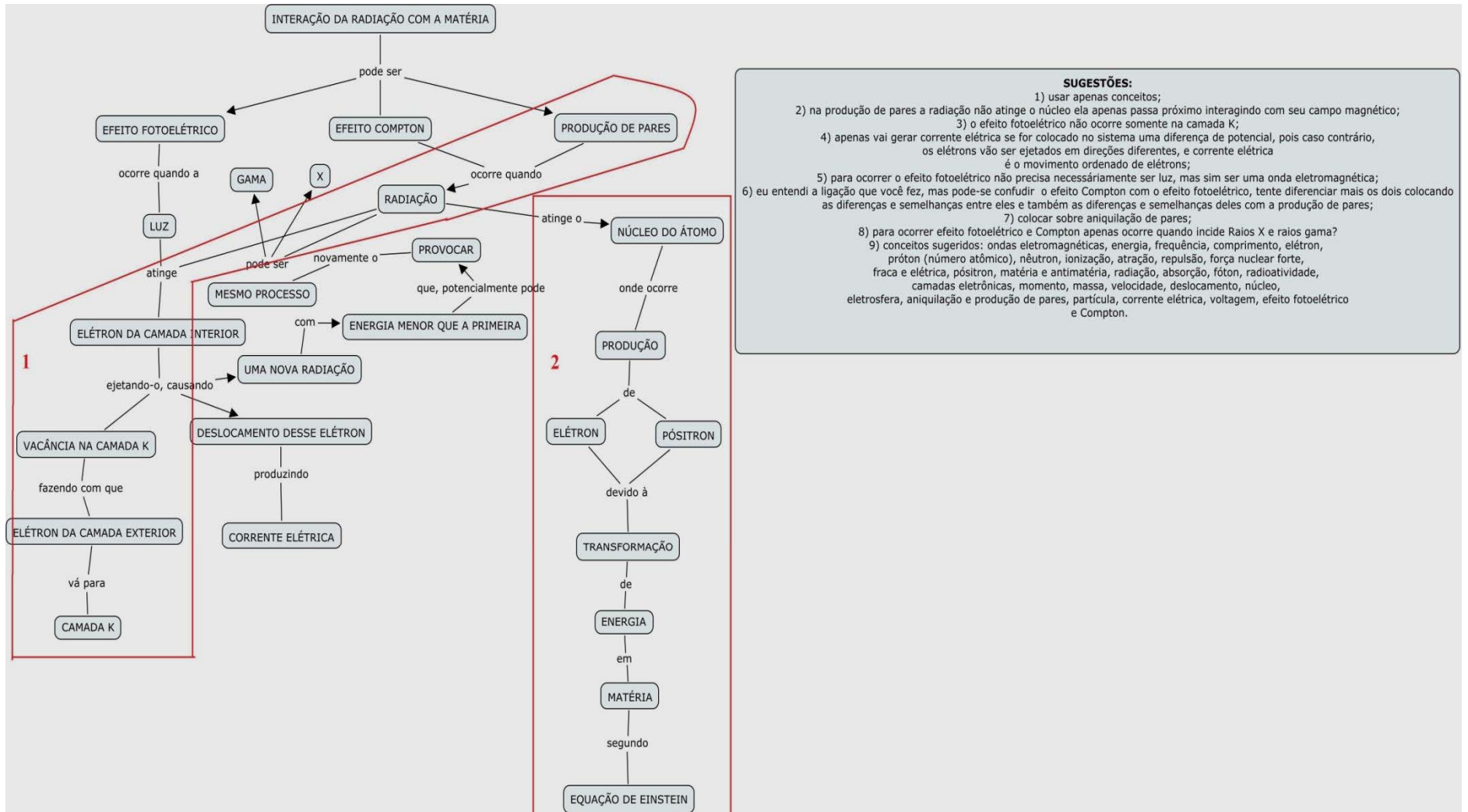


Figura 28: mapa conceitual do aluno Rafael antes das correções.

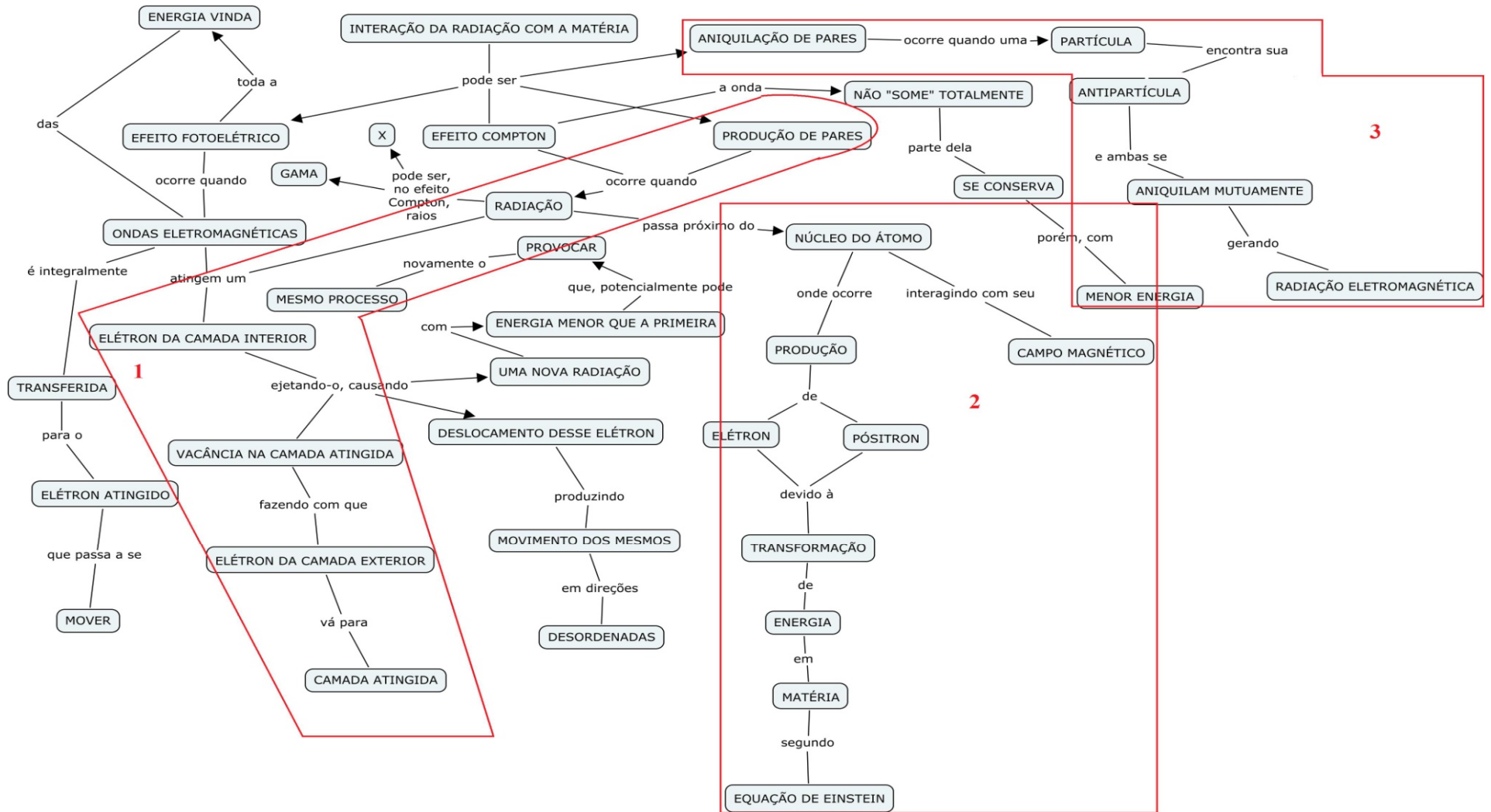


Figura 29: mapa conceitual do aluno Rafael depois das correções.

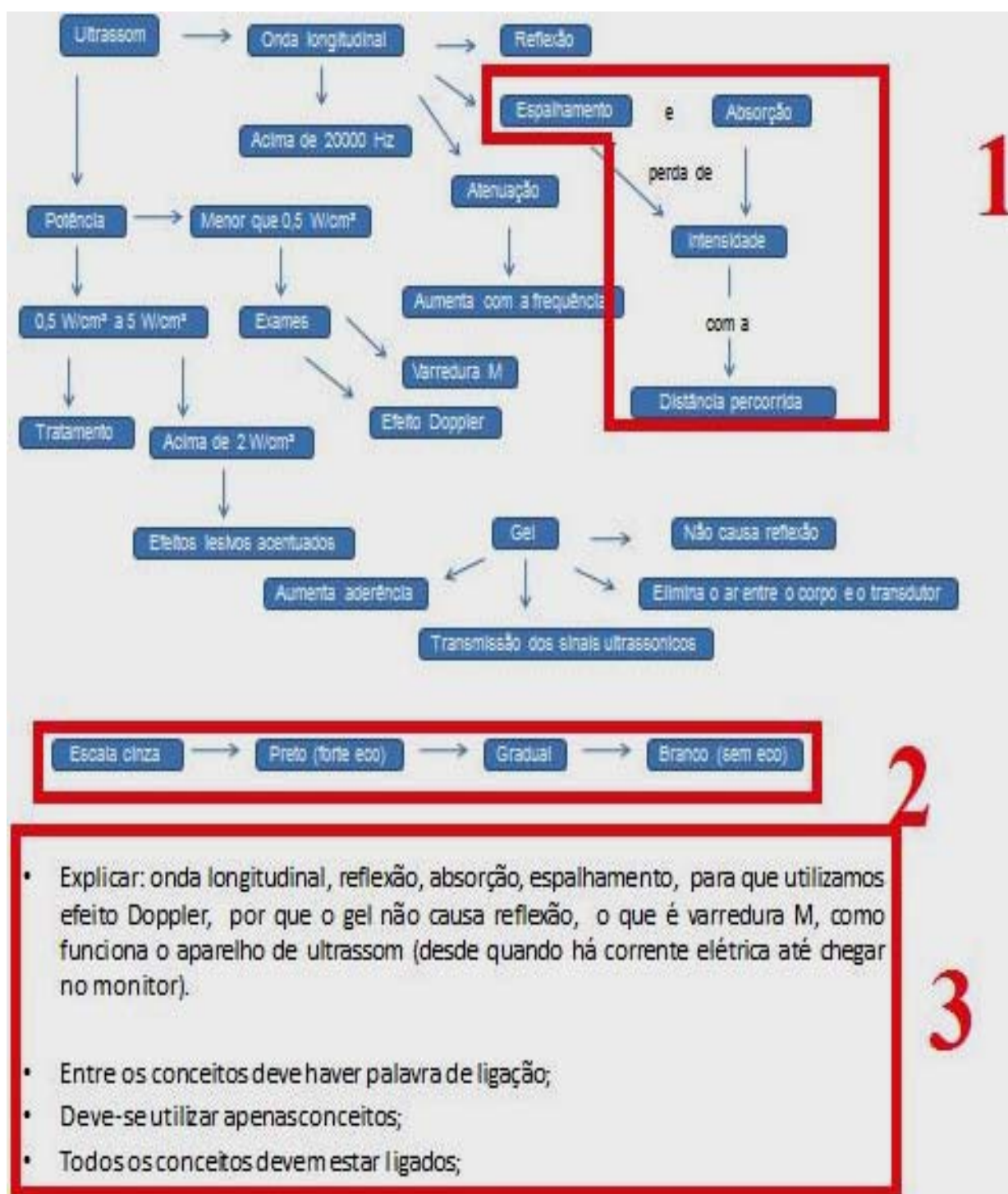


Figura 30: mapa conceitual da aluna Claudia antes das correções.

- aumentar o tempo de curso ou reduzir os conteúdos;
- solicitar aos alunos que confeccionem menos quantidade de mapas conceituais;
- ministrar o curso em uma disciplina, pois assim há melhores oportunidades de solicitar que os alunos entreguem as atividades e cumpram os prazos estipulados;
- explicar, mais detalhadamente, o que são mapas conceituais, quais as suas partes formadoras, como deve-se organizá-los;
- solicitar que os alunos desenvolvam os mapas individualmente;
- pedir para que os alunos entreguem a explicação dos mapas conceituais por escrito.

5.3.5 Análise das situações-problema

Foram analisadas as respostas dadas as quatro situações-problema com dois objetivos: 1) encontrar indícios de teoremas e conceitos-em-ação; 2) buscar indícios de aprendizagem significativa.

Para alcançar o primeiro objetivo, foram feitas as tabelas (21 á 24) que apresentam: na primeira coluna o *nome fictício* dos alunos, na segunda a transcrição de suas respostas, na terceira os equívocos apresentados nas respostas dadas, na quarta e quinta coluna, respectivamente, possíveis conceitos e teoremas-em-ação.

Para buscar indícios de aprendizagem significativa, foram analisadas as respostas dadas pelos alunos.

Na Tabela 21, há a análise da primeira situação-problema que foi escrita na seção 5.2.5 Análises das situações-problema.

O **grupo 1** apresentou dois equívocos.

O grupo 1 explicou corretamente porque se utiliza chumbo para o bloqueio da radiação ionizante, entretanto, não explicou por que não se utiliza outro tipo de material que também possua alto número atômico, como o ouro, por exemplo. Explicaram corretamente que a radiação não passa pelo chumbo devido ao efeito fotoelétrico e que este depende do número atômico do elemento. A resposta desse grupo possui caráter essencialmente explicativo, o que fornece indícios de aprendizagem significativa. Apresentaram dois equívocos como pode-se ver na Tabela 21.

No **grupo 2**, diferentemente dos demais, o aluno, por opção, realizou a atividade sozinho. Em sua resposta não houve nenhum equívoco, mas não relacionou a quantidade de elétrons ao número atômico. De forma análoga aos outros grupos, não colocou por que não se utilizam materiais com números atômicos mais elevados do que o chumbo. Respondeu a questão de forma clara e objetiva, colocando os principais conceitos envolvidos, fornecendo indícios de aprendizagem significativa.

O **grupo 3** apresentou apenas um equívoco, afirmando que os Raios-X são freados pelo átomo. Relacionaram corretamente o número de elétrons, a absorção e o efeito fotoelétrico ao fato da radiação não passar por uma placa de chumbo. Esse grupo também não explicou a razão de não se utilizar outro tipo de material com número atômico mais elevado.

Tabela 21: análise das respostas à primeira situação-problema.

Nomes (fictícios)	Transcrição das respostas dadas pelos alunos: primeira situação-problema.	Equivocos apresentados	Conceitos-em-ação	Teoremas-em-ação
Grupo 1: Catiane, Darlan e Raquel	<p>Darlan: “os Raios-X não penetram no chumbo, porque o número atômico do chumbo é muito alto, como os Raios-X possuem muita energia eles ao passarem pelo átomo arrancam prótons”.</p> <p>Raquel e Catiane: “elétrons”.</p> <p>Darlan: “ah sim, elétrons, me confundi, então quando os Raios-X, que são energéticos batem em uma placa de chumbo ele arranca elétrons, daí os elétrons são arrancados pela energia dos Raios-X”.</p> <p>Catiane: “que os Raios-X não são nada mais nada a menos do que”.</p> <p>Raquel: “uma energia produzida quando uma corrente elétrica incide em um material arrancando elétrons produzindo Raios-X”.</p> <p>Darlan: “por isso o chumbo tendo este grande número de elétrons faz que os Raios-X não o penetrem, então quando um elétron da camada interna é arrancado ele é transformado em luz e um elétron de uma camada externa toma o lugar dele”.</p>	<p>1) os Raios-X ao passarem pelo átomo arrancam prótons (eles arrancam elétrons não prótons);</p> <p>2) o elétron é transformado em luz.</p>	<p>Raios-X, chumbo, número atômico, energia, átomo, prótons, elétrons, corrente elétrica, luz, camadas eletrônicas.</p>	<p>1) se há mais elétrons é maior a probabilidade da radiação colidir com eles;</p> <p>2) o número de elétrons é proporcional ao número de prótons;</p> <p>3) o elétron que absorve os fótons na frequência dos Raios-X é acelerado indo para uma camada mais externa do átomo.</p>
Grupo 2: Juca	<p>Juca: “usa-se a placa de chumbo para se proteger dos Raios-X, porque ela tem um número grande de elétrons na eletrosfera, isso faz com que a radiação que passa pelo chumbo tenha uma probabilidade maior de encontrar um elétron e de ser absorvida por um elétron, isso culmina numa proteção para a pessoa que está atrás da placa, justamente porque as ondas não vão ultrapassar e atingir ela”.</p>	<p>Não há equívocos.</p>	<p>Chumbo, elétrons, Raios-X, eletrosfera, radiação, absorção, ondas.</p>	<p>1) usa-se placa de chumbo para se proteger dos Raios-X;</p> <p>2) o chumbo possui o número elevado de elétrons na eletrosfera;</p> <p>3) quanto mais elétrons, maior é a probabilidade dos Raios-X se encontrarem com eles e, dessa forma, serem absorvidos;</p> <p>4) as ondas de Raios-X não atravessam placas de chumbo.</p>
Grupo 3: Rafael e Tatiana	<p>Tatiana: “a radiação alfa não consegue passar pelo papel ai tem outros tipos de radiação que até pelo alumínio ela não consegue passar”.</p> <p>Rafael: “radiação beta”.</p> <p>Tatiana: “e a última que é dos Raios-X e radiação gama ela não consegue passar pelo chumbo porque tem número atômico maior”.</p> <p>Rafael: “vai ter uma eletrosfera mais densa, tendo uma eletrosfera mais densa, vai ter capacidade de reter estas partículas que estão chegando ali, esta radiação que está chegando como vai encontrar muitos elétrons não vai conseguir atravessar”.</p> <p>Tatiana: “ao contrário da radiação alfa, por exemplo, que o papel já consegue frear ela”.</p> <p>Rafael: “porque a radiação alfa já é grande”.</p> <p>Tatiana: “sim ela é maior”.</p> <p>Rafael: “é similar a se queremos colocar uma bola de futebol em um buraco pequeno, ela não vai entrar, a mesma coisa é a partícula alfa, como ela é grande ela não vai conseguir passar pelo papel, pois as brechas entre os átomos do papel são pequenas então a radiação alfa não vai passar”.</p> <p>Tatiana: “já a radiação gama é menor, então como o papel é pequeno ela vai conseguir passar ai o alumínio não é tão pequeno, mas ela também consegue passar, o chumbo é mais preenchido”.</p>	<p>1) os Raios-X são freados pelo chumbo (na realidade os Raios-X não são freados pelo chumbo, mas sim são absorvidos por ele, devido ao efeito fotoelétrico).</p>	<p>Raios-X, radiação alfa, radiação beta, radiação gama, chumbo, número atômico, eletrosfera, densidade, partículas, radiação, elétrons.</p>	<p>1) o efeito fotoelétrico é proporcional ao número de elétrons;</p> <p>2) usa-se chumbo para bloquear a radiação, pois ele possui um número atômico alto e é estável;</p> <p>3) quanto maior o número de prótons, maior será a quantidade de elétrons e maior será a densidade.</p>

	<p>Rafael: “ele não vai ter nenhum buraco para passar, é a mesma coisa de se eu tiver um buraco no chão de um metro de diâmetro uma bola de futebol consegue atravessar, vamos supor no caso do papel a radiação alfa, vamos supor que no alumínio o buraco seja 40 cm então a bola ainda vai passar, agora no chumbo este buraco será de, por exemplo, 1 cm, então a bola de futebol não vai mais conseguir passar, então a radiação gama não vai mais passar, fazendo uma analogia grosseira, mas é mais ou menos assim”.</p> <p>Tatiana: “então nós vamos falar o que para o paciente? Que a placa de chumbo consegue frear a radiação gama”.</p> <p>Rafael: “devido a densidade”.</p> <p>Tatiana: “Isto, porque ela é mais densa, então a radiação não vai chegar até ele”.</p> <p>Rafael: “a radiação não consegue atravessar, justamente por causa desta eletrosfera densa, tem número elevado de elétrons”.</p> <p>Tatiana: “então pode-se falar que a radiação não vai chegar no paciente, pois ela vai ser freada pelo chumbo.”</p>			
--	--	--	--	--

Na Tabela 22, há a análise da segunda situação-problema que foi descrita na seção 5.2.5 Análises das situações-problema.

Apenas um grupo respondeu a segunda situação-problema. O grupo apresentou vários equívocos, como se pode ver na Tabela 22. Esse grupo explicou como e quando utilizar as radiações gama e alfa, entretanto não registrou que se pode utilizar também a radiação beta e os Raios-X, bem como, quando e como elas podem ser utilizadas. Dessa forma, há evidências de aprendizagem significativa quanto à utilização da radiações gama e alfa e não há evidências de aprendizagem quanto utilização de radiação beta e Raios-X.

Tabela 22: análise das respostas à segunda situação-problema.

Nomes (fictícios)	Transcrição do respondido pelos alunos: segunda situação-problema.	Equívocos apresentados	Conceitos-em-ação	Teoremas-em-ação
<p>Grupo1: Juca e Rafael.</p>	<p>Depois da aula.</p> <p>Rafael: “para sabermos que tipo de radiação usaremos deve-se saber primeiro que tipo de câncer possui o paciente, porque se tivermos um câncer de pele usaremos uma radiação alfa porque as primeiras coisas que não enxerga ela já mata, a radiação alfa como possui uma massa muito grande (2 prótons e 2 nêutrons) ela será bloqueada pela primeira coisa que ela V, então no caso do câncer de pele será usada a radiação alfa para que esta não penetre no organismo, por que ela tem uma massa muito grande, é a mesma coisa de você tentar passar uma bola de futebol por um buraco de 10 cm de diâmetro não vai passar, então é a mesma coisa, a radiação alfa não vai conseguir passar para dentro do corpo humano, porque ela vai ficar barrada ali, ela é grande, se for pensar neste sentido, então como ela não vai conseguir passar ela vai matar aquelas células ali, pois vai romper a membrana das células, fazendo com que o citoplasma se misture com materiais estranhos ao meio intracelular, fazendo um caminho que leva as coisas de fora da célula para seu interior provocando a morte da mesma, por isso no câncer de pele usa-se a radiação alfa.”</p> <p>Juca: “concordo”.</p> <p>Rafael: “já no câncer de pulmão usa-se os raios gama porque possuem altas energias, conseguindo transpassar as barreiras da pele e vai conseguir alcançar um alvo mais interno matando, então, células cancerígenas mais internas do corpo humano. Desta</p>	<p>1) confusão entre massa e tamanho. Colocaram que quanto maior for a massa maior será o tamanho; isso nem sempre é verdadeiro;</p> <p>2) a radiação gama possui maior energia do que a radiação alfa (nem sempre);</p> <p>3) os Raios-X têm maior penetração, pois possuem mais energia (eles têm mais penetração, pois não tem massa</p>	<p>Radiação, radiação alfa, massa, células, membrana, energia, radiação gama, chumbo.</p>	<p>1) o tipo de radiação utilizada na radioterapia depende do tipo de câncer que o paciente possui;</p> <p>2) para tratamento de câncer externo utiliza-se radiação alfa;</p> <p>3) para tratamento de câncer interno utiliza-se radiação gama;</p> <p>4) a radiação gama possui maior energia do que a radiação alfa;</p> <p>5) a radiação alfa é composta por dois prótons e dois nêutrons;</p> <p>6) quanto mais massa maior é o bloqueio da radiação;</p> <p>7) quanto maior for a massa maior será o tamanho do objeto;</p> <p>8) a membrana celular controla a entrada e saída de líquidos e objetos da célula;</p> <p>9) os Raios-X têm maior penetração, pois possuem mais energia;</p> <p>10) se os Raios-X e os raios gama incidem em células saudáveis matam elas;</p>

	<p>forma, o médico V o câncer que ela tem e a partir daí vai ser indicado uma radiação específica para um determinado tipo de câncer, a radiação precisa ser direcionada para as células cancerígenas, pois se pega em células boas vai acabar matando a pele, células boas do indivíduo, enquanto o que queremos matar o câncer”.</p> <p>Juca: “como forma de proteção, deve-se direcionar a radiação para o câncer, proteger com chumbo partes onde não há células cancerígenas e isolar a sala com elementos de número atômicos elevados, sendo que o mais usado é o chumbo, para saber como se proteger das radiações é necessário saber que tipo de radiação que está envolvida”.</p> <p>Rafael: “é porque se for radiação alfa não há a necessidade de usar chumbo”.</p>	<p>nem carga);</p> <p>4) se os Raios-X e os raios gama incidem em células saudáveis matam elas (nem sempre).</p>		<p>11) os seguintes métodos podem ser usados para se proteger: direcionar a radiação para o câncer, proteger com chumbo partes onde não há células cancerígenas e isolar a sala com elementos de número atômicos elevados;</p> <p>12) para saber como se proteger das radiações é necessário saber que tipo de radiação que está envolvida;</p> <p>13) se a radiação é do tipo alfa não há necessidade de usar chumbo.</p>
--	--	--	--	--

Na Tabela 23 há a análise da terceira situação-problema que é: “imagine que você seja um técnico em radiologia, você precisa distinguir dois tecidos internos que possuem densidades muito semelhantes, como você faria? Pense a sua resposta em termos de contraste”.

Tabela 23: análise das respostas à terceira situação-problema.

Nomes (fictícios)	Transcrição do respondido pelos alunos: terceira situação-problema.	Equívocos apresentados	Conceitos -em-ação	Teoremas-em-ação
<p>Grupo 1: Rafael e Carlos.</p>	<p>Depois do curso:</p> <p>Rafael: “como nós tem-se dois tecidos com densidades semelhantes, o paciente vai tomar uma substância com uma densidade X e esta densidade X vai formar um contraste dentro do organismo humano, e este contraste vai fazer com que o tecido tenha um aumento de densidade, então um tecido apresentará densidade diferente do outro, fazendo com que distingamos os tecidos”.</p>	<p>1) o tecido que misturado com o contraste terá um aumento de densidade (pode haver diminuição de densidade).</p>	<p>Tecidos, densidade, contraste.</p>	<p>1) um material injetado no corpo do paciente aumenta o contraste;</p> <p>2) um material injetado no corpo aumenta a densidade do mesmo.</p>
<p>Grupo2: Darlan e Claudia.</p>	<p>Darlan: “a diferença de densidade vai fazer com que fique mais branca a imagem e o contraste da imagem vai ser maior”.</p>	<p>1) a diferença de densidade vai fazer com que a imagem fique mais branca (depende se a densidade do material injetado é mais elevada ou menos elevada do que o material presente no corpo).</p>	<p>Densidade, contraste, imagem.</p>	<p>1) se há diferença de contraste a imagem fica melhor;</p> <p>2) se há diferença de densidade a imagem fica mais clara.</p>
<p>Grupo3: Rafael, Juca.</p>	<p>Rafael: “então você tem dois tecidos de densidade semelhantes, então para você conseguir distinguir os tecidos injeta-se um líquido com densidade maior ou menor, então haverá uma diferença de densidade ali, então quando você for aplicar uma radiação vai aparecer na imagem densidades diferentes então o técnico faz a análise”.</p> <p>Juca: “O paciente vai usar o contraste que daí vai ficar diferente do osso que daí não vai absorver tanto a radiação. No aparelho da fluoroscopia então vai aparecer as veias que daí vai</p>	<p>1) onde é absorvido menos radiação fica preto e onde foi absorvido mais radiação fica branco (é o contrário no exame de</p>	<p>Densidade, contraste, radiação, absorção, energia, número</p>	<p>1) para você conseguir distinguir os tecidos injeta-se um líquido com densidade maior ou menor,</p> <p>2) os materiais presentes no corpo humano absorvem energia e não contraste;</p>

	<p>absorver mais ou menos contraste?” Rafael: “não se absorve contraste o que é absorvido é energia. Na imagem final onde foi absorvido menos radiação fica preto e onde foi absorvido mais radiação fica branco, porque se você tem uma densidade maior vai ser mais difícil da onda conseguir passar, porque tem mais número atômico, mais elétrons ali, então a radiação vai acabar sendo absorvida ali, pois se tenho mais elétrons é maior a probabilidade da radiação encontrar com um deles sendo absorvida”. Juca: “então o contraste vai ser maior ali, vai ficar mais preto, devido ao efeito fotoelétrico”.</p>	fluoroscopia).	atômico, elétrons.	<p>3) onde foi absorvido menos radiação fica preto e onde foi absorvido mais radiação fica branco; 4) se há mais elétrons maior é a absorção, pois maior é a probabilidade de incidência da radiação com eles.</p>
--	--	----------------	--------------------	---

O **grupo 1** apresentou apenas um equívoco, como pode-se ver na Tabela 23. Não explicou por que se há contrastes diferentes à imagem também será diferente. Apenas um aluno se expressou e suas colocações tiveram um caráter essencialmente explicativo, fornecendo indícios de aprendizagem significativa pelo aluno.

No **grupo 2** apenas um dos alunos fez colocações referentes a situação-problema, elaborando sua resposta descritivamente e superficialmente, não fornecendo indícios de aprendizagem significativa e não explicando as seguintes questões: 1) como vai haver diferença de densidade nos tecidos, se pelo menos inicialmente, as densidades eram muito parecidas? 2) por que a diferença de densidade vai tornar a imagem mais clara? 3) por que a diferença entre a densidade forma uma imagem melhor?

O **grupo 3** confundiu a coloração que é apresentada nos exames de Raios-X convencional e na fluoroscopia. Afirmaram que, para haver diferença entre tecidos de densidades semelhantes, há a necessidade de injetar materiais com densidades maior ou menor para que haja diferença de densidade entre os tecidos. O aluno Juca apresentou, na primeira intervenção, ideias confusas. Ficaram as seguintes dúvidas: 1) o que vai ficar diferente do osso? 2) quem não vai absorver tanto a radiação? 3) o que é absorvido são os contrastes?

O aluno Rafael corrigiu o companheiro de grupo esclarecendo o porquê de injetar-se um material com densidade diferente e por que esta densidade fará com que haja mais contraste na imagem.

Na última fala do aluno Juca, percebe-se que ele confunde a ideia de haver mais contraste com a ideia de ser mais escuro.

Pode-se concluir, a partir dessa análise, que o aluno Rafael apresenta indícios de aprendizagem significativa, enquanto que o aluno Juca não apresentou indícios de aprendizagem sobre o assunto abordado nessa situação-problema.

Na Tabela 24, há a análise da quarta situação-problema que é: Durante muito tempo imaginou-se que os olhos imitam radiação, que incidia sobre os objetos que a refletiam, essa radiação, segundo essa teoria, era vista pelo observador. Hoje, na PET, ocorre algo semelhante. O pósitron, antipartícula do elétron, ao se encontrar com este se aniquilam, transformando a massa dos dois em energia, segundo a equação de Einstein $E = mc^2$. Como você explicaria as diferenças e semelhanças entre os dois fatos narrados para alunos no Ensino Médio? Como você provaria que a teoria de emissão de radiação pelos olhos está incorreta?

Tabela 24: análise das respostas à quarta situação-problema.

Nomes (fictícios)	Transcrição do respondido pelos alunos: quarta situação-problema.	Equívocos apresentados	Conceitos-em-ação	Teoremas-em-ação
Grupo 1: Claudia e Rafael	<p>Claudia: “a explicação mais óbvia é que o nosso corpo não é radioativo, então não tem como nosso corpo emitir radiação e depois absorver, que a gente vê, obviamente, devido a ondas eletromagnéticas que é a luz”.</p> <p>Rafael: “na verdade a luz bate nos objetos e é refletida, chegando a nossa retina”.</p> <p>Claudia: “daí a gente vê devido a isso, então a gente vê devido a radiação eletromagnética e isto é obvio, o que é obvio também é que a gente não é radioativo, portanto, não é nós que emitimos essa radiação, para sermos radioativos teríamos que tomar e absorver a radiação”.</p> <p>Rafael: “e nada faria supor que tal radiação sairia pelas nossas vistas”.</p> <p>Claudia: “é ela poderia sair por qualquer parte do nosso corpo a não ser que tivesse algum tipo de atividade concentrando a radiação nos nossos olhos, mas o importante é que nós não emitimos radiação, apenas a absorvemos”.</p> <p>Rafael: “agora nós vamos entrar no caso da emissão de pósitrons, que é utilizado na PET. Na PET o vivente toma uma substância”.</p> <p>Claudia: “radioativa”.</p> <p>Rafael: “nossos amigos químicos fazem reações nos laboratórios juntando estas substâncias geralmente com glicose”.</p> <p>Claudia: “porque a glicose é utilizada em nosso corpo em qualquer processo que necessite de energia”.</p> <p>Rafael: “esta tomografia é muito utilizada para visualizarmos o cérebro”.</p> <p>Claudia: “o funcionamento do nosso corpo”.</p> <p>Rafael: “exato. No cérebro é gasto muito carboidrato”.</p> <p>Claudia: “energia”.</p> <p>Rafael: “Então, energia proveniente dos carboidratos”.</p> <p>Claudia: “energia, lembre-se que meu cérebro não usa pão, mas glicose”;</p> <p>Rafael: “lembre-se que estamos explicando para o ensino Médio”.</p> <p>Claudia: “não explique errado. A glicose é o resultado da digestão do carboidrato, mas o importante é falar que nós usamos glicose que vai ser um “combustível” básico”.</p> <p>Rafael: “mas voltando para a PET”.</p> <p>Claudia: “daí quando a gente ingere material radioativo que tá junto com a glicose, a glicose vai ser direcionada para a parte do corpo que utiliza de mais energia, no caso do nosso corpo é o cérebro”.</p>	<p>1) a glicose vai ser direcionada para a parte do corpo que utiliza mais energia;</p> <p>2) apenas após a glicose ser utilizada é que o material irá começar a emitir pósitrons;</p> <p>3) os pósitrons que são detectados (não são os pósitrons que são detectados, mas a radiação gama proveniente da aniquilação do par elétron-pósitron);</p> <p>4) nos fotorreceptores do olho é onde a luz é transformada em luz.</p>	<p>Radioatividade, absorção, luz, ondas, eletromagnéticas, emissão, pósitrons, PET, energia,</p>	<p>1) o nosso corpo não é radioativo;</p> <p>2) as pessoas veem devido a absorção das ondas eletromagnéticas;</p> <p>3) os objetos refletem luz;</p> <p>4) na PET, há a ingestão de material radioativo em conjunto com moléculas orgânicas, tais como a glicose;</p> <p>5) o cérebro é o órgão que mais gasta energia no nosso corpo;</p> <p>6) os pósitrons atravessam o corpo sendo detectados por aparelhos externos;</p> <p>7) o olho não emite naturalmente radiação.</p>

	<p>Rafael: “no caso que ele não está utilizando energia braçal”.</p> <p>Claudia: “mas mesmo assim, a não ser que fizermos energia muito “forte”, o cérebro, geralmente é o que mais gasta energia do nosso corpo”.</p> <p>Rafael: “quando o cérebro utiliza essa energia, acaba quebrando estas ligações de glicose e pósitron, então ele vai utilizar glicose e vai gerar pósitron, que vai atravessar o corpo sendo detectado pelo aparelho, então tem-se as diferenças que podem ser explicadas para nossos alunos, neste caso a radiação sai do corpo do aluno enquanto que na visão isto não acontece, acontece o contrário a radiação é absorvida pela nossa retina, pelos nossos olhos, transformada em luz nos fotorreceptores, enviadas por pulsos elétricos pelos neurônios, até chegar ao cérebro”.</p> <p>Claudia: “e fica óbvio, que como você teve que ingerir glicose com o material radioativo, isso não é uma coisa espontânea, então meu olho não poderia fazer isso, não poderia emitir naturalmente”.</p> <p>Rafael: “não, é uma coisa que é induzida por outros seres humanos”.</p>			
Grupo 2: Juca e Darlan	<p>Darlan: “há duas maneiras de provar que a radiação emitida pelos olhos está incorreta. Uma é apagar a luz, se nossos olhos emitissem luz continuaríamos enxergando. Outra é que se nossos olhos emitissem radiação, se o pósitron fosse positivo ao colidir com os elétrons do nosso olho emitiriam radiação gama, entretanto o fóton não possui carga energética, então quando ele incide com elétrons ele é captado pela retina é um processo de refração da luz, onde a luz branca é colocada num único ponto”.</p> <p>Juca: “focada”.</p> <p>Darlan: “a diferença é que os olhos não produzem radiação, já na Tomografia por Emissão de Pósitrons há a produção de radiação, quando colide o elétron com o pósitron”.</p> <p>Juca: “nesse caso nós temos o átomo instável, então para ele entrar em equilíbrio ele vai emitir um pósitron, se tiver mais prótons para entrar em equilíbrio ele vai emitir pósitron”.</p> <p>Darlan: “isso”.</p> <p>Juca: “este pósitron vai colidir com o elétron eles vão se aniquilar produzindo radiação gama”.</p>	1) o fóton não possui carga energética (na realidade o fóton possui energia).	Radiação, luz, pósitron, elétron, radiação gama, fóton, energia, refração, átomo, instabilidade, prótons, radiação gama, aniquilação de pares.	1) nossos olhos não emitem nem produzem radiação; 2) o pósitron ao colidir com elétron emite radiação gama; 3) o fóton não possui energia; 4) a luz branca é focada na retina; 5) se um átomo instável tem mais prótons, para entrar em equilíbrio ele vai emitir pósitrons.

O primeiro grupo apresentou quatro equívocos conforme pode-se observar na Tabela 24. Eles não conseguiram pensar em uma forma de mostrar que não é o nosso corpo que emite radiação.

Passaram depois a explicar a PET, contendo poucos equívocos neste ponto, conforme pode-se observar na Tabela 24. Os alunos apresentaram indícios de aprendizagem significativa quanto ao funcionamento da PET.

O segundo grupo apresentou apenas um equívoco, como se pode observar na Tabela 24. Mencionaram que, para mostrar que não são nossos olhos que emitem radiação, basta desligar a luz. Colocaram uma segunda alternativa, se os olhos emitissem pósitron, estes aniquilar-se-iam com os elétrons, formando radiação gama, o que não ocorre (mas, na situação-problema o aluno não sabe disso, e, portanto, não pode-se utilizar esse argumento para responder ao questionamento). Além disso, não precisaria que o olho produzisse apenas pósitrons, poderia produzir outros tipos de radiação. Explicaram corretamente a PET. Esse grupo conseguiu utilizar os conhecimentos ensinados para resolver a situação-problema proposta.

Através das análises do que os alunos falaram para buscar resolverem as situações-problema, pode-se perceber que os alunos, inicialmente, pouco sabiam sobre os assuntos trabalhados no curso e que, a partir da aplicação da proposta, melhoraram seus conhecimentos e apresentaram indícios de aprendizagem significativa, embora alguns grupos ainda apresentem equívocos.

5.3.6 Análise do pré e pós-teste

Como apenas seis alunos responderam o pré-teste e o pós-teste, suas respostas foram avaliadas individualmente a partir da Tabela 25 e não foi analisado se os ganhos foram significativos.

Os pré-teste e pós-teste aplicados foram os mesmos e encontram-se no APÊNDICE F- Pré e pós-teste aplicado nos cursos.

Na Tabela 25 há a análise dos pré-testes e pós-testes.

Tabela 25: resultados individuais do pré-teste e do pós-teste: aplicação 3.

NOMES (FÍCTICIOS)	ACERTOS	TOTAL	NÃO SEI	ERRADO	G= (Y-X)
Raquel: pré-teste	10	48	27	11	13
Raquel: pós-teste	23	48	12	13	
Catiane: pré-teste	23	48	16	9	1
Catiane: pós-teste	24	48	10	14	
Darlan: pré-teste	22	48	5	21	10
Darlan: pós-teste	32	48	1	15	
Claudia: pré-teste	21	48	5	22	8
Claudia: pós-teste	29	48	1	18	
Rafael: pré-teste	12	48	19	17	5
Rafael: pós-teste	17	48	15	16	
Juca: pré-teste	9	48	23	16	10
Juca: pós-teste	19	48	13	16	
					SG1=47

Observando a Tabela 25, nota-se que três alunos erraram menos questões no pós-teste do que no pré-teste, um errou a mesma quantidade e dois erraram mais questões no pós-teste do que no pré-teste. Todos os alunos diminuíram o número de questões cujas respostas afirmaram não saber, enquanto aumentaram o número de questões que acertaram.

Foi encontrado para o ganho médio o valor de 7,83, o que significa que em média os respondentes acertaram 7,83 questões a mais no pós-teste do que no pré-teste.¹⁴

Nenhum dos alunos respondeu corretamente as seguintes questões: 5, 13, 18, 19, 28, 43, fornecendo indícios de que não houve aprendizagem significativa, por nenhum dos alunos, nos seguintes tópicos:

- o efeito fotoelétrico é a emissão de elétrons por um material quando exposto a uma radiação eletromagnética (como a luz) de frequência suficientemente alta para arrancar elétrons do material;

- a radiação ionizante pode trazer ações indiretas (produção de radicais livres);

- os materiais mais densos absorvem mais radiação;

- a maior tarefa do gerador é a de fornecer uma voltagem alta para produzir Raios-X com suficiente energia e adequada quantidade de radiação;

- no intensificador, a imagem é produzida seguindo a seguinte sequência: fótons de Raios-X que são transformados em fótons de luz e, em seguida, corrente elétrica e finalmente imagem;

- pensam que os radioisótopos emitem somente radiação gama.

Todos os alunos responderam corretamente, no pós-teste, as questões 1, 2, 3, 4, 8, 31, 32, 39, fornecendo indícios de que todos os alunos aprenderam significativamente que:

- a Ultrassonografia não faz mal à saúde;

- os Raios-X nem sempre possuem mais energia que os raios gama;

- a produção de Raios-X, por freamento, ocorre quando um elétron energético, ao se aproximar do átomo, é desviado de sua órbita devido a atração do núcleo, esse freamento libera energia em forma de uma onda eletromagnética;

- o efeito fotoelétrico é um dos responsáveis por levar as informações do olho até o córtex visual (no cérebro);

- a aniquilação de pares ocorre quando uma matéria e sua antimatéria, por exemplo, os elétrons e os pósitrons se encontram;

- os Raios-X chegam inicialmente ao écran que em contato com os Raios-X produzem luz, essa luz impressiona o filme onde é produzida a imagem;

- a radioterapia é um método de tratamento que consiste na destruição de células cancerígenas;

- ao ser aplicado um campo magnético fornecido pelo magneto principal, os spins se alinham de acordo com ele.

Na sequência foi feita uma análise individual, buscando indícios de aprendizagem significativa de cada um dos seis respondentes. Foram desconsideradas, na análise individual, as questões em que todos acertaram e/ou erraram, pois já foram analisadas anteriormente.

• **Raquel (nome fictício).**

A aluna Raquel acertou 13 questões a mais no pós-teste em relação ao pré-teste,

¹⁴ Para mais detalhes de como fazer os cálculos procurar na seção 1.5.

respondeu 15 questões a menos que não sabia e errou duas questões a mais no pós-teste.

Observando as questões respondidas corretamente no pré-teste (1, 10, 20, 23, 27, 28, 31, 32, 33, 42) e as questões corretas do pós-teste (1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 11, 12, 14, 17, 20, 24, 25, 26, 27, 29, 31, 32, 35, 36, 37, 39) a aluna forneceu indícios que sabe significativamente que:

- o efeito Compton não ocorre quando um elétron muda para uma camada mais energética e ao voltar para seu estado de origem (menos energético) libera a energia excedente na forma de radiação;
- a antimatéria possui as mesmas características da matéria, mas cargas diferentes, como é o caso dos pósitrons e dos elétrons;
- alguns materiais quando estimulados por um sinal elétrico produzem deformações mecânicas;
- uma forma de analisar as estruturas em movimento, na Ultrassonografia, faz uso do efeito Doppler;
- áreas, nos filmes, que são expostas a menos radiação ficam mais claras e áreas expostas a mais radiação aparecem mais escuras;
- o grau de absorção não é determinado somente pelo número atômico do material;
- na RMN a função dos meios de contraste é mudar o campo magnético no local onde será aplicado o exame;
- a principal função do fluoroscópio é proporcionar imagens em tempo real de estruturas anatômicas;
- não é a kVp que determina quantidade de fótons emitidos pelo equipamento de Raios-X;
- não é a corrente elétrica que determina a energia dos Raios-X;
- para valores baixos de kVp há maior absorção de radiação pelo paciente;
- a TC tem como principal vantagem, em relação aos exames radiológicos convencionais, a não sobreposição de imagens de estruturas anatômicas;
- o exame de RMN não utiliza radiação ionizante;
- a RMN utiliza a capacidade dos prótons teciduais receberem e devolverem energia através de ondas de radiofrequência.

• **Catiane (nome fictício).**

A aluna Catiane acertou uma questão a mais no pós-teste, respondeu seis questões a menos que não sabia e errou cinco questões a mais no pós-teste, o que foi motivo de preocupação.

Observando as questões respondidas corretamente no pré-teste (1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 15, 17, 18, 22, 25, 26, 30, 32, 33, 34, 36, 40, 41, 42, 47) e as questões corretas do pós-teste (1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 11, 12, 14, 17, 20, 24, 25, 26, 27, 29, 31, 32, 35, 36, 37, 39, 46) a aluna forneceu indícios que sabe significativamente que:

- o efeito Compton não ocorre quando um elétron muda para uma camada mais energética e ao voltar para seu estado de origem (menos energético) libera a energia excedente na forma de radiação;
- a antimatéria possui as mesmas características da matéria, mas cargas diferentes, como é o caso dos pósitrons e dos elétrons;
- alguns materiais quando estimulados por um sinal elétrico produzem deformações mecânicas;
- uma forma de analisar as estruturas em movimento, na Ultrassonografia, faz uso do efeito Doppler;

- o fóton não é outro nome que se dá à luz;
- áreas, nos filmes, que são expostas a mais radiação ficam mais escuras e as áreas expostas a menos radiação aparecem mais claras;
- o grau de absorção não é determinado somente pelo número atômico do material;
- na RMN a função dos meios de contraste é mudar o campo magnético no local onde será aplicado o exame;
- a principal função do fluoroscópio é proporcionar imagens em tempo real de estruturas anatômicas;
- não é a kVp que determina a quantidade de fótons emitidos pelo equipamento de Raios-X;
- não é a corrente elétrica que determina a energia dos Raios-X;
- para valores baixos de kVp há maior absorção de radiação pelo paciente;
- a TC tem como principal vantagem, em relação a exames radiológicos convencionais, a não sobreposição de imagens de estruturas anatômicas;
- o exame de RMN não utiliza radiação ionizante;
- a RMN utiliza a capacidade dos prótons teciduais receberem e devolverem energia através de ondas de radiofrequência;
- a PET/CT sobrepõe às imagens metabólicas (PET) às imagens anatômicas (TC).

• Darlan.

O aluno Darlan aumentou em dez questões os acertos no pós-teste, apenas em uma questão respondeu que não sabia e errou seis questões a menos no pós-teste.

Observando as questões respondidas corretamente no pré-teste (1, 2, 10, 12, 14, 16, 24, 25, 26, 30, 31, 32, 33, 35, 36, 37, 38, 39, 41, 44, 45, 48) e as questões corretas do pós-teste (1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 12, 14, 15, 16, 21, 22, 24, 25, 26, 27, 30, 31, 32, 33, 34, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 46, 47, 48) o aluno forneceu indícios que sabe significativamente que:

- a frequência necessária para ejetar elétrons depende do material;
- o efeito Compton não ocorre quando um elétron muda para uma camada mais energética e ao voltar para seu estado de origem (menos energético) libera a energia excedente em forma de radiação;
- uma forma de analisar as estruturas em movimento, na Ultrassonografia, faz uso do efeito Doppler;
- o fóton não é outro nome que se dá à luz;
- a Meia Vida não é o tempo de vida de cada radionuclídeo;
- o decaimento radioativo ocorre quando há a emissão de radiação (corpúscular ou ondulatória), tendendo a deixar o átomo estável;
- a absorção fotoelétrica predomina sobre a dispersão Compton com Raios-X de baixa energia;
- quando utilizado o sinal analógico, a informação é convertida em bits;
- na RMN a função dos meios de contraste é mudar o campo magnético no local onde será aplicado o exame;
- a principal função do fluoroscópio é proporcionar imagens em tempo real de estruturas anatômicas;
- é a kVp que determina a quantidade de fótons emitidos pelo equipamento de Raios-X;
- é a corrente elétrica que determina a energia dos Raios-X;

- em aparelhos que usam filmes para formar a imagem, quanto menor for o valor de kVp mais clara será a imagem se permanecer o mesmo valor para miliampere (mA);
- a radioterapia não utiliza apenas Raios-X;
- nos dosímetros de filmes, a radiação produz alterações na densidade Óptica do filme revelado;
- a RMN utiliza a capacidade dos prótons teciduais receberem e devolverem energia através de ondas de radiofrequência;
- na ausência de um campo magnético externo, a orientação dos spins nos tecidos é aleatória;
- quanto maior for a concentração do elemento hidrogênio, em um segmento estimulado, mais forte será o sinal de ressonância;
- as partículas elementares são as menores partículas que constituem a matéria;
- os elétrons, os prótons e os nêutrons não são as menores partículas que existem;
- na PET há a emissão de um pósitron pelo radioisótopo;
- a PET/CT sobrepõe às imagens metabólicas (PET) às imagens anatômicas (CT);
- na SPECT há a emissão de raios gama simples;
- na PET há a emissão inicial de pósitron já na SPECT há a emissão de fóton.

• **Claudia.**

A aluna Claudia aumentou oito questões de acertos no pós-teste, respondeu quatro questões a menos que não sabia e errou apenas uma questão enquanto que no pré-teste havia errado 5 questões.

Observando as questões respondidas corretamente no pré-teste (1, 2, 10, 12, 14, 16, 24, 25, 26, 30, 31, 32, 33, 35, 37, 38, 39, 41, 44, 45, 48) e as questões corretas do pós-teste (1, 2, 3, 4, 8, 9, 10, 12, 14, 16, 20, 24, 25, 26, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 37, 39, 41, 44, 45, 46, 47, 48,) a aluna forneceu indícios que sabe significativamente que:

- a antimatéria possui as mesmas características da matéria, mas massas e cargas diferentes, como é o caso dos pósitrons e dos elétrons;
- sob determinada pressão mecânica alguns materiais emitem corrente elétrica;
- uma forma de analisar as estruturas em movimento, na Ultrassonografia, faz uso do efeito Doppler;
- o fóton não é outro nome que se dá à luz;
- o decaimento radioativo ocorre quando há a emissão de radiação (corpúscular ou ondulatória), tendendo a deixar o átomo estável;
- o grau de absorção não é determinado somente pelo número atômico do material;
- na RMN a função dos meios de contraste é a de mudar o campo magnético no local onde será aplicado o exame;
- a principal função do fluoroscópio é proporcionar imagens em tempo real de estruturas anatômicas;
- não é a kVp que determina a quantidade de fótons emitidos pelo equipamento de Raios-X;
- para valores baixos de kVp, há maior absorção de radiação pelo paciente;
- em aparelhos que usam filmes para formar a imagem, quanto menor for o valor de kVp mais clara será a imagem se permanecer o mesmo valor para miliampere (mA);
- a radioterapia não utiliza apenas Raios-X;

- nos dosímetros de filmes, a radiação produz alterações na densidade Óptica do filme revelado;
- a TC tem como principal vantagem, em relação a exames radiológicos convencionais, a não sobreposição de imagens de estruturas anatômicas;
- a RMN utiliza a capacidade dos prótons teciduais receberem e devolverem energia através de ondas de radiofrequência;
- as partículas elementares são as menores partículas que constituem a matéria;
- na PET há a emissão de um pósitron pelo radioisótopo;
- na PET um pósitron se aniquila com um elétron emitindo raios gama;
- a PET/CT sobrepõe às imagens metabólicas (PET) às imagens anatômicas (CT);
- na SPECT há a emissão de raios gama simples;
- na PET há a emissão de pósitron já na SPECT há a emissão de fóton.

• **Rodrigo (nome fictício).**

O aluno Rodrigo aumentou em cinco questões os acertos no pós-teste, respondeu seis questões a menos que não sabia e errou uma questão a mais no pós-teste.

Observando as questões respondidas corretamente no pré-teste (1, 2, 4, 7, 12, 16, 26, 35, 39, 41, 44, 48) e as questões corretas do pós-teste (1, 2, 3, 4, 10, 12, 16, 17, 23, 25, 28, 31, 33, 34, 35, 39, 44) o aluno forneceu indícios que sabe significativamente que:

- a Ultrassonografia não faz mal para a saúde;
- os Raios-X nem sempre possuem mais energia que os raios gama;
- a produção de Raios-X por freamento ocorre quando um elétron energético, ao se aproximar do átomo é desviado de sua órbita devido a atração do núcleo, esse freamento libera energia em forma de uma onda eletromagnética;
- o efeito fotoelétrico é um dos responsáveis para levar as informações do olho até o córtex visual (no cérebro);
- sob determinada pressão mecânica alguns materiais emitem corrente elétrica;
- uma forma de analisar as estruturas em movimento, na Ultrassonografia, faz uso do efeito Doppler;
- o decaimento radioativo ocorre quando há a emissão de radiação (corpúscular ou ondulatória), tendendo a deixar o átomo estável;
- áreas, nos filmes, que são expostas a menos radiação ficam mais claras e as áreas expostas a menos radiação aparecem mais claras;
- os meios de contrastes são materiais que não emitem radiação;
- a principal função do fluoroscópio é proporcionar imagens em tempo real de estruturas anatômicas;
- no intensificador a imagem é produzida seguindo a seguinte sequência: fótons de Raios-X que são transformados em fótons de luz e, em seguida, corrente elétrica e finalmente imagem;
- os Raios-X chegam inicialmente ao écran que em contato com os Raios-X produzem luz, essa luz impressiona o filme onde é produzida a imagem;
- a radioterapia não utiliza apenas Raios-X;
- nos dosímetros de filmes, a radiação produz alterações na densidade Óptica do filme revelado;
- a TC tem como principal vantagem, em relação a exames radiológicos convencionais, a não sobreposição de imagens de estruturas anatômicas;

- ao ser aplicado um campo magnético fornecido pelo magneto principal, os spins se alinham de acordo com ele;
- na PET há a emissão de um pósitron pelo radioisótopo.

• **Juca.**

O aluno Juca aumentou dez questões de acertos no pós-teste, respondeu dez questões a menos que não sabia e errou a mesma quantidade de questões antes e depois da aplicação do curso.

Observando as questões respondidas corretamente no pré-teste (1, 2, 4, 10, 16, 22, 35, 40, 41) e as questões corretas do pós-teste (1, 2, 3, 4, 8, 15, 16, 23, 29, 30, 31, 32, 33, 35, 36, 39, 41, 44, 48) o aluno forneceu indícios que sabe significativamente que:

- a Meia Vida não é o tempo de vida de cada radionuclídeo;
- o decaimento radioativo ocorre quando há a emissão de radiação (corpúscular ou ondulatória), tendendo a deixar o átomo estável;
- os meios de contrastes não são materiais que emitem radiação;
- para valores baixos de kVp há maior absorção de radiação pelo paciente;
- em aparelhos que usam filmes para formar a imagem, quanto maior for o valor de kVp mais escura será a imagem se permanecer o mesmo valor para miliampere (mA);
- a radioterapia utiliza apenas Raios-X;
- a TC tem como principal vantagem, em relação a exames radiológicos convencionais, a não sobreposição de imagens de estruturas anatômicas;
- o exame de RMN não utilizam radiação ionizante;
- as partículas elementares são as menores partículas que constituem a matéria;
- na PET há a emissão de um pósitron pelo radioisótopo;
- na PET há a emissão de pósitron já na SPECT há a emissão de fóton.

As demais respostas avaliadas no teste (ver APÊNDICE F- Pré e pós-teste aplicado nos cursos) não forneceram indícios de aprendizagem significativa.

5.3.7 Análise da avaliação do curso

Foram seis os alunos que fizeram a análise do curso. Portanto, não foi utilizado de porcentagem para analisar a avaliação feita pelos alunos. O questionário que os alunos responderam encontra-se no APÊNDICE G- Análise das aulas.

Utilizou-se as respostas dos alunos do curso para buscar indícios para responder os seguintes questionamentos: 1º) os conteúdos de Óptica, Eletromagnetismo, Física Moderna e Contemporânea podem ser utilizados na Física aplicada à Medicina? Essa aplicação facilita sua compreensão? 2º) Que abordagem (ns), estratégia(s) poderia(m) ser mais facilitadoras da aprendizagem significativa da Física aplicada à Medicina?

Para isso colocou-se na Tabela 26, as transcrições de todas as justificativas dadas pelos alunos na primeira parte (assinalar) e na Tabela 27, as transcrições de todas as justificativas dadas pelos alunos na segunda parte (descritiva). Por último buscou-se, através das transcrições, indícios para responder as perguntas mencionadas no parágrafo anterior.

Tabela 26: transcrições das justificativas do grupo 3- primeira parte.

Questões	Sim	Não	Às vezes	Justificação: transcrições
1	6	0	0	“A metodologia utilizada foi elaborada de modo primaz, facilitando muito a abstração” (ALUNO 1).

2	6	0	0	Não houve justificação.
3	6	0	0	Não houve justificação.
4	2	2	2	“Pouquíssimo do que foi apresentado era de meu conhecimento” (ALUNO 1). “Parte do curso, apenas superficialmente” (ALUNO 2). “Já havia tido contato com a maioria dos conteúdos, contudo, não de forma minuciosa” (ALUNO 4).
5	2	2	2	“Geralmente aparecem conceitos de difícil abstração, porém todos foram devidamente elucidados pela ministrante” (ALUNO 1). “Tudo foi bem explicado” (ALUNO 2). “As dificuldades se deveram à dificuldade de apreensão de algumas abordagens, devido a minha falta de conhecimento de alguns processos primários” (ALUNO 4). “É que não começou-se a ver em sala de aula ainda, ai se torna um pouco difícil, também pelo pouco tempo” (ALUNO 5).
6	6	0	0	“Exemplos e analogias e analogias sempre tornam o que está sendo abordado mais acessível.” (ALUNO 1).
7	6	0	0	“Os exercícios praticados durante o curso foram cruciais para a compreensão dos conteúdos” (ALUNO 1).
8	6	0	0	Não houve justificação.
9	6	0	0	“Mas poderia ter mais apostilas” (ALUNO 3).
10	6	0	0	Não houve justificação.
11	6	0	0	Não houve justificação.
12	6	0	0	Não houve justificação.
13	5	0	1	“Depende do andar das aulas” (ALUNO 2). “Mas em um curso com uma carga horária maior” (ALUNO 3). “Porém, deve ser posto de uma forma mais resumida porque tem bastante conteúdo” (ALUNO 5).
14	6	0	0	Não houve justificação.
15	6	0	0	Não houve justificação.
16	6	0	0	Não houve justificação.

Tabela 27: transcrições das justificativas do grupo 3- segunda parte.

Questões	Transcrições
17	“As gravações das situações-problema, pois com isso efetivamos o aprendizado” (ALUNO 1). “Simulação- você consegue observar as coisas e as atividades experimentais- você consegue ver na prática a ocorrência dos fenômenos” (ALUNO 2). “As apresentações, por que são atividades nas quais tenho facilidade” (ALUNO 3). “As atividades de explanação ao grupo foram bem interessantes, pela confraternização de ideias, embora não dominássemos os conteúdos” (ALUNO 4). “Gravar com os colegas e atividades no computador” (ALUNO 5). “A atividade experimental que foi feita em grupo, e a de gravar o que aprendemos num programa de áudio” (ALUNO 6).
18	“Não estiveram presentes no curso atividades que não foram bem aceitas” (ALUNO 1). “Todas foram boas” (ALUNO 2). “Fazer mapas conceituais” (ALUNO 3). “Creio que todas as atividades foram proveitosas” (ALUNO 4). “Não é que eu não tenha gostado, mas os mapas conceituais são chatos de fazer” (ALUNO 5).
19	“A gravação das situações-problema, pois quando repetimos aquilo que julgamos ter aprendido, efetivamos de fato a abstração” (ALUNO 1). “Todas foram importantes para a fixação do conteúdo” (ALUNO 2). “As apresentações que tivemos que fazer, pois se preparar para elas traz momentos de concentração e assim, compreensão” (ALUNO 3). “De fato, a parte teórica munida de exemplos gráficos foi a arma crucial para a melhor compreensão” (ALUNO 4). “As que a gente tinha que gravar, pois a gente tinha que entender e falar o que entendemos (ALUNO 5). “Na verdade foi mesmo a explicação da pesquisadora” (ALUNO 6).
20	“Sim. Isso se deveu a grande quantidade de informações apresentadas e, conseqüentemente, no meu caso, pela relativa baixa capacidade de abstração” (ALUNO 1). “Todas foram bem compreendidas” (ALUNO 2). “Não” (ALUNO 3).

	<p>“Sim. As partes de SPECT, PET e mamografia foram as mais complicadas, devido a dificuldade de apreensão (em particular) dos mesmos” (ALUNO 4).</p> <p>“Na verdade tivemos pouco tempo para ver, era bastante coisa, então sugiro pelo menos umas duas semanas de curso” (ALUNO 5).</p> <p>“Sim, na maioria deles, por que não viu-se ainda nada disso na faculdade, não chegamos nesse nível ainda (ALUNO 6)”.</p>
21	<p>“Para simplificar, respondo apenas que o curso manteve um enfoque expositivo muito bom” (ALUNO 1).</p> <p>“A estratégia foi boa. Os conteúdos foram bem abordados e bem explicados” (ALUNO 2).</p> <p>“Acredito que cobrar mais estudo individual relacionado ao material escrito (apostila), mas fora da sala de aula seria interessante” (ALUNO 3).</p> <p>“Os métodos utilizados pela pesquisadora foram eficazes (excetuando-se os conteúdos citados na questão anterior, mas não por parte da pesquisadora e sim, em decorrência da dificuldade de abstração de minha parte), pois enfatizavam a clareza em detrimento da análise minuciosa das abordagens” (ALUNO 4).</p> <p>“Foram boas eu consegui entender, não completamente, mas mais do que eu já sabia” (ALUNO 5).</p> <p>“Boa, além da explicação os slides que ajudaram na compreensão” (ALUNO 6).</p>
22	<p>“O material está bem feito” (ALUNO 2).</p> <p>“Poderia ter um material escrito (apostila) mais extenso” (ALUNO 3).</p> <p>“Julgo não ter a primazia necessária para uma crítica acerca do material utilizado” (ALUNO 4).</p> <p>“As apostilas devem ser impressas, fica melhor para acompanhar” (ALUNO 5).</p>
23	<p>“O curso merece aplausos” (ALUNO 1).</p> <p>“Gostei muito do curso é uma pena que por enquanto a gente não esta vendo isso em sala de aula para podermos falar mais sobre o assunto” (ALUNO 5).</p>

Para buscar indícios de se os conteúdos de Óptica, Eletromagnetismo, Física Moderna e Contemporânea podem ser utilizados na Física aplicada à Medicina e se essa aplicação facilita a compreensão, foram utilizadas as respostas das questões: 1, 2, 3, 4, 5, 13, 20 e 22 do APÊNDICE G- Análise das aulas.

Todos os alunos afirmaram que o material entregue durante o curso possui metodologias/recursos adequados para a compreensão dos conteúdos, explica com clareza os conteúdos e possui uma linguagem clara e objetiva.

A maioria dos alunos também, pelo menos parcialmente, conhecia os assuntos abordados, seja devido a aprendizagem no Ensino Médio, seja devido ao aprendizado no Ensino Superior. A maioria escreveu que apresentou dificuldades na compreensão dos conteúdos.

Um ponto positivo foi a de que todos os alunos pensam que pode-se aplicar tal conteúdo no Ensino Médio, entretanto com alguns ajustes como, reduzir o conteúdo ou ampliar o tempo de aplicação.

A maioria dos alunos afirmaram que tiveram dificuldades no entendimento do conteúdo. Atribuíram isso, especialmente, a grande quantidade de conteúdos para as 40 horas que foram utilizadas para ministrar o curso e também devido a complexidade do assunto.

Para alguns alunos, o material deveria ser mais extenso e devia-se tê-lo imprimido para que fosse mais fácil de acompanhar. Entretanto, como foi cobrado um valor ínfimo para a realização do curso, apenas para pagar as despesas da universidade, não havia recursos para tais impressões, as quais ficaram por conta dos próprios alunos.

Conclusões:

- os alunos consideram que o material, entregue durante o curso, possui metodologias/recursos adequados para a compreensão dos conteúdos, explica com clareza e possui uma linguagem clara e objetiva;
- os alunos do curso consideram importante a utilização da Física aplicada à Medicina para dar sentido aos conceitos de Física;
- alguns conteúdos apresentados no curso eram conhecidos pela maioria dos alunos, entretanto superficialmente e não de modo interdisciplinar como foi apresentado no curso;

- deve-se, para aumentar a aprendizagem dos alunos, aumentar o tempo de aplicação do curso ou diminuir os assuntos;
- há a possibilidade de aplicar os assuntos abordados no Ensino Médio desde que seja de uma maneira mais simplificada e com mais tempo de aplicação;
- para facilitar a aprendizagem significativa é importante possuir o material impresso;
- deve-se detalhar mais o material;
- as respostas dos alunos forneceram indícios, de que a Física aplicada à Medicina facilita a compreensão de conceitos de Física;

Para buscar indícios de quais abordagem (ns) e estratégia(s) são mais facilitadoras da aprendizagem significativa da Física aplicada à Medicina foi analisado as questões: 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21 e 23 do APÊNDICE G- Análise das aulas.

Todos os alunos afirmaram que os exemplos, os exercícios, as várias atividades diferenciadas, tais como jogos e atividades experimentais, a dimensão dos conteúdos, a sua ordem, aparência, incluindo as imagens presentes nos materiais usados em sala de aula, os auxiliaram na compreensão dos conteúdos.

Os alunos também colocaram que todas as dinâmicas foram agradáveis, oportunizaram um bom entendimento do conteúdo e que as atividades foram detalhadas com clareza.

As atividades mais citadas pelos alunos que gostaram foram: 1º) gravar as situações-problema (3); 2º) atividades experimentais (2); 3º) apresentação oral (2); 4º) Simulações computacionais (1); 5º) novas tecnologias (1).

Dois alunos não gostaram de fazer os mapas conceituais.

Na questão 19 foi solicitado aos alunos que colocassem quais foram às atividades que eles achavam que mais haviam proporcionado compreensão dos conteúdos, essas atividades foram: 1º) gravar as situações-problema (2); 2º) todas as atividades (1); 3º) apresentação oral (1); 4º) a parte teórica munida de exemplos gráficos (1); 5º) explicação da pesquisadora (1).

Na questão 21 todos os alunos se posicionaram positivamente em relação à estratégia utilizada na sala de aula, citando a importância de aulas expositivas, assim como Ausubel (2002) propõe. Um dos alunos colocou a necessidade de ser fornecido mais atividades extraclases. Não deixou claro o porquê dessa afirmação, pois fora da sala de aula eles tinham como objetivo, antes do término do curso, fazer 11 mapas conceituais a partir dos conteúdos trabalhados e corrigi-los.

Na última questão uma das alunas colocou que o conteúdo seria mais fácil se o curso tivesse sido dado em um momento posterior da graduação, quando eles já tivessem visto, pelo menos, as Físicas básicas.

Conclusões:

- foram encontrados indícios de que as abordagem (ns) e estratégia(s) que mais facilitam a aprendizagem significativa são a gravação das situações-problema, as atividades experimentais, a apresentação oral, as explicações, a parte teórica em conjunto com representações;
- segundo os alunos, a abordagem que eles mais gostaram e que mais facilitou a compreensão dos conteúdos foi a gravação de situações-problema, por isso, essa metodologia será mais enfatizada;

- pedir aos alunos que façam menos mapas conceituais, pois esta foi a única metodologia que os eles não gostaram;
- incentivar os alunos a falarem mais, pois isso foi considerado por eles como muito importante na construção do conhecimento;
- os exemplos, os exercícios, as atividades lúdicas (atividade experimental e jogos) ajudaram na compreensão dos conteúdos, ao mesmo tempo que a dimensão do material foi considerada satisfatória;
- as imagens contidas no texto auxiliaram na compreensão;
- em relação às atividades desenvolvidas, todos afirmaram que essas foram dinâmicas, detalhadas com clareza e agradáveis, além de oportunizarem que eles compreendessem bem o conteúdo;
- continuar com a utilização de atividades experimentais e novas tecnologias, pois estas ajudaram os alunos a compreenderem os conteúdos abordados;
- investigar a importância dos *feedbacks*, uma vez que os alunos não mencionaram tais retornos.

5.3.8 Mudanças necessárias para a próxima etapa

Através da terceira aplicação do curso, chegou-se às seguintes conclusões de mudanças necessárias para a próxima etapa:

1. desenvolver o curso com menos tempo por encontro e oportunizar mais encontros;
2. aumentar a carga horária do curso;
3. pedir que os alunos realizem atividades a distância e que as entreguem antes do último encontro, sem deixar que tais atividades se estendam demais;
4. fazer as análises dos dados antes do último encontro, registrando em uma ficha as dificuldades que os alunos apresentaram e discuti-las com cada aluno, a fim de buscar elucidação para os equívocos que os alunos apresentaram antes de responder os pós-testes;
5. investigar a importância dos *feedbacks*, já que os alunos não mencionaram tais retornos.

5.4. Aplicação para alunos da Licenciatura em Física e professores do Ensino Médio do Rio Grande do Sul

5.4.1 Descrições das aulas e diário de bordo

Inscreveram-se para o curso 28 pessoas. O primeiro dia começou com a participação de 13 alunos, depois chegaram mais 5, totalizando 18 alunos. Destes, cinco estavam fazendo Licenciatura de Física na UFRGS (quatro no primeiro e uma no quinto semestre), um é formado em bacharelado, um leciona em um Instituto Federal do Rio Grande do Sul (IFRGS) e onze são professores estaduais.

O curso possuiu uma carga horária de 40 horas, distribuídas em quatro encontros presenciais de 8 horas cada e oito horas a distância, as quais foram utilizadas para a confecção de alguns mapas conceituais e para sua correção.

No primeiro dia a aula começou às 08h15min. Inicialmente, os alunos responderam respondendo a três questionários: o pré-teste, o questionário que visava identificar os

conhecimentos prévios e um questionário qualitativo, cujas respostas foram avaliadas e se encontram, respectivamente, nas seções 5.4.7 Análise do pré e pós-teste, 5.4.2 Análise conhecimentos prévios e 5.4.3 Questionário qualitativo. Terminaram de responder às 09h30min.

Indagou-se aos alunos: se fossem colocados três celulares em torno das pipocas e se fosse ligado, simultaneamente, para eles, o que ocorreria com as pipocas? Elas eclodiriam? Alguns alunos falaram que as pipocas eclodiriam, pois, segundo eles, a radiação emitida energia suficiente. Outros afirmaram que as pipocas não estourariam, pois, segundo eles, a energia das ondas de celular é muito inferior à energia das ondas do infravermelho e do micro-ondas que são usadas para estourar pipocas.

Depois foi desenvolvida a atividade sugerida: colocaram os celulares em torno às pipocas e ligaram para eles. Foi observado que nenhuma pipoca estourou.

A partir disso, começou-se a explorar as diferenças entre as radiações, as relações existentes entre comprimento, frequência e energia das ondas e as diferenças e semelhanças entre as ondas longitudinais, transversais e eletromagnéticas.

Em seguida, lançou-se a primeira situação-problema descrita na seção 5.2.5 Análises das situações-problema. De forma análoga ao que ocorreu nas outras aplicações, não conseguiram responder tal situação- problema, o que indica que não tinham subsunçores para isso.

O único aluno que arriscou um palpite relacionou corretamente o uso do chumbo com a sua densidade. Entretanto, não conseguiu explicar corretamente a relação da densidade com a absorção da radiação pelo chumbo, para tanto usou o conceito de reflexão. Ele falou que: “o material é muito denso, então a radiação bate nele e é refletida de volta” (Dirlei). Quando lhe foi indagado sobre o que ocorre com a radiação que é refletida pelo chumbo e por que não se pode usar, por exemplo, madeira que também tem alta densidade, ele não conseguiu explicar.

Passou-se, na sequência, para a apresentação oral, a qual foi intercalada com simulações computacionais. Mostrou, em um mapa conceitual, os equipamentos que iriam ser utilizados ao longo do curso visando dar sentido a alguns conceitos de Física. Mostrou-se que aquela aula pretendia explicar o aparelho de Ultrassonografia, a produção de radiação alfa, beta (positivo e negativo), radiação gama e Raios-X e a interação da radiação com a matéria (efeito fotoelétrico, efeito Compton e Produção e Aniquilação de Pares). O último tópico, porém, não foi possível abordar na primeira aula, devido as limitações de tempo.

Na apresentação diferenciou-se Física Clássica, Física Moderna e Contemporânea. Explicou-se que Física Clássica é composta pela Mecânica, Eletromagnetismo, Óptica, Termologia e que a Física Moderna é composta pela Relatividade (Geral e Restrita) e pela Física das Partículas. A Física Contemporânea trata dos conhecimentos da Física a partir da década de 40.

Em seguida, foi mostrado um esquema do equipamento de Ultrassonografia, com suas partes constituintes. Explanou-se, superficialmente, sobre a função de cada uma, e explicou-se que, posteriormente, seriam analisadas cada uma das partes mais profundamente. Explicou-se sobre os tipos de ondas e suas características.

A partir das placas de trânsito da velocidade permitida, chegou-se à fórmula da velocidade para a mecânica e para as ondas. Para isso, relacionou-se a distância percorrida com o comprimento de onda e o tempo com a frequência.

Em seguida, utilizou-se método PIE, perguntando aos alunos antes de realizarem a simulação: 1. O que vocês acham que ocorrerá, se as ondas estiverem em fase? 2. E se elas estiverem em fases opostas?

A simulação encontra-se em:

<http://www.fsc.ufsc.br/~ccf/parcerias/ntnujava/waveSuperposition/waveSuperposition.html>

Os alunos que responderam oralmente, expressaram corretamente, que, quando as ondas estão em fase, elas se somam e aumentam sua amplitude (interferência construtiva), ao passo que, se as ondas estiverem em fases opostas, elas se anulam (interferência destrutiva).

Em seguida, foi iniciada a explicação do que é reflexão e refração. Exemplificou-se a refração do seguinte modo: quando é colocado um lápis em um copo com água e se tem a sensação de que ele está quebrado, isto deve-se ao fato de que os raios de luz ao passarem do ar para a água têm “maior dificuldade de se mover”. Essa “dificuldade ou facilidade da luz de se movimentar” em um meio chama-se de índice de refração e cada material possui um valor próprio. Diminuindo a velocidade da luz, este se aproxima da normal (há um desvio na trajetória do feixe de luz), diminuindo o comprimento de onda enquanto a frequência permanece a mesma. Pode-se perceber isso, pois as cores são modificadas em relação à frequência e, como não há uma modificação das cores, significa que a frequência da onda no meio 1 e no meio 2 são as mesmas.

Explicou-se a diferença entre reflexão difusa e regular. Para isto, utilizou-se o exemplo das tábuas de madeira antes e depois de passar cera e lustrá-la. Antes, a madeira apresenta uma superfície irregular, então os raios de luz incidem sobre ela e são espalhados em direções diferentes, não gerando imagem. Quando se passa cera e se lustra a superfície da tábua, essa fica regular, então os raios de luz, ao incidirem sobre ela, são refletidos na mesma direção, formando a imagem do objeto que está sobre ela.

Iniciou-se a explicação das leis da refração e da reflexão, chegando até a lei de Snell, a reflexão total e a refração em duas lâminas. Em seguida, foi feita uma simulação que encontra-se em: <http://www.fsc.ufsc.br/~ccf/parcerias/ntnujava/propagation/propagation.html>. Mas antes de ver a simulação, indagou-se aos alunos: O que vocês acham que irá ocorrer quando a onda passar de um meio a outro: a) com a velocidade? b) com o comprimento da onda? c) com a frequência?

Em seguida, passou-se a estudar sobre as características do som (altura, timbre, intensidade, velocidade, comprimento de onda e frequência) e as características do timbre (forma da onda, envelope sonoro- ataque, decaimento, sustentação e relaxamento). Foi utilizado, para que os alunos compreendessem melhor tais características, o programa *Audacity*. Nesse programa há a possibilidade de mudar a altura do som, as suas características, colocar eco, observar esses fatores e gravar o que os alunos falam.

Explicaram-se as características do infrassom e do ultrassom mostrando suas diferenças e semelhanças em relação ao som. Posteriormente, explicou-se que o ultrassom é utilizado no aparelho de Ultrassonografia, que é empregado para saber informações sobre: tamanho, anomalias, anatômicas e função de algumas partes do corpo humano.

Na sequência, foi mostrado o esquema de um aparelho de ultrassom, uma imagem de um ultrassom móvel e de um fixo e começou-se a explicar cada uma das partes do aparelho, desde o fornecimento de corrente elétrica pela fonte até a formação da imagem no monitor.

Foi perguntado aos alunos se já haviam feito algum exame com ultrassom, a maioria respondeu que haviam feito devido a gravidez e dois responderam que fizeram para diagnosticar pedra nos rins. Explicou-se que o ultrassom também pode ser utilizado para saber se alguma veia está dificultando a passagem de sangue, através do efeito Doppler, e qual é o procedimento para fazer isso.

Em seguida, foi explicado como é construído um mapa conceitual, como funciona o *software Cmap Tools* e foi solicitado para que os alunos, em duplas, fizessem um mapa conceitual para posterior apresentação e discussão sobre o aparelho de Ultrassonografia. A pesquisadora e os alunos ofereceram várias sugestões de como melhorá-los, e essas guiaram o trabalho dos alunos no sentido de melhorar os mapas conceituais. Tais mapas foram analisados junto com os demais na seção 5.4.5 Análise mapas conceituais.

Percebeu-se, durante a apresentação, que muitos alunos não conseguiam explicar (utilizando a indução eletromagnética) como surgia uma onda eletromagnética e posteriormente uma onda mecânica através do material piezoelétrico. Percebeu-se então a necessidade de, na próxima aula, trazer alguma simulação para explicar como a corrente elétrica alternada gera uma onda eletromagnética e uma simulação para explicar o inverso.

Depois de os alunos explicarem os mapas, eles foram divididos em cinco grupos. Para quatro desses foram entregues figuras representando os diferentes tipos de radiação eletromagnética. Esses grupos tinham como objetivo apresentar as radiações que foram fornecidas a eles, colocando o comprimento de onda, a frequência, a energia, identificando as relações entre elas, bem como apresentando aplicações de cada uma. Para o quinto grupo entregou-se o espectro eletromagnético e sua divisão em radiações ionizantes e não-ionizantes. Este grupo tinha como objetivo explicar o que é radiação ionizante e não-ionizante para tecidos biológicos humanos. Cada um dos grupos apresentava e depois colava no quadro montando uma tabela com o espectro eletromagnético e sua divisão em radiações ionizantes e não-ionizantes.

Foi feita, em seguida, a simulação que se encontra em: <http://lectureonline.cl.msu.edu/~mmp/applist/Spectrum/s.htm>. Antes de fazer a simulação, foram feitas as seguintes perguntas: **a)** o que acontece com a energia se aumento a frequência da onda? **b)** o que acontece com o comprimento de onda se aumento a frequência da onda? **c)** quais dessas radiações são mais perigosas para os seres humanos?

Os alunos que as responderam, relacionaram corretamente a energia e a frequência com o comprimento de onda e identificaram corretamente que as radiações mais perigosas para os seres humanos são os Raios-X e os raios gama, fornecendo indícios de que a atividade anterior os ajudara a compreender essas relações.

Em seguida, passou-se a seguinte definição de radiação: “Em Física, radiação é a propagação da energia por meio de partículas ou ondas” (Okuno, 1982, p. 52). Foi solicitado a eles que identificassem o problema dessa afirmação. Nenhum aluno conseguiu identificar que há partículas, como por exemplo, um meteoro (que é uma partícula em relação ao sistema solar, por exemplo) que propagam a energia, mas nem por isso são consideradas radiações e que há ondas (por exemplo, o ultrassom) que não são consideradas radiação. É considerado, pela pesquisadora, uma boa definição de radiação: a radiação é a propagação de energia por meio de partículas emitidas pelo núcleo atômico ou de ondas, emitidas tanto pelo núcleo como pela eletrosfera dos átomos.

Na sequência, foi apresentado o modelo atômico de Bohr. Explicou-se que esse modelo já foi ultrapassado pelas teorias da Mecânica Quântica, mas que foi utilizado no curso tal modelo, pois ele facilita a explicação das formas de produção de radiação e da interação da radiação com a matéria.

Em seguida, mostrou-se uma tabela periódica, explicando que uma das formas que ela é organizada é a partir do número atômico (número de prótons). Explicou-se, também, que um átomo pode ter o mesmo número atômico, mas ter uma massa nuclear diferente em função de haver número de nêutrons diferentes. Nesse caso se diz que os átomos são isótopos, se eles emitem radiação são chamados de radioisótopos. Também foi ensinado aos alunos que *iso*

significa mesmo e *topos* significa lugar, ou seja, que eles estão no mesmo lugar da tabela periódica.

Explicou-se que no núcleo há a atuação de três forças, a força nuclear forte, a força nuclear fraca e a força elétrica. A primeira é responsável pela atração entre os prótons e a última pela sua repulsão. Relacionaram-se essas forças ao decaimento radioativo.

Na sequência, foi explicado como ocorre a emissão de partículas alfa (dois nêutrons e dois prótons), mostrando, para facilitar a compreensão, a seguinte simulação computacional: http://phet.colorado.edu/simulations/sims.php?sim=Alpha_Decay. Antes da simulação, foram feitas as seguintes perguntas: a) o que irá acontecer com o peso atômico quando há a emissão de radiação alfa? Justifique. b) Se coloco mais átomos no sistema, o que ocorre com a emissão de radiação alfa? Justifique.

Mostrou-se, em seguida, como é produzida a radiação beta mais (pósitron), a radiação beta menos (elétron) e a radiação gama. Mostrando a forma de bloquear cada uma delas e porque o bloqueio de radiação tem a seguinte ordem crescente de facilidade: gama, beta e alfa.

Em seguida, explicou-se que os Raios-X são produzidos de duas formas: 1) característico, que são usados na mamografia; 2) freamento, usados nos demais exames e tratamentos. Explicou-se cada uma delas e o porquê da sua utilização em equipamentos específicos.

Foi explicado o funcionamento do *V de Gowin*, através de um modelo de um que já estava pronto. Também foi mencionado que esse diagrama pode ser utilizado em atividades experimentais, como uma alternativa para os roteiros tradicionais “fechados”, que pouco estimulam a criatividade e, frequentemente, geram aprendizagem mecânica.

Os alunos dividiram-se em quatro grupos. Cada um realizou uma atividade experimental, estudando seu funcionamento, utilizando algumas simulações que estavam no material de apoio (APÊNDICE M - Material de apoio). Responderam algumas questões relativas à atividade. Fizeram um *V de Gowin* e apresentaram os resultados para os demais.

Um dos grupos não fez o V, pois em uma das atividades experimentais utilizava-se uma lâmpada que deixou de funcionar durante o desenvolvimento da atividade, então eles acabaram indo para os outros grupos, havendo então três apresentações. Os Vs entregues, bem com as suas apresentações foram analisados na seção 5.4.4 Análise V de Gowin.

Como uma parte do curso foi a distância, solicitou-se aos alunos que fizessem um mapa conceitual extraclasse sobre as formas de produção de radiação para ser apresentado na aula seguinte.

No segundo encontro (dia 28 de agosto de 2010), vieram sete alunos. Três dos alunos que estavam inscritos e que eram de outras cidades haviam avisado, anteriormente, que não poderiam mais participar do curso devido a problemas com o transporte. Para os demais, foi-lhes enviado e-mail pedindo que justificassem o motivo de não comparecerem; todos responderam que não poderiam mais participar, pois haviam começado as aulas de reforço de Física, no sábado de manhã, ou porque precisavam ministrar aulas aos sábados.

Começou a aula com revisão do conteúdo da aula anterior. Receberem uma atividade simples de índice de refração. Essa atividade consistia dos seguintes materiais: um copo cheio de glicerina e um vidro que também continha glicerina em seu interior. Colocou-se o vidro com glicerina dentro do copo e, ao olhar através desse conjunto, não era possível identificar o vidro dentro do copo. Explicou-se que isso se deve ao fato de o índice de refração da glicerina e do vidro serem muito parecidos e, dessa forma, os raios de luz não sofrem desvios quando passam de um material à outro.

Percebeu-se, na aula anterior, que muitos alunos estavam com dificuldades em relação ao conteúdo de indução eletromagnética, conceito importante para o entendimento do ultrassom. Devido a isso, a pesquisadora trouxe uma simulação referente a esse assunto. Antes de fazer a simulação, foram discutidas, em grupo, as seguintes questões:

- o que acontece com as medidas, marcadas no amperímetro, se aproximo um ímã de um fio de luz que está ligado a um amperímetro? Justifique;
- se mantenho um ímã imóvel próximo a um fio de luz que está ligado a um amperímetro, o que acontece com as medidas feitas no instrumento? Justifique;
- o que acontece, com as medidas marcadas no amperímetro, se afasto um ímã de um fio de luz que está ligado a um amperímetro? Justifique;
- o que acontece com uma bússola se aproximo dela um ímã? Justifique;
- o que acontece com uma lâmpada que está ligada em um solenóide, se eu aproximo e afasto um ímã dele? Justifique;
- o que acontece com uma bússola, se a aproximo de um solenóide ligado a uma pilha? Justifique;
- o que ocorre se aproximo um solenóide de outro solenóide, sendo que o primeiro solenóide está ligado a uma pilha e o segundo está ligado a uma lâmpada? Justifique;
- o que acontece com a intensidade da luz de uma lâmpada, que está ligada num solenóide, se aproximo dele, periodicamente, o pólo norte e depois o pólo sul? Justifique.

Depois foi feita a seguinte simulação: <http://www.pesquisadoraraujo.com.br/simulacoes.php>, confrontando com o predito pelos alunos.

Na sequência, foram explicados os tipos de interação da radiação com a matéria: efeito fotoelétrico, efeito Compton, produção e aniquilação de pares, explicando cada um deles e diferenciando-os.

Explicou-se o efeito fotoelétrico, mostrando quais são os fatores necessários para que ele ocorra, iniciando com a sua conceitualização e depois formalizando-o. Antes de uma simulação sobre o efeito fotoelétrico, foi solicitado que os alunos respondessem, por escrito e individualmente, as seguintes questões:

- 1) para conseguir arrancar elétrons de um material o que tenho que alterar?
- 2) se aumento a intensidade da luz incidente o que ocorre: a) quando já estão sendo arrancado elétrons do material; b) quando não há corrente elétrica.
- 3) se aumento a voltagem o que ocorre: a) com a corrente elétrica quando há efeito fotoelétrico; b) com a energia cinética dos elétrons.

Foi confrontado o previsto pelos alunos com a simulação que encontra-se em: <http://www.fisica.ufpb.br/~romero/objetosaprendizagem/Rived/20EfeitoFotoeletrico/Site/Animacao.htm>

Em seguida, mostrou-se a aplicação do efeito fotoelétrico no acendimento automático das lâmpadas, no olho humano e na radiologia.

O aluno Marcelo (*nome fictício*) fez os seguintes questionamentos: 1) “há possibilidade de pensar o efeito fotoelétrico em termos de ondas? se há posso pensar que se o elétron possui uma onda associada a ele, quando encontra uma onda com frequência similar ou igual ocorre ressonância e por isso o elétron é arrancado?” 2) a célula fotovoltaica é a mesma coisa que a célula fotoelétrica?

Foi debatido, entre os alunos e a professora, sobre as duas perguntas do aluno Marcelo. Na sequência, foram discutidos alguns fatos históricos relativos à teoria ondulatória

X teoria corpuscular da luz, mostrando que o efeito Compton foi importante para mostrar que, nesse caso, a onda não se comporta com onda, mas sim como partícula.

Explicou-se o efeito Compton, quais os fatores que interferem no seu surgimento e quais as consequências deste efeito na formação das imagens radiográficas.

Depois explicou-se sobre produção de pares e foi solicitado para os alunos fazerem o seguinte cálculo: sabe-se que a massa do elétron é: $9,1083 \times 10^{-31}$ Kg, a velocidade da luz é 3×10^8 m/s. Calcule a energia mínima necessária para que ocorra a produção de pares.

LEMBREM-SE $1\text{eV}=1,6 \times 10^{-19}$ J

Esse cálculo tem como objetivo encontrar a energia mínima (1,02 MeV) necessária para que ocorra a produção de pares.

Explicou-se depois sobre a aniquilação de pares e foi feito o seguinte questionamento antes da simulação computacional (http://www.lip.ualg.pt/testes/Fisica_Radiacoes/Pastas%20interiores/EfeitoProdPares.htm):

1) o que acontecerá quando um fóton passar próximo ao núcleo de um átomo e possuir: a) energia igual a 1,02 MeV; b) menor que 1,02 MeV e c) superior a 1,02 MeV?

Explicou-se que a aniquilação de pares é utilizada na PET e foram feitas as seguintes perguntas antes da simulação computacional (<http://saude.hsw.uol.com.br/Medicina-nuclear2.htm>):

1) o que ocorre quando um elétron e um pósitron se chocam? a) com a direção do movimento; b) com a energia; c) com a massa;

2) quais são as diferenças e semelhanças entre um pósitron e um elétron?

Em seguida, mostrou-se um gráfico do número atômico do absorvedor em função da energia do fóton e em quais dessas faixas cada interação da radiação com a matéria é predominante.

Na sequência, foi gravada a primeira situação-problema, que está descrita na seção 5.2.5 Análises das situações-problema.

Na parte da tarde, foi solicitado que os alunos fizessem um mapa conceitual referente à interação da radiação com a matéria. Estipulou-se um prazo de uma hora para a realização dessa atividade. Em seguida, os alunos apresentaram, individualmente, o mapa que eles haviam feito em casa sobre a produção de radiação e o outro sobre interação da radiação com a matéria, esses mapas foram discutidos. Não foram todos que apresentaram sobre os dois mapas para que a atividade não ficasse muito longa e repetitiva. Essa atividade durou em torno de uma hora e sua análise encontra-se na seção 5.4.5 Análise mapas conceituais.

Apresentou-se aos alunos o segundo organizador prévio, que encontra-se no APÊNDICE M - Material de apoio) para introduzir a ideia de meia vida. Foi discutido sobre qual é o sentido de meia vida para os alunos e depois foi feita uma ponte com o que é meia vida na Física. Mostrou-se quantitativamente como se calcula a meia vida dos elementos radioativos e depois foi feita uma simulação (http://phet.colorado.edu/simulations/sims.php?sim=Alpha_Decay). Para compreender a simulação foram feitas as seguintes perguntas:

1) o que acontece com o peso atômico do Polônio quando chega a meia vida dele?

2) o que acontece com a meia vida do Polônio se passo de 10 à 20 átomos deste elemento?

3) o que acontece com o tempo de decaimento do Polônio se passo de 10 a 20 átomos deste elemento?

Mostrou-se, em seguida, uma tabela com todas as radiações, com a energia de cada uma delas e os efeitos que ocorrem quando essas radiações entram em contato com os seres

humanos. Explicou-se sobre os resultados da Bomba de Hiroshima e Nagasaki e a exposição a qual as pessoas estão envolvidas diariamente.

Foi avisado aos alunos que na outra aula seria explicado sobre o equipamento de Raios-X convencional e sobre o mamógrafo. A aluna Marta (*nome fictício*) se disponibilizou em trazer umas atividades experimentais sobre o diodo, que é uma parte que constitui os equipamentos mencionados.

Foi entregue aos alunos, o mesmo questionário qualitativo, fornecido a eles no primeiro encontro, (APÊNDICE A- Questões qualitativas primeira aula experiência piloto) para que respondessem e através das respostas dos alunos, a pesquisadora pudesse buscar indícios de aprendizagem significativa.

O terceiro encontro começou as 8:30 com quatro alunos, sendo destes três da Licenciatura (dois cursando o primeiro e um cursando o quinto semestre) e um professor do Instituto Federal do Rio Grande do Sul (IFRGS).

Revisou-se, brevemente, o conteúdo da aula anterior. Começou-se então a explicar sobre o aparelho de Raios-X, mostrando um esquema com todas as suas partes, explicando brevemente cada uma delas. Depois começou-se a ensinar, mais profundamente, cada uma das partes do aparelho.

Explicou-se inicialmente o gerador de Raios-X e suas partes: transformadores, os semicondutores e os diodos. O aluno Marcelo falou que estes dispositivos são encontrados também em celulares e falou que já havia desmontado um para ver como ele funcionava.

Nesse ponto a aluna Marta apresentou duas atividades experimentais para mostrar o funcionamento do LED que é um diodo com a propriedade de emitir luz. Em uma dessas atividades o LED acendida na presença de ondas eletromagnéticas. A aluna colocou o aparelho próximo a um fio e não acendeu, ela explicou que não acendia, pois a corrente elétrica é baixa e conseqüentemente o campo magnético presente em torno do fio é de baixa intensidade também. Quando ela colocou próximo a um fio de alta corrente, o LED acendeu. Mesmo depois de afastar o LED do fio ele continuou a brilhar, entretanto cada vez com menos intensidade até a luz se extinguir. Ela explicou o funcionamento de um capacitor, atribuindo a ele o motivo do LED continuar acesso durante um curto intervalo de tempo, mesmo na ausência de ondas eletromagnéticas.

A outra atividade experimental que a aluna fez constituía-se de dois LEDs ligados a um fio de luz que estava conectado a uma tomada. Os dois LEDs acendiam e quando ambos eram girados podia-se ver que ambos piscavam. Isso ocorre, pois os LEDs apenas deixam passar corrente contínua e não a alternada.

Depois foram feitos os seguintes questionamentos em relação à simulação que encontra-se em: <http://phet.colorado.edu/en/simulation/semiconductor>:

1) o que irá ocorrer se for colocado p nas duas partes da placa? Explique a sua resposta;

2) o que irá ocorrer se for colocado n nas duas partes da placa? Explique a sua resposta;

3) o que irá acontecer se for colocado n em uma parte da placa e p na outra? Explique a sua resposta.

Foram feitas as questões para os alunos, mas nenhum deles soube responder. Então mostrou-se, na simulação, o que ocorria. Explicou-se que quando é dopado o material apenas com um material que possui elétrons livres (n), os elétrons se repelem, não havendo, portanto movimento ordenado dos mesmos. O mesmo ocorre quando dopo-se o material apenas com algum elemento que tem mais prótons do que elétrons (p). Entretanto, quando uma parte do semicondutor “sobra” elétrons e em outra “falta”, os elétrons migram para esta parte, gerando,

entre ambas, uma barreira de potencial, que somente é rompida se for fornecida uma diferença de potencial entre elas. Se a voltagem for fornecida por uma pilha, deve-se ligar a parte positiva a parte positiva para que tenha corrente, caso contrário não há corrente elétrica, explicou-se posteriormente, o porquê disso ocorrer.

Em seguida, mostrou-se a eles os circuitos retificadores de meia onda e de onda completa, explicando porque que em um equipamento de Raios-X não utiliza-se apenas um diodo, mas a associação de quatro diodos. A partir dessas explicações voltou-se ao gerador de Raios-X, utilizando os conhecimentos prévios dos alunos referentes aos transformadores, diodos, corrente elétrica, associação de diodos, para explicar o funcionamento do gerador.

Relacionou-se o funcionamento do gerador a energia dos Raios-X e a quantidade de ondas desta radiação. Explicou-se a eles que quando o técnico ou o Físico Médico deseja fazer o exame de uma parte do corpo mais espessa, ele deve aumentar a energia dos feixes de Raios-X. Para fazer isso ele aumenta a voltagem entre o cátodo e o anodo, aumentando o número de voltas da segunda bobina do transformador. Para saber o número de voltas do transformador utiliza-se a equação (3):

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (3)$$

Se for reduzido a corrente elétrica há menos quantidade de ondas e, portanto menos dose de radiação ao paciente, pois tendo mais ondas, estas terão mais probabilidade de se encontrar com os elétrons, sendo absorvidas por eles. Então o ideal é utilizar ondas mais energéticas e menor valor de corrente elétrica. Há, entretanto, um limiar, pois não se pode utilizar valores de kVp muito altos, pois quanto mais energia maior é a probabilidade da radiação romper a membrana celular matando as células. Também é necessário que haja ondas de Raios-X para atravessar o corpo do paciente, para que se possa ter uma imagem formada a partir do corpo. A relação entre kVp e mA é de que se for aumentado 15% de kVp, o mAs pode ser reduzido em 50 %.

A partir disso solicitou-se aos alunos que respondessem: quais são os parâmetros que usariam para escolher a corrente e a voltagem a ser utilizada em um exame?

O aluno Marcelo respondeu que: “se preciso fazer um exame em um paciente espesso vou utilizar mais voltagem, pois os Raios-X precisam ter energia suficiente para atravessar o paciente. Vou utilizar o mínimo de corrente, pois se aumento a corrente aumenta-se também a exposição a que o paciente esta exposto, pois havendo mais corrente há mais ondas e tendo mais ondas há mais probabilidade delas interagirem com a matéria, sendo absorvidas por elas através do efeito fotoelétrico”.

Faltou o aluno comentar sobre o limiar, ou seja, que isso não é infinitamente assim, pois se não há corrente não há ondas e se coloco muita voltagem entre o cátodo e o ânodo há muita energia e estas podem matar células sadias do paciente.

Em seguida, passou-se a explicar sobre as partes formadoras da imagem radiográfica: o filme, o écran e o chassi.

Mostrou-se uma imagem do cérebro e perguntou-se a eles se a densidade da imagem anatômica é a mesma coisa que a densidade radiográfica. A aluna Jaqueline (*nome fictício*) respondeu prontamente que “os dois são inversamente proporcionais, pois se possuo um material mais denso, por exemplo, um osso, a imagem ficará mais clara e, portanto, com menos densidade radiográfica”. A resposta da aluna forneceu indícios de aprendizagem significativa, pois usou o explicado para resolver a questão.

Passou-se, em seguida, a explicação do que são sinais analógicos e do que são sinais digitais, diferenciando-os. Explicou-se que esses tipos de sinais são utilizados nos exames de fluoroscopia, sendo que o segundo apenas é utilizado na fluoroscopia digital.

Foi assistido um curto trecho do filme *Super Homem* no qual o herói ficava próximo a criptonita e rapidamente começa a passar muito mal, não conseguia nem mesmo caminhar. Quando era tirado a pedra de próximo dele, instantaneamente, ele se recuperava e já estava pronto para lutar contra os vilões. Perguntou-se aos alunos se as pessoas fossem expostas a radiações ionizantes isso ocorreria?

A aluna Janáina (*nome fictício*) explicou que: “pode-se ver que isso não ocorre, partindo, por exemplo, do que ocorreu quando foi lançado sobre o Japão a bomba nuclear. Mesmo depois de a fonte parar de emitir radiação, muitas pessoas ainda têm consequências devido à exposição. Pode-se ver essas consequências até hoje, por exemplo, crianças ainda nascem deformadas, devido a que a radiação da época afetou os gametas, o que trouxe consequências para as outras gerações”.

Foi solicitado aos alunos para que gravassem no *Audacity* a resposta à segunda situação-problema: Imagine que você seja um técnico em radiologia e que você precisa distinguir dois tecidos internos que possuem densidades muito semelhantes, como você faria? Pense a sua resposta em termos de contraste.

Os alunos responderam. A resposta foi gravada e comparada com a resposta a mesma pergunta que foi feita posteriormente a explicação do conteúdo. As análises a estas respostas encontram-se na seção 5.4.6 Análise situações-problema.

Explicou-se que os meios de contraste são materiais com densidade diferente do material orgânico que se deseja estudar, dessa forma, se possuem mais densidade absorvem mais radiação e se possuem menos densidade absorvem menos radiação. Neste ponto o aluno Marcelo e aluna Marta falaram o que eles achavam e gravaram no *Audacity*, que os meios de contraste eram materiais que emitiam radiação e que esta era captada externamente ao paciente. Aproveitou-se esta colocação para retomar a aniquilação de matéria, explicada na primeira aula. Explicou-se que o exame no qual é injetado um material que emite radiação é a PET, onde o radioisótopo emite pósitrons que se aniquilam com algum elétron presente no corpo. Essa aniquilação forma dois raios gamas com direções opostas que são detectadas externamente ao corpo. Explicou-se que será aprofundado esse tópico no último encontro que refere-se à Medicina Nuclear.

Em seguida, mostrou-se uma foto de um exame de fluoroscopia contrastado, no qual podia-se ver as veias escuras. Perguntou-se a eles, a partir da observação da figura, se o material injetado possuía densidade maior ou menor? Todos responderam que possuía densidade menor, baseados no que foi explicado a eles no exame de Raios-X convencional, foi explicado a eles que era o contrário, justificando tal afirmação.

Aproveitou-se, este conflito cognitivo, para explicar a diferença na produção de imagem no equipamento Raios-X convencional e na fluoroscopia.

Diferenciou-se a fluoroscopia do ultrassom. Ambos são utilizados para proporcionar imagens dinamicamente em tempo real de estruturas anatômicas e com isso visualizar estruturas e líquidos internos em movimento. Entretanto, o ultrassom, por possuir baixa energia em comparação aos Raios-X, ao incidir sobre materiais densos não consegue atravessá-lo, então apenas pode ser utilizado em materiais que possuam baixa densidade. Por exemplo, se fosse necessário fazer um exame de Ultrassonografia do tórax, o ultrassom passaria pela pele, chegaria aos ossos e não o atravessaria, sendo refletida ao transdutor, ou seja, não seria possível estudar o pulmão e o coração, por exemplo.

Perguntou-se aos alunos: se o aparelho de fluoroscopia tem a mesma função do aparelho de ultrassom, significa que ele deve ficar durante um tempo maior ligado do que o utilizado na radiografia convencional, isso não é prejudicial ao paciente?

Os alunos responderam que fazia mais mal a saúde do paciente, pois ficavam mais tempo expostos a radiação.

Explicou-se que a dose absorvida, pelo paciente, depende do tempo de exposição e da corrente (consequentemente do número de ondas de Raios-X que chegam ao paciente). Para diminuir a dose no aparelho de fluoroscopia utiliza-se menos corrente e, portanto incide sobre o paciente um número menor de ondas de Raios-X. Para que estas ondas sensibilizem as células fotoelétricas, há a necessidade de que estes Raios-X sejam amplificados, por esse motivo, no fluoroscópio, há um amplificador de sinal. Explicou-se a eles como funciona, o amplificador de sinal utilizado no fluoroscópio, diferenciando-o do transdutor.

Mostrou-se um esquema com as partes do fluoroscópio e utilizou-se os conceitos e conhecimentos anteriormente discutidos e ensinados para compreender o funcionamento do aparelho. Ele é composto das seguintes partes principais: 1º) tubo de Raios-X; 2º) mesa do paciente; 3º) tubo intensificador de imagem; 4º) projeção dessa radiação no monitor de televisão; 5º) gravação dessa informação e 6º) pós-processamento da imagem que é feito na central de operações. Todas essas partes já foram vistas anteriormente, então apenas revisitou-se tais assuntos. Explicou-se por que na fluoroscopia o exame é feito na horizontal e por que o emissor de Raios-X está sob o paciente. Sendo assim há o inconveniente de possuir entre o emissor de Raios-X e o detector uma mesa, que para interferir pouco no exame, é feita com um material que possui baixo número atômico.

Em seguida, solicitou-se aos alunos que regravassem a segunda situação-problema e gravassem a terceira situação-problema que é: suponha que vocês possuem o seguinte problema: precisam destruir células cancerígenas de um paciente, estão em um hospital equipado para tanto a) qual tipo de radiação deve-se utilizar? Por quê? Justifique através de explicações físicas; b) quais os procedimentos de segurança que vocês teriam que tomar?

Enquanto eles gravaram percebeu-se que uma dupla, Janaína e Morgana (*nomes fictícios*) pensavam que não se podia utilizar radiação alfa e beta, pois, segundo elas, estas radiações não penetravam na pele, então apenas podia-se usar radiação gama e Raios-X. Depois eles gravaram as resposta às situações-problemas, a pesquisadora discutiu a ideia do grupo com todos.

Começou-se então a explicar que a radioterapia é utilizada para matar células cancerígenas do paciente e é dividida em braquiterapia (fonte interna) e teleterapia (fonte externa). Ambas foram diferenciadas e explicadas.

Explicou-se também que há diferenças entre os Raios-X utilizados na radioterapia e aqueles utilizados em exames, pois os Raios-X usados no primeiro são mais energéticos que as do último. Para que eles se tornem mais energéticos é necessário fornecer mais energia aos elétrons que irão produzir Raios-X, para isso usa-se os aceleradores lineares e circulares. Explicou-se cada um deles, chegando à explicação do LHC e a sua utilização.

Na sequência, solicitou-se aos alunos que gravassem novamente a terceira situação-problema.

Foi solicitado aos alunos que cada um fizesse um mapa conceitual sobre um dos seguintes assuntos: 1) o equipamento de Raios-X convencional e da mamografia; 2) Fluoroscopia analógica e digital; 3º) formação de imagens analógicas; 4º) Radioterapia: Braquiterapia e Teleterapia. Dois alunos fizeram sobre o segundo assunto que era o mais longo dos quatro. Os alunos terminaram a confecção dos mapas pela manhã.

À tarde, não havia energia elétrica, então os alunos foram para uma sala com gerador de luz e que o projetor multimídia funcionava a partir dele. Os alunos começaram apresentando seus mapas, um por vez, levando em média 15 minutos de apresentação cada um. Todas as apresentações foram gravadas. O final da aula estava aberto a perguntas e discussões. Ninguém perguntou nada aos alunos, o que faz parte da cultura, pois, dificilmente, observam-se pessoas indagando outras durante ou ao final de apresentações. Para mudar esse quadro, foi proposto, na última aula, que cada aluno preparasse, pelo menos, uma questão para cada apresentação.

Em seguida, mostrou-se o mapa conceitual do curso e falou-se que seria trabalhado na sequência sobre: 1) detectores de radiação; 2) Ressonância Magnética Nuclear; 3) Tomografia: linear, computadorizada e computadorizada helicoidal. Foi colocada, nesta aplicação, a RMN antes das tomografias, pois na última aula seria continuada a explicação sobre as tomografias que funcionam com a emissão de radiação gama.

Começou-se com um organizador prévio que se encontra no seguinte endereço eletrônico: http://www.youtube.com/watch?v=pGttA5_rABw. Nesse, um urso ficava caminhando ao longo do dia e reparando no que ocorria com sua sombra em relação à posição do Sol.

Em seguida, foi feita a situação-problema número 4: “suponha que: você encontra-se com seu filho no colo à espera de realizar um exame de Tomografia Computadorizada Helicoidal. Ele ouviu o médico falar que o equipamento irá fazer uma volta de 360° em torno do seu pai, mas o menino ficou intrigado e perguntou: ‘Pai, o aparelho de TC não possui vários cabos? Se não possui, como o equipamento funciona?’ Explique a ele”.

Explicou-se que há um programa chamado *Modellus*, que é utilizado em simulações computacionais. Tal programa será utilizado apenas na próxima aula pela falta de luz.

Mostrou-se uma tabela que continha todos os detectores de radiação que seriam explicados no curso e explicou-se, de forma mais geral, cada um deles. Passar-se-ia, posteriormente, a explicá-los mais detalhadamente.

Iniciou-se explicando os detectores a gás. Apresentou-se aos alunos um esquema onde continha todas as partes deste tipo de detector. Explicou-se detalhadamente cada uma delas. Mostrou-se que os detectores a base de gás são divididos em três tipos: câmara de ionização; contadores proporcionais e detectores Geiger-Muller. Tais tipos foram explicados e diferenciados.

Foram feitas as seguintes indagações aos alunos: 1) como se pode fazer para aumentar a sensibilidade do detector? 2) como você faria um detector que não fosse à gás?

Para a primeira questão, forneceram as seguintes respostas: aumentar a voltagem, não colocar gases nobres, pois eles são difíceis de sofrerem ionização. Complementou-se que se pode aumentar o tamanho do detector, pois, assim, haverá maior quantidade de gás para fazer a ionização ou/e aumentar a pressão, conseguindo, desta forma, mais densidade de gás, o que o torna mais sensível.

Na segunda questão, os alunos conseguiram imaginar que é possível fazer um detector de estado sólido, que funciona a partir do efeito fotoelétrico. Não mencionaram outros tipos de detectores.

Mostrou-se que a diferença entre os detectores a gás está relacionada à voltagem que possuem no ânodo central, que foi uma das variáveis que os alunos mencionaram que se mudassem alteraria a sensibilidade do detector. Para ilustrar isso, mostrou-se um gráfico do sinal de saída em função da voltagem da câmara e o relacionou ao efeito fotoelétrico.

Em seguida, mostrou-se um esquema do funcionamento de um detector de cintilação e de um detector sólido, utilizando conceitos físicos para explicar detalhadamente seu funcionamento.

Foi explicado que há a necessidade de haver dosímetros que acumulam radiação para que esta seja medida periodicamente. Este tipo de dosímetro pode ser de dois tipos: 1) dosimetria de termoluminescência e 2) dosimetria estimulada opticamente. Explicou-se detalhadamente cada uma delas.

Perguntou-se aos alunos: por que se usa, na luminescência estimulada opticamente, um laser? Nenhum dos alunos soube responder, então lhes foi explicado isso.

Em seguida, colocou-se em um slide o nome de cada um dos dosímetros, retomando, de forma mais geral, cada um deles.

Como não havia internet disponível, não foi passado a eles a reportagem e a simulação referente à RMN. Mostrou-se uma foto do aparelho, explicou-o, de forma mais geral, posteriormente detalhando cada parte.

Na RMN há a necessidade de um campo magnético intenso, este pode ser conseguido a partir de: 1) magnetos supercondutores; 2) magnetos resistivos; 3) magnetos permanentes. Explicou-se inicialmente cada um deles e depois eles foram diferenciados.

Foi explicado, no quadro negro, que os prótons que se encontram no núcleo possuem spin. Este entende-se simplificada por giro, sabe-se, porém, que não é um giro, mas apenas o momentum magnético do próton. Quando o número atômico do material é par, os momentos se anulam. Como o hidrogênio possui apenas um próton e as pessoas são formadas em grande parte por água, a qual, por sua vez, é formada por hidrogênio, são esses átomos que são utilizados na RMN. Explicou-se, em seguida, a realização do exame e do funcionamento do aparelho.

O aluno Marcelo perguntou: “como ocorre esta ressonância, ou seja, a interação entre a onda de RF e os prótons? Pode-se pensar esta resposta em termos de que o próton possui características ondulatórias?” Discutiu-se esta questão em aula.

Foi explicado que a RMN utiliza contraste, mas que este é diferente dos utilizados nas radiações ionizantes. Para mudar o contraste do estômago do paciente basta solicitar que, antes do exame, ele ingira água, ou seja, o contraste na RMN não muda a densidade do meio, mas o campo magnético local do tecido que está sendo examinado.

Tecidos cancerígenos e não-cancerígenos não irão reagir da mesma maneira com o campo magnético externo, devido à diferença na quantidade de átomos de hidrogênio entre eles e criarão sinais diferentes. Eles possuem número de átomos de hidrogênio diferentes, pois os tecidos cancerígenos se reproduzem mais do que os demais tecidos, e, assim, utilizam mais água. Estes sinais variantes são transferidos ao computador, permitindo que sejam visualizadas anomalias nos tecidos melhor do que sem utilizar o contraste.

Perguntou-se aos alunos por que do nome Ressonância Magnética Nuclear. A aluna Marta respondeu corretamente que: “a palavra ressonância deve-se a que o próton do hidrogênio entra em ressonância com uma onda de radiofrequência; magnética deve-se a que há a necessidade de um campo magnético externo para a realização do exame; e nuclear deve-se a que o processo ocorre nos prótons”.

Na sequência, perguntou-se aos alunos: quais são as vantagens e desvantagens da RMN em relação aos outros equipamentos estudados até o momento?

O aluno Marcelo, falou que: “vejo duas desvantagens: 1) os exames de ressonância são muito caros, em torno de R\$ 700 a R\$ 900, dependendo da extensão do corpo que há a necessidade de fazer o exame; 2) que pessoas que possuem algum implante metálico são impedidas de realizá-lo. Não vejo problema quanto às pessoas claustrofóbicas, para resolver

estes casos é necessário apenas dar algo para elas dormirem. Percebo muitas vantagens: melhora a imagem, não utiliza radiação ionizante e é um equipamento automatizado”.

Colocou-se um slide novamente com uma imagem do aparelho de RMN e recapitulou-se os pontos principais estudados em relação a ele, fazendo a reconciliação integradora proposta por Ausubel (2002).

Iniciou-se a explicação dos aparelhos de Tomografia. No primeiro slide, sobre este assunto, há o nome dos cinco tipos de tomografias que foram abordados no curso: 1) Tomografia linear; 2) Tomografia Computadorizada; 3) Tomografia Computadorizada Helicoidal; 4) Tomografia Computadorizada Helicoidal de Múltiplos Cortes; 5) Tomografia Nuclear. Apontaram-se as características de cada uma, suas semelhanças e diferenças e foi explicitado que a Tomografia Nuclear, que faz parte da Medicina Nuclear, seria abordada com mais detalhes no último encontro.

Explicou-se, detalhadamente, o funcionamento da tomografia linear e da tomografia computadorizada diferenciando-os. Foi feito a eles a seguinte indagação: “quais são as diferenças entre tomografia computadorizada, tomografia linear e radiografia convencional?”

Os alunos forneceram as seguintes respostas: 1) na tomografia computadorizada é utilizado computador enquanto que nas outras duas são utilizados filmes; 2) na tomografia linear e na tomografia computadorizada ao contrário da radiografia convencional a fonte e o emissor são móveis; 3) na tomografia computadorizada há a formação de imagens tridimensionais, nas outras duas são formadas imagens bidimensionais.

Em seguida, mostrou-se a evolução da tomografia. No começo, havia apenas um emissor e um detector, na quarta geração há apenas um emissor de Raios-X e milhares de receptores que funcionam a partir do efeito fotoelétrico. Depois, surgiu a Tomografia Computadorizada Helicoidal que evoluiu para a Tomografia Computadorizada Helicoidal de Múltiplos Cortes e hoje as Tomografias mais evoluídas são as PET e as SPECT.

Explicou-se um aparelho de Tomografia mais geral, ou seja, com as partes que há em todas as Tomografias e, após, passou-se a diferenciação delas.

Diferenciou-se o que são colimadores e filtros.

Perguntou-se aos alunos: “Quais são algumas vantagens e algumas desvantagens da TC?” Eles citaram duas desvantagens: 1) utiliza radiação ionizante; 2) custo alto do aparelho e conseqüentemente dos exames. Colocaram três vantagens: 1) o exame é automatizado; 2) há uma melhor qualidade na imagem em relação à radiografia convencional; 3) pode ser feito imagens em 3D.

No último encontro, foram revistos, de forma mais geral, os conteúdos da aula anterior, com a reportagem e a simulação da Ressonância Magnética Nuclear.

Foi solicitado que os alunos respondessem a situação-problema número quatro, já mencionada na aula anterior. Também lançou-se a situação-problema número 5 que é: durante muito tempo, imaginou-se que os olhos imitam radiação que incidia sobre os objetos que a refletiam e que essa radiação, segundo essa teoria, era vista pelo observador. Hoje, na PET, ocorre algo semelhante. O pósitron, antipartícula do elétron, ao se encontrar com o elétron se aniquilam, transformando a massa dos dois em energia, segundo a equação de Einstein $E=mc^2$. Como você explicaria as diferenças e semelhanças entre os dois fatos narrados para seus alunos no Ensino Médio? Como você provaria que a teoria de emissão de radiação pelos olhos está incorreta?

Foram discutidos alguns pontos que apresentavam algumas confusões nos mapas conceituais e nas situações-problema: 1) se for injetada uma substância na célula cancerígena com densidade maior, há a absorção de radiação, dessa forma serão destruídas mais células

em torno? 2) foi esclarecido aos alunos que a braquiterapia não é quando se injeta materiais mais densos do que as células cancerígenas. Foi reexplicado o que é.

Em seguida foi passado um breve filme presente em http://www.youtube.com/watch?v=bTzr6Ulw_e0 que mostra um jogador de sinuca, fazendo várias demonstrações de jogadas.

Posteriormente, foi-lhes perguntado se as bolas utilizadas em um jogo de sinuca são partículas. Então, foi-lhes explicado que os corpos apenas podem ser considerados como partículas em relação a um referencial.

Passou-se, depois, a explicar a PET e a SPECT. Por fim, foi diferenciado a Tomografia Computadorizada, a Ressonância Magnética Nuclear, a PET e a SPECT apontando suas vantagens e desvantagens.

Em seguida, foi solicitado aos alunos que confeccionassem um mapa conceitual sobre Medicina Nuclear em duplas e, utilizando o programa *Modellus*, fizessem uma modelagem computacional sobre qualquer assunto explicado durante o curso.

No período da tarde, foram apresentadas as duas atividades desenvolvidas pelos alunos.

Na sequência, cada pessoa recebeu imagens de três equipamentos e tinham como objetivo preparar uma apresentação explicando, brevemente, o funcionamento do equipamento que receberam, usando para isso, dentre outras metodologias, os mapas conceituais que foram feitos por eles (em sala e em atividades extraclasse). Além disso, tinham como objetivo formular uma pergunta sobre cada um dos assuntos para fazer aos alunos que iriam apresentar sobre os equipamentos.

Em seguida, foram apresentados os equipamentos e feitas perguntas aos alunos, de modo a incentivar a crítica e o diálogo entre eles.

Por último, foram entregues aos alunos o pós-teste (APÊNDICE F- Pré e pós-teste aplicado nos cursos) e a análise do curso (APÊNDICE G- Análise das aulas) para que os respondessem. Simultaneamente, foi feita uma entrevista de aproximadamente 20 minutos com cada aluno (individualmente), buscando corrigir alguns equívocos que eles apresentaram durante o curso e esclarecendo algumas dúvidas da pesquisadora em relação às respostas fornecidas por eles.

5.4.2 Análise conhecimentos prévios

A primeira questão referia-se as características do ultrassom, nesta seis alunos acertaram, quatro responderam que não sabiam e três responderam incorretamente. Todos que responderam incorretamente afirmaram que as ondas ultrassônicas possuem frequência abaixo das audíveis pelos seres humanos, nenhum assinalou que a onda ultrassônica é uma radiação ionizante e que as ondas ultrassônicas são prejudiciais aos seres humanos.

Na segunda questão, seis alunos responderam de maneira correta que o aparelho de Ultrassonografia transforma a energia mecânica (ultrassom) em corrente elétrica. Três responderam incorretamente, destes um afirmou que o aparelho de ultrassom transforma corrente elétrica em energia elétrica e dois que o aparelho utiliza gel para aumentar a intensidade do som. Quatro afirmaram que não sabiam.

A terceira questão referia-se a produção de radiação característica. Nesta questão seis concordaram, seis afirmaram que não sabiam e uma pessoa respondeu corretamente

(discordando) que quando elétrons são retirados da eletrosfera do átomo (por exemplo: em uma captura eletrônica), a vacância originada é imediatamente preenchida por um elétron de orbitais inferiores. Esse elétron, ao passar de um estado mais ligado para outro menos ligado (mais afastado do núcleo), libera o excesso de energia emitindo radiação eletromagnética, cuja energia é igual à diferença entre a energia dos estados inicial e final. Esse processo é chamado de produção de radiação característica.

A quarta questão, referia-se à radiação de freamento. Sete alunos afirmaram que não sabiam, seis responderam acertadamente que um elétron (negativo), ao passar nas proximidades de um núcleo (positivo), experimenta uma força de atração elétrica e é desviado de sua direção original. Ao variar de direção, o elétron transforma energia cinética em energia luminosa. O processo descrito é chamado de emissão de radiação por freamento. Nenhuma pessoa discordou com essa afirmação que é verdadeira.

A quinta e oitava questões foram as que os respondentes mais acertaram. Dez acertaram e três afirmaram que não sabiam que o efeito fotoelétrico possui várias aplicações, como, por exemplo, levar as informações que os olhos captam até o cérebro, mais especificamente ao córtex visual. O efeito fotoelétrico é a capacidade da luz, ao incidir sobre um material, arrancar elétrons. As ondas eletromagnéticas são compostas por fótons (pacotes de energia) que, ao incidirem sobre um elétron, podem dar a ele energia suficiente para se desprender do átomo (efeito fotoelétrico).

Na sexta questão, três discordaram (corretamente), oito não souberam responder e dois concordaram, que no efeito Compton, diferentemente do efeito fotoelétrico, o elétron não possui energia suficiente para se desprender do átomo, ele apenas absorve toda ou parte da energia do fóton. Quando o elétron absorve toda a energia do fóton, ele muda para uma camada mais externa. Ao retornar, o elétron emite a radiação absorvida. Quando absorve apenas parte da radiação, há duas ondas: uma decorrente da mudança de camada e outra devido ao desvio da radiação incidente, ocasionada pela incidência do fóton no elétron, conforme previsto pela conservação do momento angular.

Na sétima questão nenhuma pessoa errou, onze não souberam responder e dois alunos responderam, corretamente, concordando que os processos de aniquilação e produção de pares surgiram da necessidade de se explicar os resultados da equação de Dirac, que tem como soluções uma energia negativa e uma energia positiva. Dirac assumiu que os níveis de energia negativa estavam todos ocupados, de modo que os elétrons de energia positiva não poderiam cair em um “buraco” da energia negativa. Esse “buraco” de energia negativa é interpretado como uma antipartícula (antimatéria), por exemplo, um pósitron. O processo inverso pode ocorrer, se um elétron de energia positiva cair em um “buraco”; nesse caso seria emitido um fóton e o elétron seria aniquilado pelo “buraco”.

Na oitava questão, houve dez acertos e três alunos que não souberam responder, que se há duas bobinas, elas vão funcionar a partir do seguinte processo: corrente elétrica alternada na primeira bobina gera um campo magnético variado entre a primeira e a segunda bobina, que, por sua vez, produz uma corrente elétrica alternada na segunda bobina.

Na nona questão, quatro alunos responderam corretamente que os Raios-X são um tipo de radiação eletromagnética ionizante. Dois responderam incorretamente que os Raios-X são produzidos quando elétrons de baixa energia são subitamente desacelerados. Três responderam que os Raios-X podem ser bloqueados por chumbo e a espessura não dependerá da energia dos Raios-X. Nenhum respondente afirmou que os Raios-X necessitam de um meio material para se propagar. Quatro afirmaram que não sabiam a resposta a esta questão.

Na décima questão nove alunos afirmaram que não sabiam responder, dois concordaram e dois discordaram, corretamente, que no intensificador, a imagem é produzida

de acordo com a seguinte sequência: fótons de luz são transformados em fótons de Raios-X, que geram corrente elétrica e esta em imagem.

Na décima primeira questão, onze alunos responderam que não sabiam, uma pessoa respondeu que concordava, incorretamente, e uma pessoa discordou que a fluoroscopia trabalha com doses de radiação maiores do que os demais equipamentos de Raios-X, dessa forma, embora o tempo de exposição seja o mesmo, as doses de radiação que chegam aos pacientes são maiores na fluoroscopia.

Na décima segunda questão, onze alunos afirmaram não saber e dois responderam corretamente, concordando que quando se aumenta o valor do kVp, aumenta-se também a energia dos Raios-X e, conseqüentemente, a capacidade de penetração da radiação no paciente, afetando com isso o contraste da imagem. Para valores baixos de kVp, os fótons não possuem energia suficiente para atravessar o paciente, sendo absorvidos, o que requer uma maior dose de radiação. Portanto, mantido o mesmo valor para a corrente elétrica (medida em miliampères), quanto menor o valor de kVp, mais clara será a imagem.

Na décima terceira questão, nove alunos afirmaram que não sabiam, quatro responderam corretamente que os Raios-X chegam inicialmente ao écran, uma película que, em contato com os Raios-X, produz luz que impressiona o filme onde a imagem é produzida. O filme é protegido pelo chassi radiográfico (feito de chumbo), que impede que o filme seja sensibilizado por outras radiações.

Na décima quarta questão, nove alunos responderam que não sabiam, quatro responderam corretamente e nenhum concordou que se o tecido orgânico tiver maior densidade, a imagem será mais escura e, portanto, terá maior densidade radiográfica. Os fótons que são atenuados ou espalhados atingirão o écran com maior intensidade em função da espessura do paciente e da densidade do tecido, produzindo assim uma imagem com diferentes níveis de cinza.

Na décima quinta questão, seis não sabiam e sete concordaram que o contraste é definido pela diferença entre a densidade Óptica dos objetos. Os componentes que podem ser radiografados são músculos, fluidos, tecido adiposo, gases e ossos, sendo que os três primeiros possuem densidades similares e, por isso, possuem pouco contraste na imagem radiográfica.

Na décima sexta questão, dez alunos não souberam responder, três responderam corretamente. Nenhum discordou que a radioterapia é um método de tratamento que consiste na destruição de células cancerígenas, em especial na fase de multiplicação celular, utilizando radiações ionizantes eletromagnéticas (Raios-X e Raios gama) e radiações corpusculares (partículas alfa e beta), que são de elevada frequência e, conseqüentemente, mais energéticas. A radioterapia é dividida em dois tipos: teleterapia (externa) e braquiterapia (interna).

Na décima sétima questão, cinco alunos não souberam responder, sete responderam corretamente. Um discordou que os aceleradores são túneis circulares que servem para acelerar partículas até que elas atinjam energias muito elevadas e possam emitir, além de Raios-X, feixes de elétrons e nêutrons com várias energias. Um exemplo de acelerador é o ciclotron e um dos mais conhecidos ciclotrons da atualidade é o LHC (Grande Colisor de Hádrons). Os aceleradores não possuem material radioativo no seu interior.

Na décima oitava questão, sete alunos não souberam responder e seis afirmaram corretamente que um detector a gás é constituído de um tubo com gás, onde há um eletrodo ao longo do eixo central. Se for criada uma diferença de potencial entre o eletrodo central e a parede, de maneira que o eletrodo seja positivo e a parede negativa, então o eletrodo atrairá os elétrons produzidos por ionização dentro do tubo. Os elétrons formarão um sinal elétrico,

como um pulso de elétrons ou uma corrente contínua. O sinal elétrico é amplificado e medido. Sua intensidade é proporcional à intensidade da radiação que o causou.

Na décima nona questão, oito alunos não souberam responder, quatro discordaram acertadamente. Um concordou, erroneamente, que os detectores de cintilação são formados por alguns materiais que emitem luz depois de algumas horas de terem absorvido um fóton de Raios-X. A quantidade de luz emitida é inversamente proporcional à quantidade de energia absorvida pelo material.

Na vigésima questão, nove alunos não souberam. Quatro responderam corretamente que os dosímetros termoluminescentes são constituídos de um material que, ao ser submetido ao calor, libera a energia excedente (gerada, p. ex., pelo contato com radiação). Essa energia emitida é medida e seu valor indica a quantidade de radiação a que o dosímetro foi exposto.

Na vigésima primeira questão, dez alunos não souberam responder. Três responderam corretamente que no processo de luminescência estimulada opticamente, a irradiação do óxido de alumínio estimula alguns elétrons a um estado excitado. Durante o processo, uma luz laser estimula estes elétrons, fazendo com que voltem ao estado original, com a consequente emissão de luz. A intensidade da luz é proporcional à dose de radiação recebida.

Na vigésima segunda questão, dez alunos não souberam responder, um discordou e dois responderam corretamente que os detectores de estado sólido são formados por um material à base de fósforo que cintila (emite luz) pela passagem de radiação. A luz incide no núcleo do detector e emite elétrons (efeito fotoelétrico), dando origem a uma corrente elétrica que é proporcional ao fóton (radiação) incidente.

Na vigésima terceira questão, oito alunos responderam que não sabiam, um discordou e quatro concordaram, corretamente, que no dosímetro de filme a radiação produz alterações na densidade do filme revelado. Desta forma, pode-se quantificar a exposição da radiação, pois quanto maior for a intensidade da radiação, maior será o enegrecimento da imagem.

Na vigésima quarta questão, onze alunos responderam que não sabiam e dois discordaram, acertadamente, que na tomografia computadorizada helicoidal, ao contrário da tomografia computadorizada, o emissor de radiação e os detectores fazem uma volta completa de 360° ao redor do paciente. Para isso, os cabos de fibra Óptica foram substituídos por anéis deslizantes. Uma superfície é um anel liso e a outra é um anel com contatos eletrônicos que rastreiam as informações do anel liso. Essas informações geralmente são emitidas por radiofrequência.

Na vigésima quinta questão, oito alunos responderam que não sabiam, quatro concordaram. Um discordou, acertadamente, que a Ressonância Magnética Nuclear, também chamada de Ressonância Magnética Nuclear, é um exame moderno que utiliza radiação ionizante, raios gama, que são produzidos no núcleo, por isso o nome nuclear.

Na vigésima sexta questão, seis alunos responderam que não sabiam e sete responderam corretamente que a Ressonância Magnética Nuclear faz uso de campos magnéticos e radiofrequência. Na ausência de um campo magnético externo, a orientação dos spins nos tecidos é aleatória. Quando o magneto principal aplica um campo magnético, o vetor momento magnético se alinha com o campo (estado de equilíbrio). Ao se aplicar sobre os spins uma radiofrequência, eles ganham energia e mudam de orientação (estado fora de equilíbrio). Cessando o estímulo, os spins retornaram ao alinhamento original, liberando a energia sob a forma de ondas de radiofrequência, que são captadas pelas antenas receptoras.

Na vigésima sétima questão oito alunos responderam que não sabiam e cinco responderam, acertadamente, que o Modelo Padrão organiza as partículas elementares e suas interações, desempenha um papel análogo à tabela periódica para os elementos químicos.

Na vigésima oitava questão, dois alunos responderam que não sabiam, dez responderam de forma equivocada. Um discordou acertadamente que dois elementos são chamados de isótopos se possuem igual número de elétrons e diferentes números de massa, quer dizer, apresentam diferente número de nêutrons.

Na vigésima nona questão, dez alunos afirmaram que não sabiam. Três responderam, acertadamente, que a Medicina Nuclear consiste na administração de um radiofármaco. Um radiofármaco incorpora dois componentes: um radioisótopo, ou seja, uma substância com propriedades físicas adequadas ao procedimento desejado (partícula emissora de radiação beta ou partícula emissora de radiação gama) e uma molécula orgânica com fixação preferencial em determinado tecido ou órgão.

Na trigésima questão, seis alunos responderam que não sabiam, quatro concordaram, erroneamente. Três discordaram, corretamente, que os radioisótopos usados na Medicina nuclear decaem em questão de dias, horas ou até mesmo minutos, têm níveis de radiação maiores que os Raios-X e que as tomografias computadorizadas são eliminados pela urina ou pelas fezes.

Na trigésima primeira, questão onze alunos responderam que não sabiam, um discordou e um respondeu corretamente que na PET, utiliza-se um radioisótopo emissor de pósitrons. Ao se chocarem, o pósitron e o elétron aniquilam-se, emitindo dois Raios gamas.

Na última questão, nove alunos responderam que não sabiam, um discordou, erroneamente, que na PET há a emissão de dois Raios gama enquanto que na SPECT ocorre a emissão um único Raio gama e três responderam corretamente.

As questões que possuem mais erros foram:

- 1, 2 e 30 com três erros cada uma;
- as questões 14, 19 e 25, com quatro erros cada;
- a questão 9 com cinco erros;
- a questão 3 com 6 erros;
- a questão 28 com 10 erros.

Identificou-se, a partir desse dados, os seguintes conhecimentos prévios nos alunos que precisava-se desmistificar ao longo do curso:

- que as ondas ultrassônicas possuem frequência menor do que as audíveis pelos seres humanos;
- que o aparelho de ultrassom transforma corrente elétrica em energia elétrica;
- que é utilizado som no exame de Ultrassonografia;
- que próximo ao núcleo há menos energia de ligação;
- não há a necessidade de que os elétrons tenham alta energia para que ao serem freados produzam Raios-X;
- se há mais intensidade, no feixe de Raios-X, precisa-se da mesma espessura de chumbo para bloqueá-lo;
- em exames de Raios-X convencional, se o tecido é mais denso irá aparecer como pontos mais escuros na imagem radiográfica;
- a quantidade de luz emitida pelos detectores de cintilação é inversamente proporcional à quantidade de energia absorvida pelo material;
- na Ressonância Magnética Nuclear é utilizado radiação ionizante;
- os isótopos possuem diferentes números atômicos;

- os radioisótopos não emitem radiação;
- os radioisótopos, usados na Medicina nuclear, sempre têm níveis de radiação maiores que os Raios-X e que as tomografias.

As questões que mais da metade dos alunos afirmaram desconhecer o assunto são 4, 18 e 30 com sete questões cada; 6, 14, 19, 25, 27 com oito questões cada; 10, 13, 20 e 32 com nove questões cada; 16, 21, 22, 23, 29 com dez questões cada; 7, 11, 12, 24, 31 com onze questões cada. Dessa forma deve-se enfatizar mais durante o curso os seguintes tópicos:

- explicar como ocorre a produção de radiação por freamento;
- enfatizar as diferenças e semelhanças entre o efeito Compton e o efeito fotoelétrico;
- explicar o que é efeito Compton, os parâmetros que devem ser seguidos para que ele ocorra, quais são as consequências na imagem radiográfica e nos malefícios da radiação no corpo humano;
- explicar o que é efeito fotoelétrico, os parâmetros que devem ser seguidos para que ele ocorra, quais são as consequências na imagem radiográfica e nos malefícios da radiação no corpo humano;
- explicar a produção e aniquilação de pares;
- explicar o funcionamento do intensificador de imagens;
- explicar o funcionamento da fluoroscopia;
- diferenciar a fluoroscopia da radiografia convencional;
- relacionar a diferença de voltagem no equipamento de Raios-X com a energia destes;
- relacionar a energia dos Raios-X com as características das imagens produzidas no filme;
- relacionar a corrente elétrica com as características das imagens produzidas no filme;
- explicar o funcionamento das partes necessárias para formar a imagem radiográfica;
- relacionar a densidade do tecido orgânico com as características da imagem produzida no filme;
- explicar o que é radioterapia e como ela é dividida;
- explicar as diferenças e semelhanças entre teleterapia e braquiterapia;
- quais são as radiações usadas na radioterapia e como elas matam as células cancerígenas;
- explicar o funcionamento de um detector a gás, relacionando-o com o efeito fotoelétrico.
- explicar funcionamento detectores de cintilação;
- explicar o funcionamento de um dosímetro termoluminescente;
- relacionar a radiação a que o dosímetro termoluminescente foi exposto com radiação que ele emite quando aumenta-se a temperatura do material;
- explicar o processo de luminescência estimulada opticamente;
- explicar o funcionamento dos detectores de estado sólido, relacionando com o efeito fotoelétrico;
- relacionar a intensidade da radiação com o enegrecimento da imagem;
- explicar funcionamento da Tomografia Computadorizada Helicoidal;
- diferenciar tomografia computadorizada da tomografia computadorizada helicoidal;
- diferenciar RMN, das Tomografias e dos exames de Raios-X convencional;
- explicar o funcionamento dos anéis deslizantes;

- explicar o porquê de na tomografia computadorizada helicoidal os detectores e emissores fazerem uma volta de 360° em torno do paciente, enquanto que nas outras tomografias apenas fazem uma volta de 180°;
- explicar o funcionamento da Ressonância Magnética Nuclear;
- explicar como é formado um radiofármaco;
- explicar o que é radioisótopo e molécula orgânica e a função de cada uma delas na PET e na SPECT;
- explicar o funcionamento da PET e da SPECT;
- diferenciar a radiação utilizada na Medicina Nuclear dos demais exames que utilizam radiação ionizante;
- explicar o que é e para que serve o Modelo Padrão.

5.4.3 Questionário qualitativo

No início da aula foi entregue aos alunos um questionário com nove questões (APÊNDICE D – Questionário qualitativo aplicado nos cursos) com o objetivo avaliar os conhecimentos prévios que os mesmos possuíam sobre os assuntos abordados e para avaliar posteriormente se houve indícios de aprendizagem significativa. Foi informado a eles que as respostas aos questionários não serviriam para fins de atribuição de conceitos e que tinham como objetivo fornecer a pesquisadora um panorama de seus conhecimentos sobre o conteúdo.

Ao fim da primeira das cinco partes do curso aplicou-se novamente o mesmo questionário (APÊNDICE D – Questionário qualitativo aplicado nos cursos) para buscar indícios de aprendizagem significativa.

A partir de agora apenas será colocado o número da questão analisada. Além disto, foi categorizado as respostas dos alunos para cada questão, sem expressar a quantidade em porcentagens, visto que foram apenas 13 respondentes. Destes 4 não responderam nenhuma questão justificando que não possuíam conhecimentos sobre o assunto. A análise do que os alunos responderam no pré-teste encontra-se na sequência. Na Tabela 28 há a comparação entre o que os alunos escreveram no pré-teste e no pós-teste, constando as respostas apenas de quem respondeu também ao pós-teste.

Para analisar a questão 1 foi feito uma lista com os conceitos que foram considerados relevantes para o entendimento do aparelho de ultrassom que são: ondas longitudinais, ultrassom, ondas eletromagnéticas, positivo, negativo, mecânicas, energia, frequência, comprimento, corrente elétrica, campo magnético, campo elétrico, alternado, elétron, energia, polarização, diâmetro, próton (número atômico), absorção, corrente elétrica, camadas eletrônicas, molécula, polarização, campo magnético variado, eletrosfera, densidade, impedância acústica, eco, velocidade, pressão, força, área, reflexão, refração e fóton.

Dos nove alunos que responderam a primeira questão, um forneceu informações desconexas e pouco aprofundadas, quatro apenas colocaram conceitos soltos sem justificar por que acham que aqueles conceitos físicos são importantes no aparelho de Ultrassonografia,

Tabela 28: análise pré e pós-teste qualitativo- quarta aplicação.

Nome (Fictício) e característica	Questões	Transcrição das respostas do pré-teste	Transcrição das respostas do pós-teste	Análise
Morgana: aluna licenciatura (1º semestre).	1.	Não respondeu*	Pode-se considerar primeiramente as ondas ultrassônicas geradas por transdutores ultrassônicos que são dispositivos utilizados no equipamento de ultrassom para converter energia elétrica em energia mecânica, e vice-versa. Nesses transdutores ocorre o chamado efeito piezoelétrico , outro conceito de Física, que consiste basicamente na mudança das dimensões físicas, no caso do transdutor, através da pressão exercida sobre ele, pela onda mecânica, também descrita como eco. O eco é uma reflexão do som gerada pela onda emitida do transdutor. Tem-se também o Efeito Doppler , que é a variação da frequência em relação ao som, quando ele se afasta ou se aproxima de um observador, relacionando a velocidade do mesmo.	Mencionou apenas o efeito piezoelétrico (embora não seja um conceito), faltou o efeito piezoelétrico inverso. Faltaram à maioria dos conceitos considerados relevantes, não sabe-se se a aluna sabe e não colocou ou se realmente não se apropriou dos outros conceitos. As colocações da aluna também são bastante descritivas e pouco explicativas, sendo, dessa forma, importante a pesquisadora fazer a entrevista semiestruturada com a aluna, ao término do curso, e perguntar a ela para explicar o funcionamento do aparelho de ultrassom, para ver se ela sabe apenas a descrição ou se ela sabe a explicação de como funciona o aparelho de ultrassom.
	2.	Não respondeu*	No equipamento de Ultrassonografia, um sinal elétrico é enviado a um transdutor, que emite ondas mecânicas, na forma de ultrassom, que entra em contato com a pele do paciente, essas ondas entram no corpo, e ao encontrar o “objeto”, reflete através do eco, outras ondas mecânicas, para o transdutor. Essas ondas exercem uma pressão no transdutor, modificando suas dimensões, isso é convertido em sinal elétrico, e enviado a um processador de sinal que gera a imagem desejada.	A resposta é bastante descritiva e faltam respostas as seguintes questões: como uma corrente elétrica é transformada em ultrassom? Como uma onda de ultrassom é transformada em corrente elétrica? Como essa informação é transformada em luz no monitor? Apresenta confusão sobre o que é eco, quando escreveu “reflete através de eco”.
	3.	Não respondeu*	Materiais piezoelétricos são materiais polarizados, esses recebem ondas que formam um campo que vai atrair elétrons depois repelir o que permite ao transdutor mudar suas dimensões.	Esta resposta contém a principal característica dos materiais piezoelétricos que é a de ser polarizada. Ela não citou nessa questão, mas na primeira, que estes materiais transformam corrente elétrica em ondas de ultrassom e vice-versa. Faltou relacionar a mudança nas dimensões do transdutor com a produção das ondas de ultrassom.
	4.	Não respondeu*	Existem cones na retina, que absorvem a luz (ondas), que vão encontrar elétrons, e enviar impulsos ao nervo óptico, isso é o efeito fotoelétrico, onde ondas de luz, vão ter energia suficiente, para arrancar um elétron da eletrosfera, e ainda dar energia cinética (velocidade) para o mesmo. No caso do olho, esse elétron será enviado para o cérebro.	Faltou relacionar os três tipos de cones (os que são sensíveis ao azul ou ao vermelho ou ao verde) e relacioná-los ao efeito fotoelétrico. Também faltou ela colocar sobre a função dos bastonetes e relacioná-los ao efeito fotoelétrico.
	5.	Não respondeu*	Efeito Fotoelétrico – postes de luz. Efeito Compton – Equipamentos de Raios-X. Produção de Pares – Tomografia por Emissão de Pósitron.	Citou corretamente as três formas de interação da radiação com a matéria e seus exemplos.
	6.	Não respondeu*	É através do efeito fotoelétrico, que obtêm-se imagens, de certas partes do corpo, sabendo que há uma maior absorção de radiações	Faltou relacionar a densidade do material ao efeito fotoelétrico e dizer explicitamente que a absorção é causada pelo efeito fotoelétrico e como ocorre

		(ondas de luz) por alvos densos (como os ossos).	essa absorção.	
	7.	Não respondeu*	Como o efeito Compton é semelhante ao efeito fotoelétrico, à relação com a imagem radiográfica é semelhante, o que muda é a quantidade energia das ondas, que no caso de Compton é maior, do que o fotoelétrico.	A aluna não mencionou que o efeito Compton prejudica a imagem, pois gera um espalhamento da radiação. Faltou explicar a relação que há entre ter mais energia que a necessária para haver efeito fotoelétrico e o que ocorre no efeito Compton. Essa resposta mostrou que a aluna sabe um ponto de diferenciação entre o efeito fotoelétrico e efeito Compton, mas não sabe explicar o efeito Compton e nem relacioná-lo a seus efeitos danosos na formação da imagem radiológica.
	8.	Não respondeu*	Após a produção de pares, é formado um pósitron e um elétron, esse pósitron vai encontrar um elétron livre, eles vão se aniquilar, e formar dois raios gama que são detectados pelos detectores.	Nessa questão a aluna não faz nenhuma menção aos radiofármacos, aos radioisótopos, a como esse material vai para pontos no corpo que se quer observar e como essa radiação é captada pelos detectores na PET, mas relaciona corretamente a aniquilação de pares com a formação de imagens radiológicas.
	9.	Não respondeu*	Podem ser produzidas por partículas alfa, beta, gama, originadas no núcleo, e os Raios-X, que são produzidos por um equipamento. As partículas alfa, são constituídas por 2P e 2N, quando são emitidas, perdem 2P e 2N, há a transferência de 4 unidades. As partículas Beta, são elétrons emitidos pelo núcleo. Esse núcleo pode gerar, um nêutron que decompõe-se em um próton; Um elétron e um antineutrino permanecem no núcleo; E um elétron e um antineutrino são emitidos. Os raios gama são formados por ondas eletromagnética emitidas por núcleos instáveis, logo após a emissão de uma partícula alfa ou beta. E finalmente, os Raios-X, apenas eles não são produzidos no núcleo, mas sim de duas formas, uma através de um acelerador de elétrons, que os faz colidir contra uma placa de chumbo, onde os elétrons perdem energia cinética, ocorrendo transformação em calor e em Raios-X, essa forma é chamada de freamento. A outra é a característica onde o elétron do cátodo incide no ânodo, podendo expulsar o elétron do orbital, quando esse elétron é arrancado, o espaço deixado por ele será preenchido por outro elétron, que vai liberar energia (essa energia é a diferença entre a energia do elétron que incidiu sobre o outro e a energia do átomo) através de fótons.	Os Raios-X são produzidos por um equipamento (não há essa obrigatoriedade). Não explicou quem perde 2 prótons e 2 nêutrons. Ela colocou que há transferência de 4 unidades, unidades do que? Transferência de quem para quem? As partículas beta não são apenas elétrons emitidos pelo núcleo, mas também podem ser pósitrons. O elétron e o antineutrino são emitidos do núcleo. Os raios gama também são emitidos na aniquilação de pares. Porque os elétrons perdem energia cinética na produção de Raios-X por freamento? A energia emitida não é a diferença de energia entre o elétron que incidiu sobre o outro e a energia do átomo. Faltou explicar como ocorre a emissão de beta mais. Essa questão foi a que a aluna arriscou mais, mas em contrapartida apresentou mais erros e confusões.
Jaqueline: aluna Licenciatura (1º semestre)	1	Não respondeu*	Os tipos de ondas, por ex. as eletromagnéticas e as mecânicas, no caso do aparelho de Ultrassonografia, pois, decorrentes delas, são as ondas ultrassônicas, responsáveis pela projeção da imagem.	A aluna colocou apenas dois conceitos (ondas eletromagnéticas e ondas longitudinais). Também não justificou, de forma coerente, a importância atribuída por ela a esses conceitos.
	2	Não respondeu*	Ao ser ligada a uma fonte, o equipamento recebe um sinal elétrico que passa por um transdutor, onde a energia elétrica produz uma onda eletromagnética que, por sua vez, gera ondas ultrassônicas que darão continuidade a projeção das imagens.	Essa resposta foi bastante descritiva e não explicou como ocorre a formação de ondas ultrassônicas, como as ondas ultrassônicas são transformadas em ondas eletromagnéticas, como essas ondas são refletidas, depende de quais fatores para haver a reflexão das ondas e como se forma a imagem no monitor de televisão.
	3	Não respondeu*	Eles transformam a energia elétrica em energia mecânica. Eles	Nessa questão a aluna não mencionou sobre o efeito piezoelétrico inverso, pois

		contêm moléculas polares que são orientadas conforme a onda eletromagnética incide nelas, ordenando os elétrons de forma contínua, de modo que ocorram variações no diâmetro do material.	o material piezoelétrico não apenas transforma energia elétrica em energia mecânica, mas o contrário também.
4	Não respondeu*	O nosso cérebro recebe impulsos elétricos dos feixes de luz que incidem nos nossos olhos, o cérebro então “ordena” esse feixe refletido no fundo dos nossos olhos formando a imagem que vemos.	A aluna não explicou que há três tipos de cones no olho humano, um sensível ao vermelho, outro ao azul e outro ao verde, nem relacionou esses cones com sensibilidades distintas ao efeito fotoelétrico.
5	Não respondeu*	Efeito fotoelétrico [criação de células fotovoltaicas], efeito Compton [aplicado nos Raios-X] e produção de pares [PET].	Na PET não é aplicado, pelo menos diretamente, a produção de pares, mas sim a aniquilação de pares.
6	Não respondeu*	A imagem radiográfica é o resultado da incidência dos fótons sobre um material. Como o osso é muito denso, as ondas de Raios-X não conseguem penetrá-lo, por isso a imagem do osso fica 'branca em uma imagem radiográfica.	A aluna não explicou por que os Raios-X não conseguem atravessar um material denso, nem relacionou a absorção e a densidade ao efeito fotoelétrico.
7	Não respondeu*	O Efeito Compton aumenta o espalhamento dos Raios-X pela matéria.	Essa resposta é descritiva e não explica por que o efeito Compton aumenta o espalhamento dos Raios-X.
8	Não respondeu*	Quando os pósitrons se encontram com os elétrons ocorre à aniquilação de pares, havendo a emissão da radiação (dois raios gamas em direções opostas). A imagem do corpo do paciente é gerada porque os detectores da PET vão receber a radiação do corpo e projetar as imagens pelo computador.	Nessa questão a aluna não faz nenhuma menção aos radiofármacos, aos radioisótopos, a como esse material vai para pontos no corpo que se quer observar e a como essa radiação é captada pelos detectores na PET, pois esse conteúdo somente foi trabalhado no último dia de curso. Relaciona corretamente a aniquilação de pares com a formação de imagens radiológicas, que foi o assunto trabalhado antes da aplicação do pós-teste.
9	Não respondeu*	As radiações ionizantes como, por exemplo, a beta, a alfa e a gama, tem início dentro do núcleo, ao receberem uma quantidade de energia, podem ocorrer perdas de elétrons, prótons ou nêutrons que, ao saírem do átomo ou avançarem para um subnível mais energético (no caso dos elétrons), emitem radiação. Já no caso dos Raios-X, o elétron é atraído por um núcleo e é desviado da sua direção original, emitindo energia, essa é a radiação por freamento.	Para haver a emissão de radiação alfa, beta e gama não há a incidência de radiação no núcleo, a sua emissão deve ser explicada em termos de força nuclear forte e força elétrica. Deve-se explicar a radiação característica e a radiação de freamento em termos de conservação de energia- a energia cinética é transformada em ondas de Raios-X.
Marcelo: professor IFRGS	1	Considero importante o estudo das ondas sonoras não audíveis e a reflexão de ondas.	Percebe-se que o aluno aumentou o número de conceitos que considera relevante no equipamento de ultrassom, entretanto continuou não justificando por que considera esses conceitos importantes. Também não colocou nenhum conceito relacionado à transformação de corrente elétrica em ondas de ultrassom e vice e versa e nem a produção de imagem no monitor.
	2	Desconheço.	Não deixou claro se quando referia-se a não audível, significava com frequência maior ou menor do que a audível pelos seres humanos. Na sua segunda afirmativa não deixou claro em relação às quais ondas o ultrassom é mais energético. Não explicou como ocorre o efeito piezoelétrico e piezoelétrico inverso. Também não colocou de quais fatores depende para que um material tenha maior ou menor reflexão. Não escreveu como as ondas eletromagnéticas produzem imagem no

		eletromagnéticas. Estas ondas eletromagnéticas chegam a um dispositivo eletrônico (computador) que irá produzir uma imagem.	computador.
3	Desconheço.	Estes materiais quando submetidos a uma pressão (ultrassom refletido) produzem uma corrente elétrica.	Os materiais piezoelétricos não transformam apenas ultrassom em corrente elétrica, mas fazem o contrário também. Os materiais piezoelétricos são polarizados e por esse motivo possuem o efeito piezoelétrico e piezoelétrico inverso.
4	A energia luminosa (fótons) chega ao fundo do nosso olho, a colisão de um fóton com elétrons de um átomo pode acelerar este elétron e este salta da camada orbital que se encontra tornando-se um elétron livre, carga elétrica...;	Os fótons – menor pacote de ondas eletromagnéticas – atingem os bastonetes (região sensível no fundo do olho humano) e atingem elétrons que estão nos átomos das células deste material e “arrancam” elétrons. Ou seja, o fóton ao colidir com o elétron acelera – aumenta sua energia cinética – e este é arremessado do átomo, tornando-se um elétron livre – eletricidade – que irá chegar ao cérebro e estimular...	Os bastonetes não são a região sensível dos olhos, mas as células que são sensíveis. Apresentou confusão entre células e átomos. Não explicou por que há três tipos de cones, cada um deles sensível a uma luz primária nem relacionou tal fato ao efeito fotoelétrico. Não explicou a função nem o funcionamento dos cones e dos bastonetes.
5	Radiação alfa, beta e gama;	Efeito fotoelétrico: onde os fótons podem arrancar elétrons de um nível energético e colocando-o em um nível mais elevado. Efeito Compton: é quando um fóton atinge um elétron e tem energia o suficiente para arrancar de seu nível energético e mesmo assim sobra energia no fóton inicial, o excedente será um fóton com menor nível energético, de modo que a soma da energia mecânica (cinética) adquirida pelo elétron mais o fóton resultante foram equivalente à energia do fóton incidente. Produção de pares:	Corrigiu o equívoco que apresentou no pré-teste em que confundiu os tipos de produção de radiação. Entretanto, não citou nenhuma aplicação das interações da radiação com a matéria. Explicou o efeito fotoelétrico muito superficialmente, escreveu de um nível mais elevado, mas não deixou claro do que. Faltou colocar a função trabalho no efeito Compton. Não explicou a produção e aniquilação de pares.
6	Desconheço;	Produção de imagens por emissão de elétrons.	Explicou muito superficialmente, não relacionou o efeito fotoelétrico, a densidade e ao efeito na imagem radiológica.
7	Desconheço;	Produção de imagens inconvenientes. Ou seja, o efeito Compton produz elétrons livres e fótons com menor energia que facilmente foram absorvidos pelo corpo humano, assim manchando a imagem radiográfica.	Não relacionou a “produção de imagens inconvenientes” com o desvio da radiação que ocorre no efeito Compton, mas relacionou corretamente que no efeito Compton o resultado são elétrons livres e fótons com menor energia, o que realmente prejudica a imagem.
8	Desconheço;	Utiliza-se de substância com característica de existir alto índice emissão de pósitrons. Estas substâncias quando injetadas no corpo humano estarão submetidas à aniquilação – colisão de elétrons negativo com pósitrons (elétron positivo). Como resultado da	A resposta está correta, pois explica como pode-se ver a imagem do corpo a partir da aniquilação de pares. Não é mais completa, pois no ponto em que o questionário foi aplicado ainda não havia sido ensinado aos alunos, detalhadamente, o funcionamento da PET.

		aniquilação tem-se fótons que irão sensibilizar equipamento eletrônico e produzir imagens.	
	9	Devido ao decaimento radioativo – onde um átomo instável perde radiação para tornar-se estável; Neste caso o núcleo do átomo instável perde radiação do tipo alfa, beta e/ou gama tornando-se um núcleo de um átomo mais leve; Caso seja somado a massa das partículas emitidas e do átomo resultante, tem-se uma “falta” de massa que é o valor transformado em energia;	As radiações nucleares são resultados dos fenômenos físicos que ocorrem no interior do núcleo atômico. Em situação de fissão ou fusão nuclear pode surgir emissão de radiação alfa, beta e/ou gama.
			O aluno não explicou a formação de cada uma das radiações produzidas no núcleo a partir da força nuclear forte e da força elétrica e nem explicou a formação dos Raios-X. Não é apenas nos casos de fissão ou fusão nuclear que há a emissão de radiação.
Daiane (professora Ensino Médio)	1	Não respondeu*	O conceito de ultrassom, reflexão, absorção.
	2	Não respondeu*	Uma onda de ultrassom é enviada ao corpo. Tecidos moles absorvem esta onda (imagem escura) e tecidos duros refletem essa onda (imagem clara) devido a esse contraste conseguimos formar a imagem.
	3	Não respondeu*	Eles têm variação em sua dimensão devido à onda eletromagnética (sinal elétrico) que passa por ele.
	4	Não respondeu*	Dependendo da radiação luminosa que alcança a retina ela terá uma energia (frequência) diferente, isso acarretará um sinal luminoso diferente que é levado ao nosso cérebro.
	5	Não respondeu*	Fotoelétrico. Imagens radiográficas. Compton. Prejudica a formação da imagem radiográfica. Produção de pares: PET.
	6	Não respondeu*	Devido à absorção que ocorre no efeito fotoelétrico a imagem é formada.
			Colocou apenas três conceitos, há muitos outros conceitos importantes. Não justificou por que considera tais conceitos relevantes.
			Não colocou como são formadas as ondas de ultrassom e como as ondas de ultrassom refletidas (eco) formam a imagem no monitor.
			Descreveu (não explicou) apenas sobre o efeito piezoelétrico inverso, não colocou que para que um material seja piezoelétrico deve ser polarizado.
			Não explicou como que a “luz” é levada ao cérebro, não é a luz que é levada ao cérebro, não relacionou o processo da visão ao efeito fotoelétrico. Relacionou corretamente a necessidade de haver diferentes frequências para que o cérebro interprete as cores de formas diferenciadas.
			No lugar de produção de pares deveria ser aniquilação de pares. O restante está correto.
			A absorção não ocorre no efeito fotoelétrico, mas devido a ele. Não relacionou como, devido ao efeito fotoelétrico, ocorre a absorção da radiação.

	7	Não respondeu*	Ele promove um espalhamento que prejudica a imagem.	Não explicou como, através do efeito Compton, ocorre um espalhamento que prejudica a imagem.
	8	Não respondeu*	Quando os pares são reunidos se produz uma partícula que é utilizada no exame.	Aqui há um equívoco: os pares quando se encontram não produzem uma partícula, mas sim dois raios gamas em direções opostas. A resposta dada pela aluna é bastante superficial.
	9	Não respondeu*	Por perda de elementos do núcleo (alfa, beta e gama) e por perda de elétrons.	Não explicou como se dá a produção de cada uma das radiações, apenas citou cada uma das radiações nucleares e citou, de forma confusa e superficial a radiação produzida na eletrosfera.
Arminda (aluna de Licenciatura em Física)	1	O conceito que envolve os fenômenos ondulatórios, pois com base nele, o aparelho funciona. O fato de utilizar o eco produzido é um conceito importante a ser avaliado.	Ondas ultrassônicas, que não são audíveis ao ser humano, onde estas alteram o meio onde estão se propagando através da pressão mecânica; ondas luminosas e todos os conceitos de reflexão e refração.	Não houve menção aos conceitos que envolvem o funcionamento do material piezoelétrico e nem a formação de imagem no monitor, o que fornece indícios que não houve aprendizagem nesses pontos. Entretanto, a aluna mostrou que compreendeu que as ondas ultrassônicas não são audíveis aos seres humanos, compreendeu que as ondas ultrassônicas geram uma pressão no meio em que passam. Colocou, corretamente, os conceitos de reflexão e refração e de que há a utilização de ondas luminosas (que há no monitor de televisão), mas não justificou esses três conceitos.
	2	Através da emissão de altas frequências em contato com a pele, o eco produzido por elas faz com que ao analisarmos as ondas recebidas, possamos ter conhecimento do que se deseja.	O transdutor, que possui cristais de efeito piezoelétrico, que possuem atração e repulsão, gerando corrente elétrica, e esta vai ser proporcional à onda ultrassônica refletida e captada pelo tubo e incide imagem na tela do aparelho.	Na explicação falta alguns pontos: como a corrente elétrica é transformada em ondas de ultrassom e como a onda de ultrassom refletida é transformada em imagem no monitor de televisão. Também houve confusão entre efeito piezoelétrico e efeito piezoelétrico inverso.
	3	Não respondeu*	Os transdutores são formados por átomos polarizador que criam um campo variado de atração e repulsão.	Os transdutores são formados por material piezoelétrico, este sim é formado por átomos polarizados que criam um campo variado de atração e repulsão. Não há como saber se a aluna compreende o que são átomos polarizados. Também não citou que o material piezoelétrico, devido a ser polarizado, produz o efeito piezoelétrico e piezoelétrico inverso.
	4	Não respondeu*	Uma onda com fótons chega a uma determinada eletrosfera e colide com um elétron, retirando-o de sua camada e após isso, o restante desse fóton é liberado em forma de luz, que chega até nosso campo de visão.	Não é a luz que chega ao cérebro diretamente como ocorre em um monitor de televisão. Não explicou a relação de haver mais do que um tipo de célula fotossensível no olho humano com o efeito fotoelétrico e o fato de que as pessoas conseguem distinguir cores e ver apenas uma faixa estreita do espectro eletromagnético.

	5	Não respondeu*	Radiações: efeito fotoelétrico aonde uma onda com pacotes de energia chega a uma determinada eletrosfera com certa frequência, colide com um elétron liberando-o; efeito Compton que acontece praticamente a mesma coisa que no fotoelétrico, porém possui mais frequência e além de liberar o elétron, continua conduzindo-o com mais velocidade; e a produção de pares, onde ocorre praticamente o mesmo que nos outros dois casos, porém possui muito mais energia, que em contato com a eletrosfera, produz dois elementos, um pósitron e um elétron, onde seu momentum continua sempre o mesmo.	Correção de confusões: 1) no efeito fotoelétrico os pacotes de energia não possuem frequência, mas estão associados a uma onda e ambos são proporcionais; 2) no efeito Compton a energia do fóton incidente é utilizada para ejetar elétron, dar energia cinética a ele e ainda há uma sobra de energia que é emitida com uma frequência e conseqüentemente uma energia menor do que a energia do fóton incidente; 3) na produção de pares a energia realmente é maior, entretanto a energia não interage com o campo magnético da eletrosfera, mas sim do núcleo.
	6	Não respondeu*	A partir de raios emitidos pelo efeito fotoelétrico é emitida uma luz que não “atravessa” partes densas do corpo mostrando como, por exemplo, ossos e etc., através do exame de radiografia.	Não relacionou o efeito fotoelétrico a absorção de Raios-X pelo corpo humano. Relacionou corretamente que para haver a produção de Raios-X uma das formas de produzi-los é através do efeito fotoelétrico. Destacou corretamente que materiais mais densos, como, por exemplo, os ossos absorvem mais radiação, mas não explicou como.
	7	Não respondeu*	É praticamente o mesmo ocorrido no efeito fotoelétrico, porém com mais precisão, pois o “efeito Compton” é mais intenso e pode detalhar mais as imagens dos exames.	Explicou erroneamente que o efeito Compton detalha melhor as imagens, pelo contrário é devido a esse efeito que a imagem é prejudicada. Colocou, corretamente, que o efeito Compton é mais intenso, ou seja, que para o mesmo material se há a incidência de ondas menos energéticas (com energia suficiente para arrancar o elétron) há efeito fotoelétrico, se essa energia for aumentada e passa de um determinado limiar ocorre o efeito Compton.
	8	Não respondeu*	São usados na aniquilação, pois possuem uma alta capacidade de penetração, pois possui alta radiação ionizante.	Escreveu corretamente que são usados na aniquilação, mas tanto o elétron quanto o pósitron não possuem alta capacidade de penetração, pois possuem carga, entretanto eles possuem mais penetração que a radiação alfa, pois esta possui mais massa. Depois da aniquilação entre pósitrons e elétrons é produzida radiação gama que é uma radiação ionizante que possui alta capacidade de penetração.
	9	Não respondeu*	Após ocorrer uma captura de elétrons na eletrosfera, a lacuna restante é preenchida por algum elétron de um orbital superior, e o excesso de energia restante é liberado em forma de radiação.	Apenas explicou, superficialmente, a formação de Raios-X característicos, todas as demais não foram explicadas.
Marta (aluna licenciatura em Física)	1	Acredito que: ondas sonoras emitidas em frequência mais alta do que a faixa do audível; peça de tradução de leitura de vibração mecânica para	O aparelho de Ultrassonografia trabalha com os conceitos: corrente elétrica alternada; campo magnético alternado; ondas mecânicas ultrassônicas (frequência acima do som); ondas eletromagnéticas; piezoelétricos; reflexão; absorção; densidade; polarização; pressão. A justificativa está na descrição do funcionamento na questão 2.	Colocou vários conceitos, apenas não colocou aqueles relacionados à formação de imagens no monitor de televisão.

	elétrica (luz; imagem).		
2	Não respondeu*	O equipamento de Ultrassonografia é formada por fonte, material piezoelétrico polarizado, transdutor e monitor. O transdutor é o responsável pela “leitura”, e é nele que está o material piezoelétrico (é a parte que entra em contato com o corpo do paciente). A fonte de corrente alternada gerará um campo magnético alternante na região próxima ao material piezoelétrico. Como este material está polarizado, a tendência das cargas negativas será a de oscilarem à medida que o campo magnético varia, provocando assim uma alteração na espessura deste material. Esta variação de espessura gerará, por uma diferença de pressão, ondas de frequência acima do som (daí o nome “ultrassom”) , que atravessarão o corpo do paciente. Uma vez acontecido isso, essas ondas foram mais refletidas (pelo que for mais denso) ou menos refletidas (pelo que for menos denso). É assim que adquire-se a diferença de intensidade no monitor. Refletidas, elas retornam ao transdutor, perturbando o material mais uma vez. Agora, está oscilação do material polarizado criará uma corrente elétrica alternada, que voltará pelo fio e será lida pelo aparelho de som, sendo decodificada em imagens no monitor.	Explicou corretamente o funcionamento do aparelho de ultrassom, entretanto faltou explicar como as ondas de ultrassom geram corrente elétrica e como esta forma a imagem no monitor de televisão. Escreveu incorretamente que a corrente elétrica é lida por um aparelho de som.
3	São materiais que, quando submetidos a um aumento de pressão, liberam uma carga elétrica. O cristal de quartzo é um exemplo deste tipo de material, e o funcionamento do “Magiclick” é baseado nisto.	Um material piezoelétrico é um material que tem a propriedade de gerar corrente elétrica quando submetido a uma pressão. São exemplos: cristal de quartzo e algumas cerâmicas.	Faltou mencionar que o material piezoelétrico é polarizado e que gera pressão a partir de corrente elétrica.
4	Imagino que, uma vez que a luz pode ser considerada uma onda eletromagnética, a imagem formada na retina estimula os sensores nervosos	Em nossa retina, tem-se bastonetes e cones. Os cones são os responsáveis pela diferenciação de cor (vermelho, verde e azul: RGB.). Quando a luz incide na retina, ela arrancará e dará mais energia cinética para os elétrons dos cones correspondentes à frequência da luz incidente. A frequência necessária para excitar um cone azul, por exemplo, será maior do que a para excitar um cone vermelho. Essa leitura é feita pelo nervo ótico.	A resposta da aluna foi bastante completa, somente faltou falar sobre a função dos bastonetes e relacioná-los ao efeito fotoelétrico.

		deste local. Estes sensores, por sua vez, “traduzem” a imagem como pulsos elétricos, enviando esta “decodificação”, então, para o cérebro.		
5	Não respondeu*	Efeito fotoelétrico , utilizado em postes de luz, visão, radiologia. Efeito Compton , semelhante ao efeito fotoelétrico, com a diferença de que há radiação que não é absorvida, também presente na radiologia. Produção de Pares , útil na PET.		Na PET é utilizada a aniquilação de pares e não na produção de pares. Exceto tal equívoco a resposta do pós-teste da aluna está dentro do esperado, já que não foi solicitado que explicasse os três tipos de interação da radiação com a matéria. A aluna citou as três formas de interação da radiação com a matéria bem como os exemplos trabalhados no curso, fornecendo indícios de que aprendeu significativamente quais são os três tipos de interação da radiação com a matéria, bem como os respectivos exemplos.
6	Não respondeu*	É graças ao efeito fotoelétrico que as imagens radiográficas são feitas. Os Raios-X incidem sobre as partes do corpo a serem escasseadas e é absorvido pelas mais densas. Isso porque a probabilidade de um fóton colidir com um elétron (gerando o efeito fotoelétrico) é maior em átomos maiores (quanto mais prótons, mais elétrons).		Relacionou corretamente a densidade, à absorção ao efeito fotoelétrico.
7	Não respondeu*	O efeito Compton é o “destruidor de imagens” na radiografia, pois, como parte da radiação não é absorvida, por reflexão ela acaba criando campos cinza na imagem gerada, gerando uma imagem que não equivale à estrutura humana real, em alguns pontos.		Relacionou corretamente o efeito Compton a distorção na imagem. Entretanto, os Raios-X não são refletidos, mas sim são absorvidos e reemitidos.
8	Não respondeu*	O paciente ingere uma substância (exemplo Flúor-18), ligada a uma molécula orgânica (glicose ou iodo) que libera pósitrons. Como tem-se, em nosso organismo, elétrons, estes pósitrons encontram-se com estes elétrons, dessa forma ocorre à aniquilação deste par matéria e antimatéria. O resultado desta aniquilação são dois raios gama. Estes raios serão mais intensos na região do cérebro (ou tireóide) que estiver ativa. Assim, é o paciente que emite radiação, e tal radiação é lida pelos detectores.		A resposta apresentada pela aluna é bastante completa e não apresenta nenhum erro conceitual.
9	Não respondeu*	Alfa → é composta por dois prótons e dois nêutrons. É liberada por átomos com mais de 82 prótons, na busca de um equilíbrio. Por isso, é uma radiação ligada ao <u>núcleo</u> de átomos instáveis. Beta → pode ser beta “+” e beta “-”. A radiação beta é liberada quando um átomo busca igualar o número de prótons e de nêutrons do seu interior. Será beta “+” quando um próton se transformar em		Houve um equívoco quando a aluna afirmou que apenas há a produção de radiação alfa quando há mais do que 82 prótons. Na radiação beta faltou colocar que quando um nêutron se transforma em próton há emissão também de um antineutrino. A radiação gama não ocorre apenas quando matéria e antimatéria se encontram. Explicou corretamente a produção de Raios-X, mas não explicou por que há a

			<p>um nêutron e, beta “-” quando um nêutron se transformar em um próton. A beta “-” é um elétron e a beta “+” é um pósitron.</p> <p>Gama → radiação formada a partir da aniquilação de pares, ou seja: quando um elétron encontrar sua antimatéria, o pósitron, essas massas se transformam em energia, do tipo radiação gama. Para conservação de momento, dois raios gama são liberados perpendicularmente a direção de viagem do pósitron e do elétron.</p> <p>Raios-X → pode ser a formação característica, onde um fóton incidente arranca um elétron de camada mais interna, cujo espaço é ocupado por outro de uma camada mais externa. Como o que estava na camada mais externa possuía mais energia, a energia em excesso é emitida na forma de Raios-X (quanto mais prótons, mais probabilidade de essa emissão ser de Raios-X.) Outra forma é por freamento: quando um elétron se aproxima de um núcleo, ele é freado, ou seja, perde energia cinética. Essa energia perdida é reemitida em forma de radiação, dependendo novamente da quantidade de prótons no núcleo para ser um Raios-X ou não.</p>	<p>necessidade de haver um material com alto número atômico para que ocorra a sua produção.</p> <p>Nesta questão a aluna apresentou indícios de que sabe significativamente, parcialmente, as características de cada tipo de radiação e como elas são produzidas, pois apresentou os equívocos mencionados anteriormente.</p>
--	--	--	---	--

* Justificou que não sabia a resposta a essas questões.

dois alunos colocaram o efeito Doppler, um colocou reflexão das ondas e outro colocou o estudo das ondas sonoras não audíveis.

Um aluno colocou que um conceito importante é o “efeito Doppler, pois permite “visualizar” movimentos” (Dirlei). Entretanto, não explicou como se dá essa “visualização” de movimentos a partir do efeito Doppler, mostrando que apenas sabe uma das aplicações da Ultrassonografia e um dos conceitos envolvidos, não sabendo como ocorre o funcionamento do aparelho.

Dois alunos responderam da mesma forma que: “o conceito que envolve são os fenômenos ondulatórios, pois com base nele o aparelho funciona. O fato de utilizar o eco produzido é um conceito importante a ser avaliado” (Arminda e Edinan). Essa resposta apresentou muita confusão, pois foi muito generalizada não explicando quais são os conceitos que envolvem os fenômenos ondulatórios, e nem como a partir deles o aparelho funciona. Além disso, não colocaram por que eles consideram o eco um conceito importante para o entendimento da Ultrassonografia.

As outras três respostas também foram bastante descritivas.

A aluna Marta assim descreveu: “acredito que ondas sonoras emitidas com frequência mais alta do que a faixa do audível; peça de tradução de leitura de vibração mecânica para elétrica (luz; imagem)”. O correto seria dizer “ondas longitudinais emitidas com frequência mais alta do que a faixa do audível para os seres humanos”. Entretanto, ela colocou, corretamente, que no aparelho de ultrassom há uma peça

(transdutor) que transforma vibração mecânica em elétrica e essa é transformada em luz e imagem, mas não explicou como ocorre esse processo e nem quais são os conceitos importantes.

O aluno Marcelo escreveu: “considero importante o estudo das ondas sonoras não audíveis e a reflexão de ondas”, embora os conceitos mencionados pelo aluno sejam relevantes não foi justificado porque da utilização desses conceitos. No lugar de ondas sonoras deveria ser colocado ondas longitudinais.

A última resposta, desta questão, a ser analisada foi da aluna Janaína que escreveu: “Não tenho certeza, mas imagino que as altas frequências usadas na Ultrassonografia facilitam a visualização dos órgãos internos do corpo humano”. Ela apresentou uma resposta correta, mas bastante superficial, descrevendo apenas que as altas frequências usadas na Ultrassonografia facilitam a visualização dos órgãos internos ao corpo humano, mas não colocou em relação ao que pode-se dizer que há alta frequência e nem como essas frequências são usadas para a visualização de órgãos internos.

Na segunda questão, quatro alunos responderam, todos de forma essencialmente descritiva e superficial.

Dois alunos forneceram a mesma resposta: “através da emissão de altas frequências em contato com a pele, o eco produzido por elas faz com que ao analisarmos as ondas recebidas, possamos ter conhecimento do que se deseja” (Arminda e Edinan). Nessa explicação os alunos deixaram claro que tinham conhecimentos de que na Ultrassonografia é necessário haver eco para conseguir fazer os exames. Mas novamente não mencionaram em relação ao que a frequência é alta, como é produzido às ondas de ultrassom e como elas são refletidas e interpretadas.

Um dos alunos mencionou que são importantes os materiais piezoelétricos, explicando-os superficialmente, mas corretamente. Explicou o efeito piezoelétrico, mas não o efeito piezoelétrico inverso: “não consigo lembrar, mas creio que deve ter a ver com piezoeletricidade, onde a eletricidade deforma o cristal que emite ultrassom, este penetra nos líquidos corporais, mas é refletido por tecidos e estruturas sólidas e captado novamente pelo equipamento” (Dirlei). Entretanto, as ondas não são apenas refletidas por tecidos sólidos.

O aluno Alex descreveu corretamente o funcionamento do equipamento de ultrassom, mas não a explicou: “uma fonte produz corrente elétrica, que por sua vez produz ondas mecânicas ultrassônicas, voltando como eco é absorvida pelos transdutores e transformado em imagem”.

A aluna Maria também apenas descreveu algumas partes do aparelho de ultrassom: “transforma energia elétrica em energia acústica e vice-versa, e depois, os sinais elétricos em imagem projetada num monitor de televisão”. Entretanto, a aluna colocou erroneamente que é transformado energia elétrica em energia acústica, o que ocorre é a transformação de energia elétrica em uma onda longitudinal na frequência do ultrassom.

Na terceira questão houve cinco alunos que responderam.

O aluno Carlos (nome fictício) respondeu corretamente apenas que o material piezoelétrico transforma pressão em eletricidade.

O aluno Dirlei descreveu o funcionamento do material piezoelétrico, mas não explicou o funcionamento, como pode-se ver por sua afirmação: “quando percorridos por uma eletricidade deformam sua estrutura cristalina, produzindo ultrassom, ou ainda quando pressionados produzem pequenas correntes elétricas” (Dirlei).

O aluno Alex também explicou o funcionamento superficialmente e de forma confusa não deixando claro o que entende por cristalino: “é um material que possui um cristalino e em pressão ele tem uma ddp em suas extremidades”.

Da mesma forma, a aluna Maria explicou superficialmente o funcionamento dos materiais piezoelétricos: “É um cristal que, quando submetido a uma pressão gera um campo elétrico”.

A aluna Marta explicou o efeito piezoelétrico inverso, mas não explicou o efeito piezoelétrico, dando um exemplo de aplicação.

“São materiais que, quando submetidos a um aumento de pressão, liberam uma carga elétrica. O cristal de quartzo é um exemplo deste tipo de material, e o funcionamento do ‘Magiclick’ é baseado nisto” (Marta).

Na questão quatro, sete responderam a essa questão, destes cinco relacionaram corretamente a importância do efeito fotoelétrico com a visão, entretanto faltando algumas partes importantes, como pode-se ver na descrição de Marcelo:

“A energia luminosa (fótons) chega ao fundo do nosso olho, a colisão de um fóton com elétrons de um átomo pode acelerar este elétron e este salta da camada orbital que se encontra tornando-se um elétron livre” (Marcelo). Na afirmação do aluno falta a diferenciação dos tipos de células e a sua influência no efeito fotoelétrico e de como esta informação é levada até o cérebro.

O aluno Carlos respondeu que “o fóton que chega a nossa retina arranca elétrons formando sinal elétrico que é encaminhado ao cérebro”. Também uma resposta bastante descritiva não explicando como ocorre o processo.

Os demais alunos também responderam de forma superficial a questão:

“Fótons de luz são captados pelas células do olho (cones e bastonetes) que, com esta energia, emitem estímulos nervosos, elétrons, que vão até o cérebro e são interpretados” (Dirlei).

“Capta os fótons refletidos em outros materiais e absorvidos pelos olhos, transmitindo pelo córtex cerebral até chegar ao cérebro” (Alex).

“Os nossos olhos captam fótons e esses são levados até o cérebro, mais especificamente ao córtex visual” (Maria).

Dois alunos não relacionaram a visão ao efeito fotoelétrico:

“A luz é captada pelos olhos e a imagem é transmitida através do sistema nervoso para o cérebro, onde é interpretada por ele” (Jaqueline).

“Imagino que, uma vez que a luz pode ser considerada uma onda eletromagnética, a imagem formada na retina estimula os sensores nervosos deste local. Estes sensores, por sua vez, “traduzem” a imagem como pulsos elétricos, enviando esta “decodificação”, então, para o cérebro” (Marta).

Na questão cinco, apenas três alunos afirmaram conhecer algo sobre o assunto. Entretanto, não houve nenhuma resposta correta.

O aluno Marcelo confundiu as formas de interação da radiação com a matéria com as formas de produção de radiação, conforme pode-se ver na transcrição abaixo:

“Radiação alfa, beta e gama” (Marcelo).

E os alunos Alex e Maria também apresentaram confusão, respondendo da seguinte forma:

“Radiação Ionizantes, não-Ionizantes e magnética” (Alex).

“Radiação ionizante, não ionizante e eletromagnética”. (Maria).

Na sexta questão apenas uma aluna disse saber algo sobre o assunto, demonstrando desinformação pelos demais alunos. A aluna Jaqueline associou que para fazer imagens de dentro do corpo há a necessidade de fótons, mas se equivocou quando afirmou que o fóton

possui frequência, na realidade o fóton possui energia, que está associado a uma onda e esta por sua vez possui frequência, sendo que esta e a energia são diretamente proporcionais.

“Imagino que com a descoberta do fóton, que possui alta frequência e velocidade, possibilitou uma melhor visualização do corpo humano” (Jaqueline).

Na sétima e oitava questões, todos os alunos desconheciam o assunto, sugerindo completo desconhecimento prévio acerca do conteúdo.

Na última questão, três alunos responderam de forma bastante superficial, como pode-se observar nas transcrições abaixo:

“A radiação, é produzida através da emissão de fótons quando elétrons mudam de orbital após serem excitados e quando deixam de ser excitados” (Carlos).

“Decaimento de núcleos radioativos em busca de maior estabilidade; freamento de elétrons de alta energia” (Dirlei).

“Devido ao decaimento radioativo – onde um átomo instável perde radiação para tornar-se estável. Neste caso o núcleo do átomo instável perde radiação do tipo alfa, beta e/ou gama tornando-se um núcleo de um átomo mais leve. Caso seja somada a massa das partículas emitidas e do átomo resultante, tem-se uma “falta” de massa que é o valor transformado em energia” (Marcelo).

5.4.4 Análise V de Gowin

Nessa aplicação haviam sido fornecidas aos alunos quatro atividades experimentais, ficando três em duplas e uma em trio. Entretanto, durante uma das atividades queimou a lâmpada no início do experimento, então os grupos foram reorganizados em três grupos.

Observa-se os diagramas construídos pelos estudantes. O V N° 6, mostrado na Figura 32, se refere à análise das ondas formadas em uma mola popularmente chamada de “mola maluca” (ondas longitudinais) e das ondas formadas em uma corda (ondas transversais).

Como pode-se ver na Figura 32, os alunos, não colocaram filosofia, registros, transformações, dados, asserções de valor e a nova questão foco. Na questão básica não fizeram uma pergunta. Nas asserções de conhecimento os alunos fizeram o que propunham na questão básica, ou seja, diferenciaram ondas longitudinais e transversais. Entretanto tal V apresentou alguns equívocos: 1) as ondas longitudinais não são semelhantes às ondas sonoras, as ondas sonoras são exemplos de ondas longitudinais, o mesmo serve para as ondas transversais que não são semelhantes às ondas do mar, mas estas são um exemplo de onda transversal. O evento está bem explicado. As teorias e princípios se assemelham mais a conceitos.

Utilizando os critérios do ANEXO A - Critérios para avaliar os V construídos pelos estudantes, tem-se: teorias, princípios e conceitos (1); evento (3); registros, dados e transformações (0); asserções de conhecimento (2); asserções de valor (0); questão básica (0); nova questão foco (0). Total: 6 pontos.

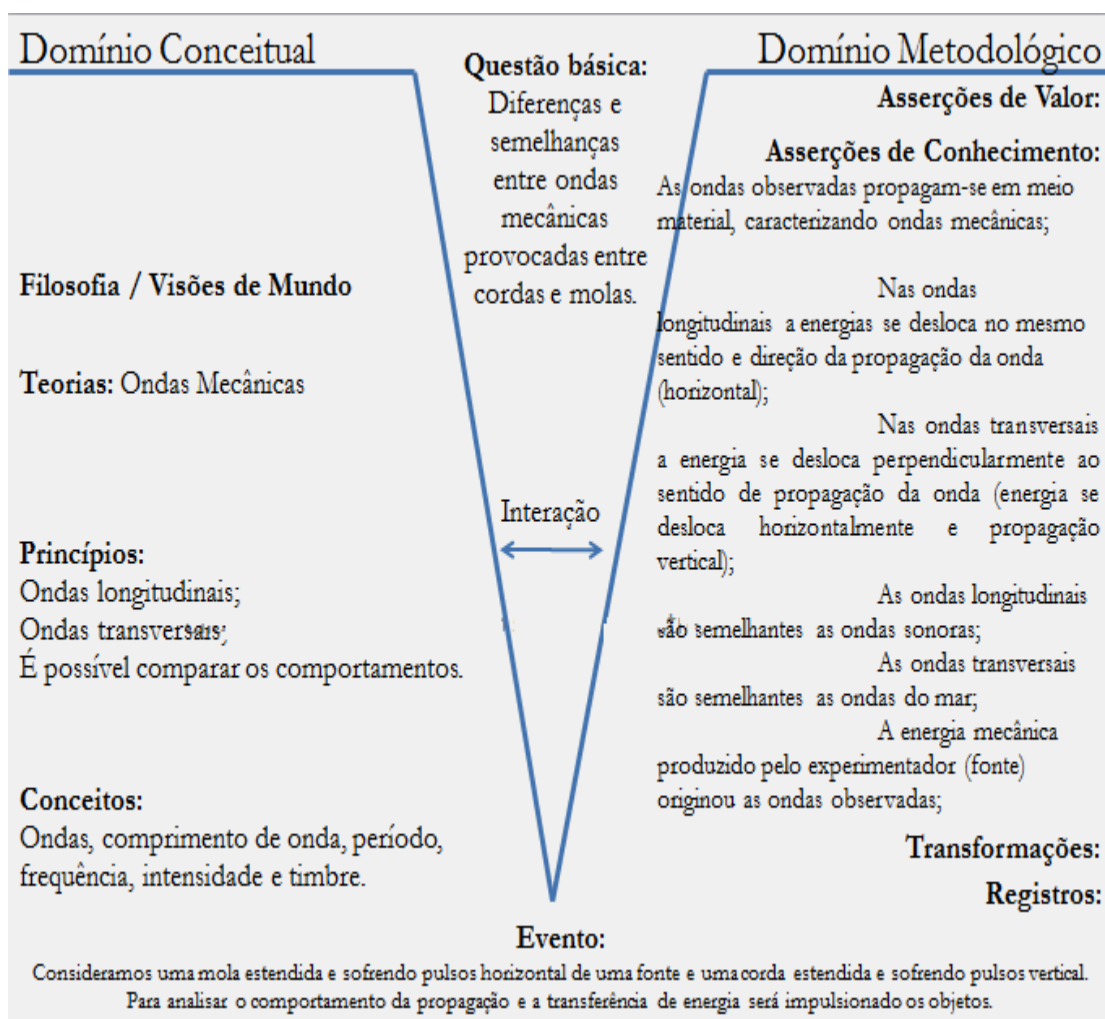


Figura 32: V número seis- 4º aplicação.
Autores: Jaqueline e Marcelo (nomes fictícios).

O V nº 7, mostrado na Figura 33, refere-se à observação de qual papel (preto, branco ou amarelo) esquentam mais se estão equidistantes de uma vela acesa.

Como se pode ver na Figura 33, os alunos apenas não colocaram a nova questão foco e os dados. A asserção de conhecimento não é uma resposta à questão-básica. Na asserção de valor deveria ser colocado o motivo de o entendimento da reflexão e da absorção terem tal importância. O que está escrito em transformações deveria ser colocado em registros. Mesmo a atividade sendo qualitativa poderia haver em transformações uma tabela com as relações entre cor e temperatura.

Utilizando os critérios do ANEXO A - Critérios para avaliar os V construídos pelos estudantes, tem-se: teorias, princípios e conceitos (4); evento (2); registros, dados e transformações (2); asserções de conhecimento (0), asserções de valor; (0), questão básica (3), nova questão foco (0). Total: 11 pontos.

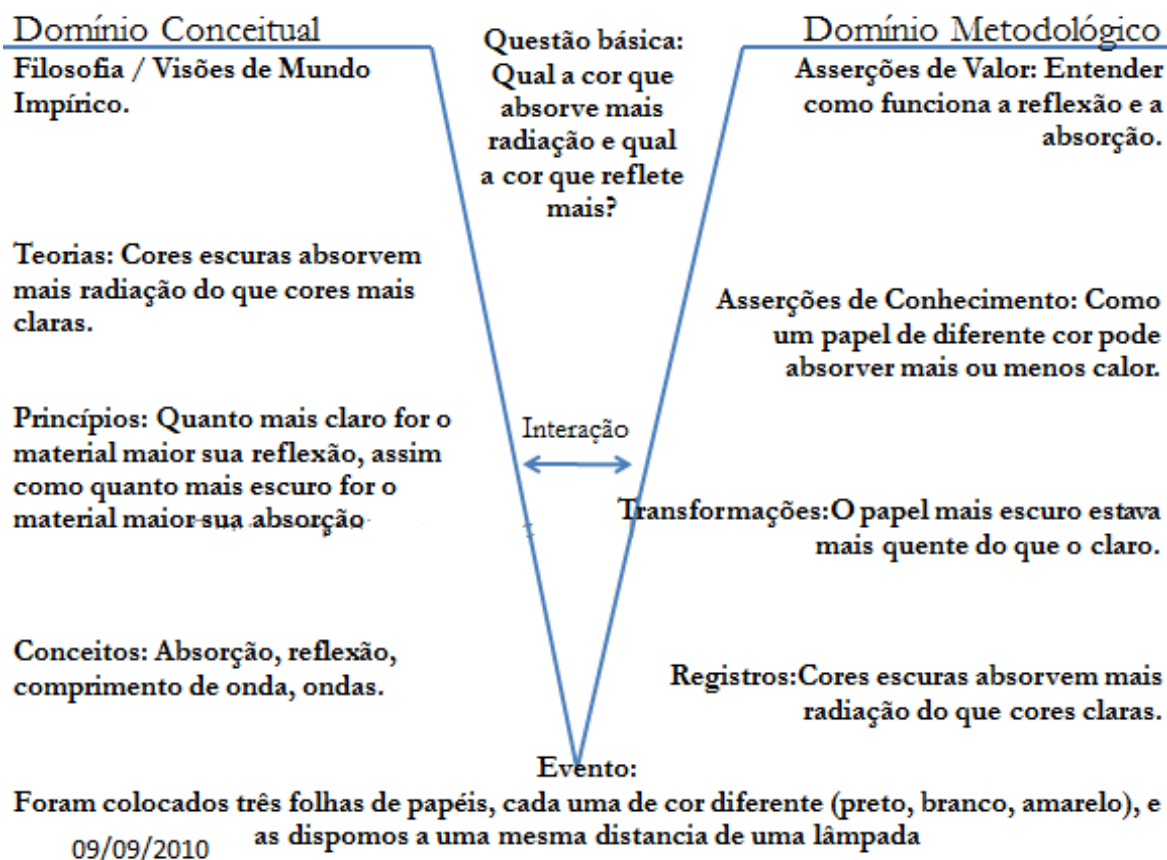


Figura 33: V número sete- 4ª aplicação.

Autores: Arminda, Morgana, Edinan, Janaína. (nomes fictícios).

O V nº 8, mostrado na Figura 34, refere-se à observação de como filtros coloridos interferem nas cores que as pessoas veem dos objetos.

Como pode-se ver na Figura 34, os alunos não colocaram a nova questão foco. Em teorias houve confusão, a Física Moderna não é uma teoria e a Óptica eletromagnética não existe. Na asserção de valor, o grupo não colocou por que é útil estudar tal assunto.

Utilizando os critérios do APÊNDICE A- Questões qualitativas primeira aula experiência piloto, tem-se: teorias, princípios e conceitos (3); evento (3); registros, dados e transformações (4); asserções de conhecimento (2), asserções de valor (0), questão básica (3), nova questão foco (0). Total: 15 pontos.

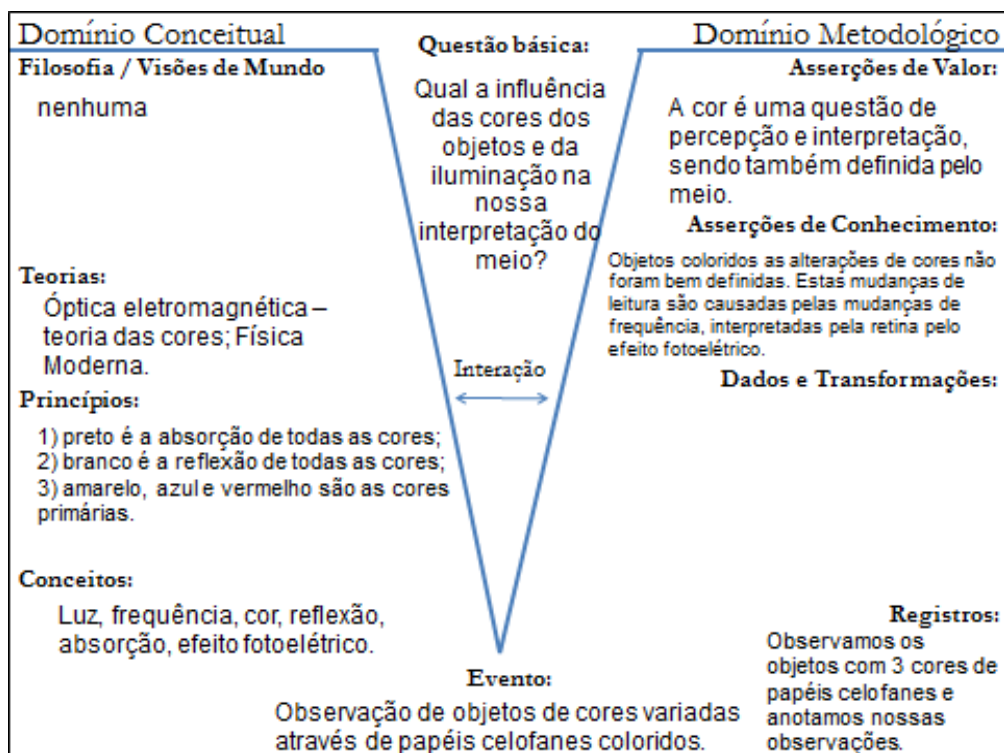


Figura 34: V número oito- 4ª aplicação.
 Autores: Dirlei, Maria e Marta (nomes fictícios).

5.4.5 Análise mapas conceituais

Nessa aplicação, da mesma forma que na terceira, foi solicitado, como tarefa a distância, que os alunos fizessem onze mapas conceituais sobre os conteúdos abordados no curso. Tais eram re-entregues aos alunos que deveriam corrigi-los e, após, reenviá-los. Entretanto, muitos mapas conceituais não foram nem corrigidos nem reenviados pelos alunos.

Foram analisados todos os mapas conceituais de três formas: 1) se havia ou não hierarquia; 2) a partir de uma lista pré-definida de conceitos, considerados relevantes, foram contados, nos mapas dos alunos, quantos destes conceitos estavam presentes; 3) a terceira categoria de análise utilizada foi à proposta por Dutra (2004, p.5), vista na seção 5.1.3.2. Formas de analisar os mapas conceituais.

Foram desenvolvidos pelos alunos 48 mapas conceituais, sendo que destes 28 mapas foram corrigidos e reenviados a pesquisadora.

Na Tabela 29 foi feito a análise dos mapas conceituais em relação à hierarquia.

Tabela 29: análise mapas conceituais aplicação 4- Hierarquia.

Assunto do mapa	Quantidade de mapas	Há hierarquia	Não há hierarquia	Quantidade de mapas corrigidos	Há hierarquia	Não há hierarquia
Ultrassonografia (foi feito em dupla)	3	3	0	3	2	1
Interação da radiação com a matéria	4	4	0	3	3	0
Produção de radiação	5	5	0	5	5	0
O Equipamento de Raios-X Convencional e da Mamografia	4	4	0	1	1	0

Mamografia (duas alunas preferiram fazer este mapa separado do equipamento de Raios-X)	2	2	0	1	1	0
Imagem radiológica	5	5	0	2	2	0
Fluoroscopia	5	4	1	1	1	0
Radioterapia	4	4	0	3	3	0
Tomografia	4	3	1	2	1	1
Detectores de radiação	4	4	0	2	2	0
Ressonância Magnética Nuclear	5	5	0	2	2	0
Medicina Nuclear: PET e SPECT	3	3	0	1	1	0
Totais	48	46	2	26	24	2

Observando a Tabela 29, percebe-se que há mais mapas que possuem hierarquia do que mapas que não a possuem, fornecendo indícios de aprendizagem significativa em 46 dos 48 mapas conceituais antes das correções e por 24 dos 26 mapas corrigidos pelos alunos.

Na Figura 35, há o primeiro mapa da aluna Janaína bem como as sugestões dadas pela pesquisadora. Esse mapa conceitual possui uma hierarquia e a aluna destacou o equipamento de Ultrassonografia, sendo que, a partir daí, começou a ligar conceitos (e palavras que não são conceitos) menos gerais. Já na segunda versão do mapa, Figura 36, não se pode perceber qualquer forma de hierarquia. Este segundo mapa fornece em contra-exemplo do apresentado na maioria dos mapas em relação à hierarquia.

Na Tabela 30 há, na primeira coluna, o assunto do mapa conceitual, na segunda coluna os conceitos considerados relevantes, na terceira e quarta coluna, respectivamente, o número do grupo e o nome fictício dos alunos. Na quinta, sexta, sétima e oitava coluna, respectivamente, os conceitos que os alunos usaram no mapa antes da correção pela pesquisadora, à quantidade de conceitos considerados relevantes nestes mapas, os conceitos usados pelos alunos na segunda versão do mapa e a quantidade de conceitos considerados relevantes depois da correção do mapa conceitual.

As palavras que estão em negrito na Tabela 30 representam os conceitos que os alunos colocaram, mas que não foi considerado relevante para o entendimento do aparelho.

Pode-se observar na Tabela 30, que na primeira versão do mapa conceitual, sete mapas construídos pelos alunos, possuem metade ou mais dos conceitos que foram considerados relevantes. Na segunda versão do mapa conceitual também houve sete mapas com metade ou mais de conceitos considerados relevantes, embora o número de mapas entregues tenha sido menor. Estes dados fornecem indícios que os alunos aprenderam significativamente apenas alguns dos conceitos abordados.

Embora tenha sido falado para os alunos sobre a importância de se colocar a explicação dos mapas conceituais, nenhum dos alunos colocou. Observando a Tabela 30, percebe-se que apenas vinte e seis mapas foram refeitos, após o reenvio das sugestões de correções. Destes, vinte e um mapas aumentaram o número de conceitos relevantes apresentados, quatro apresentaram a mesma quantidade e um diminuiu a quantidade de conceitos relevantes, antes e depois das correções, fornecendo indícios de aumento de conceitos aprendidos em vinte e um dos vinte e seis mapas conceituais refeitos.

A Figura 37 contém o trigésimo nono mapa conceitual, que é da aluna Marta, antes da correção e a Figura 38 apresenta o mapa depois de corrigido pela aluna. Em ambos, foram assinalados os conceitos considerados relevantes. Observando ambos os mapas, pode-se ver que há alguns conceitos repetidos. Sob os mapas há uma caixa com as sugestões fornecidas pela pesquisadora.

Todos os conceitos relevantes e irrelevantes, no primeiro mapa, continuam presentes no segundo mapa e há a utilização de mais os seguintes conceitos considerados relevantes: gás, estado sólido, cintilação, termoluminescência, luminescência, óptico, camada eletrônica, laser, ionização.

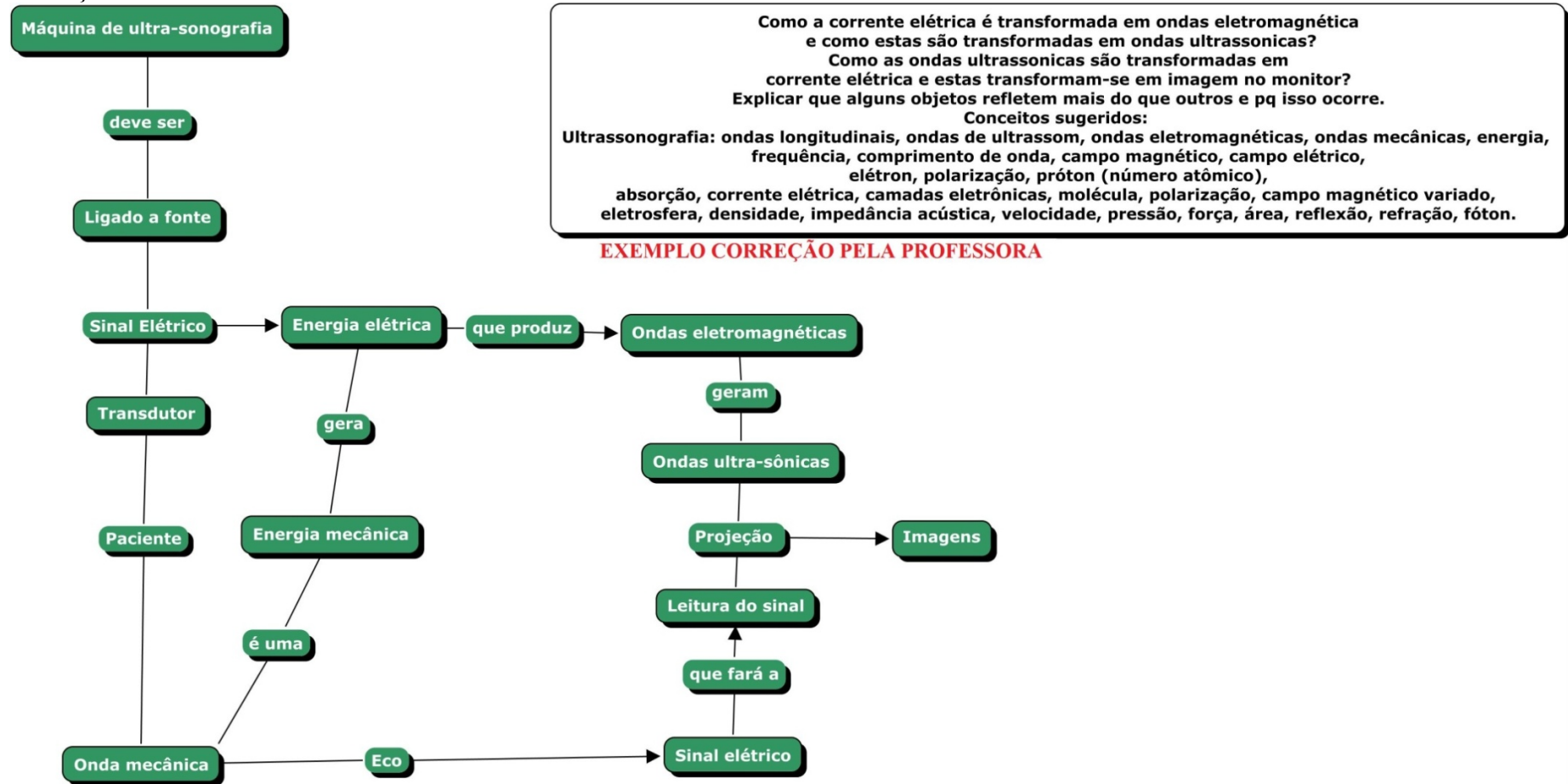


Figura 35: mapa conceitual da aluna Janaína antes da correção: hierarquia.

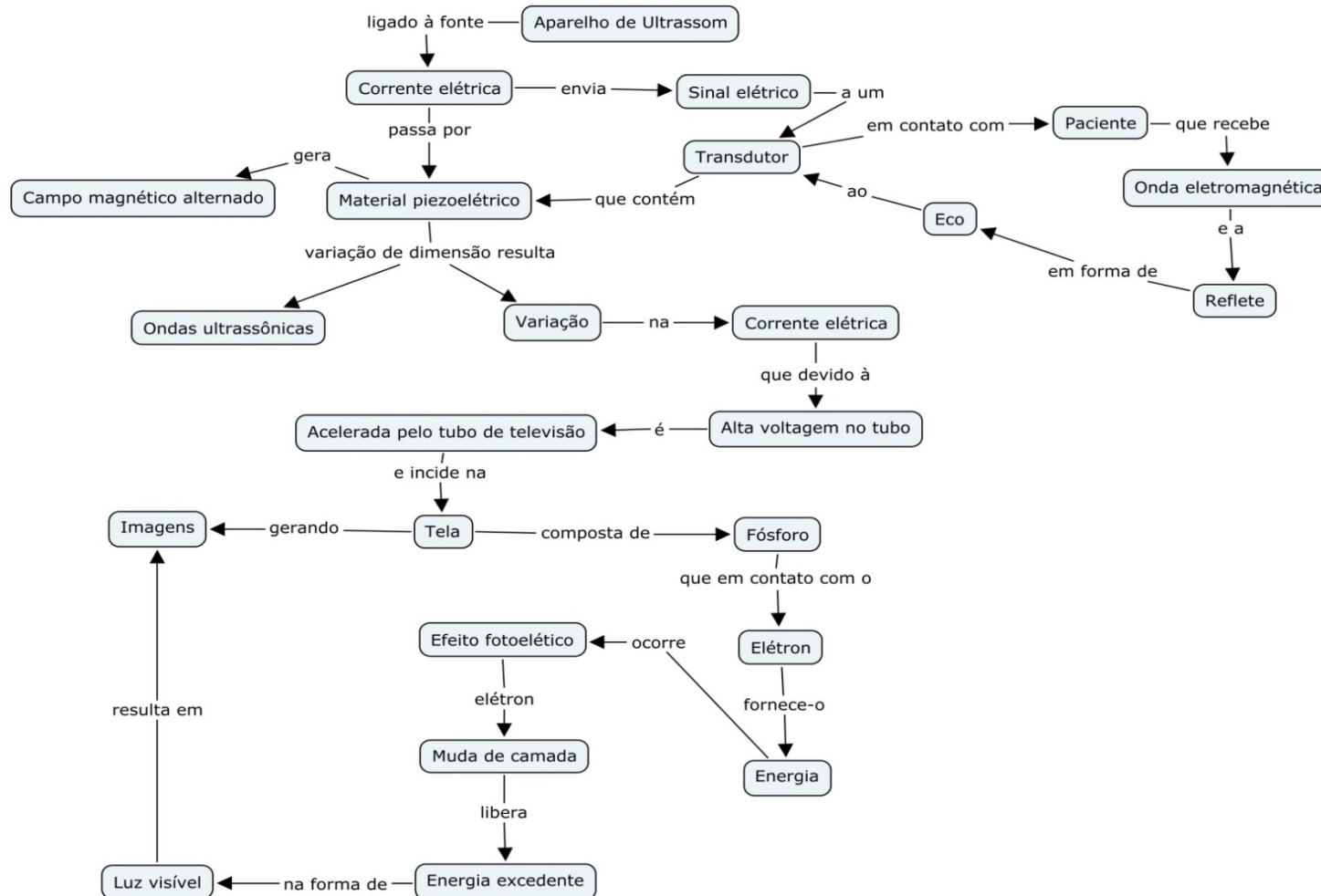


Figura 36: mapa conceitual da aluna Janáina depois da correção: hierarquia.

Tabela 30: análise mapas conceituais aplicação 4- quantidade de conceitos apresentados pelos alunos.

Assunto do mapa	Conceitos relevantes	Grupo	Alunos (nomes fictícios)	Conceitos relevantes utilizados: antes de o professor corrigir.	Quantidade de conceitos relevantes utilizados: antes da correção.	Conceitos relevantes utilizados: depois de o professor corrigir.	Quantidade de conceitos relevantes utilizados: depois da correção.
Ultrassono- grafia	Ultrassonografia, ondas longitudinais, ondas de ultrassom, ondas eletromagnéticas, ondas mecânicas, energia, frequência, comprimento de onda, corrente elétrica, campo magnético, campo elétrico, elétron, próton (número atômico), absorção, camadas eletrônicas, molécula, polarização, campo magnético variado, eletrosfera, densidade, impedância acústica, velocidade, pressão, força, área, reflexão, refração, fóton, ondas, ressonância, material piezoelétrico, transdutor, eco, efeito fotoelétrico, voltagem, aceleração, luz. Conceitos relevantes: 37.	1.	Marta	Ultrassonografia, ultrassom, corrente elétrica, material piezoelétrico, onda mecânica, elétrons, polarização, densidade.	8	Ultrassonografia, ultrassom, corrente elétrica, polarização, campo magnético, elétron, material piezoelétrico, onda mecânica, densidade.	9
		2.	Jaqueline e Marcelo	Ultrassonografia, transdutor, corrente elétrica, energia, polarização, moléculas, ondas eletromagnéticas, ondas mecânicas, eco, reflexão, incidência, transmissão.	10		
		3.	Janaína e Morgana	Ultrassonografia, ultrassom, corrente elétrica, energia elétrica, ondas, ondas eletromagnéticas, onda mecânica, energia mecânica , transdutor.	8		
		4.	Janaína			Ultrassonografia, ultrassom, corrente elétrica, transdutor, onda eletromagnética, reflexão, eco, material piezoelétrico, campo magnético, ondas de ultrassom, voltagem, aceleração, fósforo , elétron, energia, efeito fotoelétrico, luz.	16
		5.	Morgana			Ultrassonografia, ultrassom, corrente elétrica, onda mecânica, onda sonora , reflexão, eco, frequência, transdutor.	8
Interação da radiação	Interação, ondas eletromagnéticas, energia, frequência, comprimento,	6.	Marta	Interação, energia, átomo, pósitron, matéria, antimatéria, Raios-X, reflexão, energia, emissão, efeito fotoelétrico, produção de pares,	24		

com a matéria	elétron, próton (número atômico), ionização, pósitron, matéria e antimatéria, radiação, absorção, espalhamento, emissão de radiação, corrente elétrica, voltagem, fóton, camadas eletrônicas, momentum, massa, velocidade, eletrosfera, densidade, trabalho, energia cinética, emissão, aniquilação e produção de pares, efeito fotoelétrico e Compton, átomo, onda, núcleo, Raios-X, radiação gama, intensidade. Conceitos relevantes: 37.			aniquilação de pares, efeito Compton, próton, elétron, fóton, frequência, intensidade, energia cinética, força , núcleo, absorção, radiação, densidade.			
		7.	Morgana	Interação, radiação, efeito fotoelétrico, efeito Compton, produção de pares, onda, energia, momentum, núcleo, carga , elétron, pósitron, direções, raios gama, velocidade, energia cinética, fóton, direção , frequência.	17	Interação, radiação, efeito fotoelétrico, produção de pares, onda, fóton, frequência, eletrosfera, energia cinética, energia, velocidade, efeito Compton, elétron, eletrosfera, direção , efeito fotoelétrico, momentum, partícula , massa, carga , pósitron, elétron, raios gama, aniquilação de pares.	21
		8.	Janaína	Interação, radiação, efeito fotoelétrico, produção de pares, efeito Compton, fóton, núcleo, número atômico, pósitron, elétron, energia cinética, energia, ions , intensidade.	13	Efeito fotoelétrico, efeito Compton, produção de pares, aniquilação de pares, radiação eletromagnética, energia, elétron, energia cinética, intensidade, ionização, Raios-X, raios gama, interação, radiação, fóton, frequência, comprimento de onda, campo elétrico nuclear , pósitron, partícula, anti-partícula .	18
		9.	Marcelo	Interação, radiação, fissão, fusão, alfa, beta , gama, onda eletromagnética, partícula , elétron, pósitron, aniquilação de pares, efeito Compton, produção de pares, ionização, moléculas , efeito fotoelétrico, átomo, eletrosfera, energia cinética, níveis energéticos, fóton, absorção .	16		
Produção de radiação	Ondas eletromagnéticas, energia, onda, frequência, comprimento, elétron, próton (número atômico), nêutron, ionização, atração, repulsão,	10.	Marta	Próton, nêutron, átomo , pósitron, elétron, antimatéria, beta, carga, alumínio , alfa, gama, massa, partícula, força elétrica, núcleo, aniquilação de pares, velocidade, energia, Raios-X, radiação característica, Raios-X de	22	Próton, nêutron, átomo , neutrino, pósitron, elétron, radiação, beta, alfa, gama, massa, núcleo, força elétrica, força forte, aniquilação de pares, massa, velocidade da luz,	26

	força nuclear forte, fraca e elétrica, pósitron, neutrino, antineutrino, matéria, antimatéria, radiação, absorção, fóton, radioatividade, camada eletrônica, momentum, massa, velocidade, núcleo, eletrosfera, partícula, corrente elétrica, voltagem, aniquilação de pares, Raios-X, radiação alfa, beta e gama, Raios-X característico e Raios-X freamento. Conceitos relevantes: 35.			freamento, fóton, camada eletrônica, liberação de energia, energia cinética, freamento , carga, frequência.		energia, carga, frequência, Raios-X de freamento, radiação característica, fóton, energia, Raios-X, camada eletrônica, antimatéria, energia cinética, campo elétrico.	
		11.	Morgana	Radiação, ionização, energia, onda eletromagnética, luz, calor , onda, partícula, núcleo, alfa, beta, próton, nêutron, elétron, átomo , antineutrino, Raios-X, radiação gama, energia cinética, calor.	15	Radiação, ionização, eletrosfera , Raios-X, elétron, núcleo, direção , energia, calor , Raios-X freamento, Raios-X característico, cátodo, ânodo, átomo , alfa, beta, próton, nêutron, onda, radiação gama, partículas, aniquilação de pares, onda eletromagnética.	17
		12.	Janaína	Radiação, ionização, átomo , núcleo, próton, nêutron, alfa, elétron, beta, partícula, ondas eletromagnéticas, radiação gama, aceleração, energia cinética, calor , Raios-X, chumbo.	12	Radiação, ionização, alfa, núcleo, partícula, próton, nêutron, energia cinética , massa, penetração , beta, pósitron, energia, radiação gama, onda eletromagnética, elétron, cátodo, ânodo , fóton, direção.	15
		13.	Jaqueline	Ondas eletromagnéticas, Raios-X, radiação gama, energia, núcleo, nêutron, próton, neutrino, pósitron, elétron, aceleração , voltagem.	11	Raios-X, raios gama, energia, núcleo, nêutron, próton, decaimento radioativo, radiação alfa e beta, penetração , massa, aceleração , elétrons, voltagem, ânodo, Raios-X de freamento, Raios-X característico, espectro.	13
		14.	Marcelo	Próton, nêutron, elétron, antineutrino, neutrino, radiação, alfa, beta, gama, onda eletromagnética, pósitron, partícula.	12	Próton, nêutron, decaimento radioativo , pósitron, neutrino, antineutrino, elétron, próton, radiação, alfa, beta, gama, partícula, elétron, onda eletromagnética.	14
A Equipamento de	Cátodo, anodo, energia, voltagem, corrente elétrica, frenagem, força elétrica,	15.	Marta	Filtro , energia, filme , absorção, radiação, gerador , diodo, retificador, corrente elétrica, transformador , voltagem, elétrons, Raios-X,	16	Absorção, radiação, energia, filme, filtro , Raios-X, densidade, voltagem, anodo, efeito	17

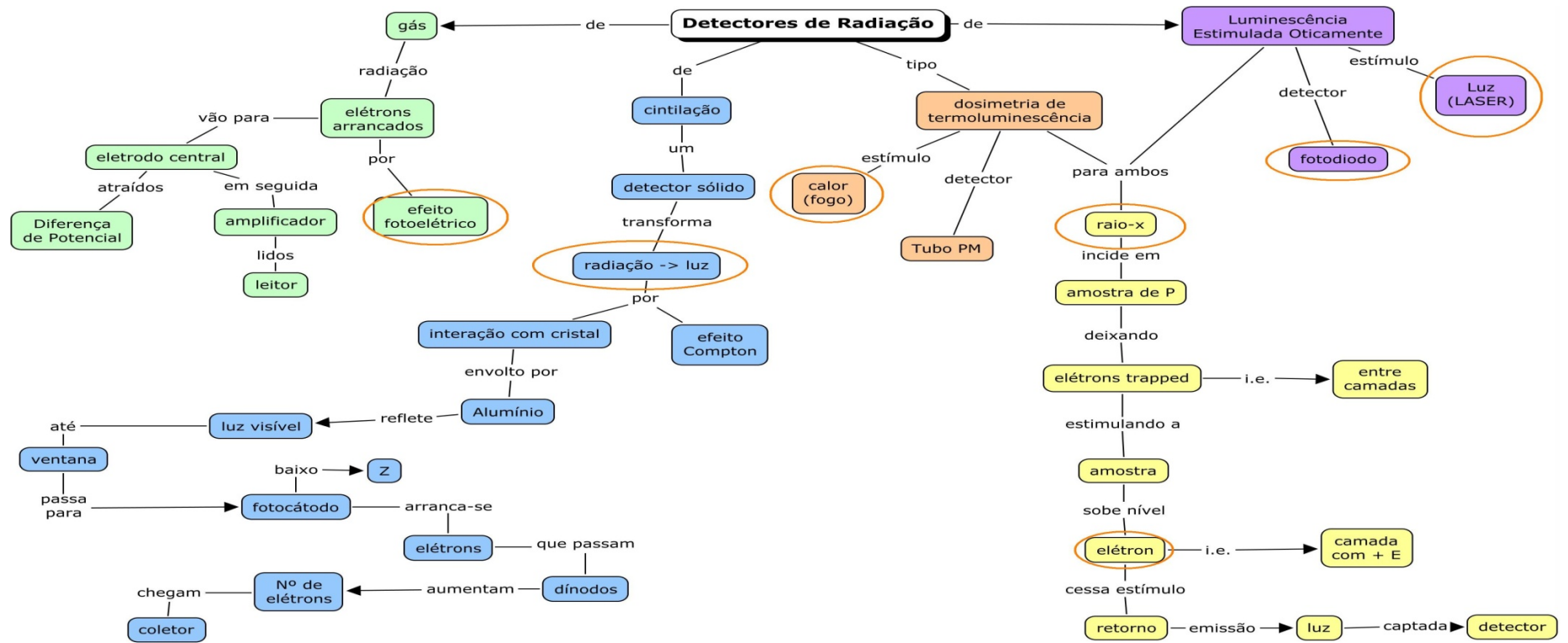
Raios-X Convencional e da Mamografia	elétron, diodo, retificador, onda, ponto de fusão, velocidade, fóton, absorção, comprimento de onda, conservação de energia, transformação de energia, Raios-X, chumbo, radiação, número atômico (próton), densidade, frequência, camada eletrônica, efeito fotoelétrico, luz produção de Raios-X por freamento, produção de Raios-X característica. Conceitos relevantes: 29.			produção de Raios-X por freamento, produção de Raios-X característica, anodo, efeito fotoelétrico, densidade, onda, luz, volume, base, emulsão, chassi		fotoelétrico, onda, luz, volume, tela-película, base, emulsão, filme, chassi, chumbo, massa, transformador, produção de Raios-X por freamento, produção de Raios-X característica, elétron, gerador, diodo, retificador, corrente elétrica, sentido.	
		16.	Janaína	Raios-X, cátodo, anodo, corrente elétrica, elétrons, chumbo, energia, filtro, densidade, radiação, número atômico, efeito fotoelétrico, potência, tempo, fóton, corrente elétrica, voltagem, diodo, timers, filamento, retificador, transformador, corrente alternada, corrente contínua, circuito, cátodo, fluxo de corrente, filamento.	17		
		17.	Marcelo	Corrente elétrica, transformador, voltagem, retificador, diodo, tempo, capacitor, corrente alternada, corrente contínua, anodo, elétron, cátodo, Raios-X, energia, fóton, Raios-X característico, luz, tela fosforescente, filme, frequência, Raios-X de freamento.	14		
		18.	Morgana	Raios-X, densidade, radiação, número atômico, eletrodos, voltagem, corrente elétrica, anodo, cátodo, filamento, elétrons, calor, tubo, energia, detector, chumbo.	11		
Mamógrafo (dois alunos preferiram fazer separado o mamógrafo do equipamento de Raios-X convencional)	Cátodo, anodo, energia, voltagem, corrente elétrica, frenagem, número atômico, força elétrica, elétron, diodo, retificador, onda, ponto de fusão, velocidade, fóton, absorção, frequência, comprimento de onda, conservação de energia, transformação de energia, Raios-X, chumbo, radiação, densidade, camada eletrônica, efeito fotoelétrico, luz, produção de Raios-X	19.	Janaína	Radiação característica, número atômico, radiação, energia, elétron, voltagem, absorção, densidade, penetração, corrente elétrica, contraste, retificador, corrente alternada, corrente contínua, gerador, frequência, luz, detectores, tela-película, intensidade, amplificação, fóton, Raios-X.	13	Número atômico, espessura, anodo, radiação, fóton, elétron, radiação característica, energia, absorção, densidade, voltagem, Raios-X, corrente elétrica, penetração, contraste, retificador, corrente alternada, corrente contínua, gerador, frequência, intensidade, luz.	15
		20.	Morgana	Radiação característica, anodo, energia, densidade, número atômico, absorção, radiação.	6		

	característica. Conceitos relevantes: 28						
Imagem radiológica	Corrente elétrica, carga, voltagem, cátodo, anodo, elétron, próton (número atômico), velocidade, gerador, onda eletromagnética, filamento, energia, dose, tempo, Raios-X, fóton, efeito fotoelétrico, efeito Compton e produção de pares, densidade, absorção, chassi, chumbo, écran, camada eletrônica, luz, filme, radiação, penetração, contraste. Conceitos relevantes: 30.	21.	Marta	Efeito fotoelétrico, absorção, Raios-X, dose, écran, luz, filme, chassi, densidade, emissão , elétrons, contraste, distância , corrente elétrica, tempo, penetração, voltagem.	15	Raios-X, energia, absorção, fóton, dose, voltagem, elétron, corrente elétrica, tempo, écran, luz, efeito fotoelétrico, filme, chassi, absorção, densidade, contraste, reflexão.	18
		22.	Morgana	Voltagem, energia, Raios-X, penetração, radiação, contraste, corrente elétrica, temperatura , fóton, tempo.	9		
		23.	Marcelo	Contraste, Raios-X, anodo, cátodo, voltagem, elétron, analógico , digital , filme, densidade, espessura .	8		
		24.	Janaina	Área , foco , radiação, ionização, intensidade , densidade, absorção, Raios-X, écran, luz, filme, chassi, voltagem, cátodo, velocidade, elétron, energia, penetração, contraste, fóton, corrente elétrica.	18	Radiação, intensidade , energia, espessura , densidade, Raios-X, écran, luz, filme, chassi, corrente elétrica, voltagem, absorção, fóton, contraste, cátodo, anodo, velocidade, elétron.	17
		25.	Jaqueline	Raios-X, écran, fóton, luz, filme, chassi, radiação.	7	Raios-X, écran, fóton, absorção, elétron, luz, energia, filme, chassi, radiação.	10
Fluoroscopia	Corrente elétrica, resistência elétrica, carga, voltagem, potência, gerador, retificador, meios de contraste, sinal analógico, sinal digital, densidade, número atômico, absorção, emissão, nêutrons, Raios-X, camada eletrônica, onda eletromagnética, decaimento radioativo, campo magnético, chumbo, filtro, colimador, fóton, contraste, elétron, efeito fotoelétrico, radiação. Conceitos relevantes: 29.	26.	Marta	Densidade, radiação, tempo , Raios-X, ultrassom , número atômico, voltagem, fóton, luz .	6		
		27.	Morgana	Sinal analógico, sinal digital, tempo , movimento , contraste, vasos .	3		
		28.	Marcelo	Fóton, fósforo , Raios-X, luz , digital, analógico, ordenador , tempo , movimento , cátodo , elétrons , tubo intensificador , central de operações , vídeo , monitor .	4		
		29.	Janaina	Contraste, Raios-X, fóton, luz , cátodo , elétron , voltagem, anodo , aceleração , elétrons, lente , radiação, radiação de freamento , radiação característica , imagem , espelho .	6	Contraste, absorção, Raios-X, densidade, luz , radiação característica , elétrons , efeito fotoelétrico, voltagem, anodo , fotocatodo , número atômico, interação , radiação, elétron, núcleo , direção, energia cinética,	12

						fóton.	
		30.	Jaqueline	Tempo.	0		
Radioterapia	Corrente elétrica, resistência elétrica, voltagem, absorção, emissão, elétron, pósitron, nêutron, Raios-X, Raios gama, alfa, beta, onda eletromagnética, decaimento radioativo, chumbo, colimador, atividade radioativa, meia vida, emissão nuclear, tempo, dose, isótopo, radiação, próton. Conceitos relevantes: 24.	31.	Marta	Membrana celular, radiação, energia, alfa, beta, Raios-X, raios gama, penetração, alcance, freamento, braquiterapia, teleterapia, célula.	5	Célula, Raios-X, radiação, energia, alfa, beta, massa, carga, interação, radiação gama, penetração, efeito fotoelétrico, braquiterapia, teleterapia, célula.	5
		32.	Jaqueline	Radioterapia, célula, radiação alfa, beta e gama, Raios-X, teleterapia, braquiterapia, penetração, aceleração, partícula, elétrons, nêutrons, radiação de freamento, radiação característica, área.	6	Célula, Raios-X, raios gama, radiação alfa e beta, moléculas, radicais livres, teleterapia, braquiterapia, câncer, penetração, aceleração, partícula, radiação, elétron, nêutron, radiação característica, radiação de freamento, átomo.	7
		33.	Marcelo	Braquiterapia, teleterapia, radioterapia, meia-vida, tempo, aceleração, elétron, nêutron, raios gama, ionização, Raios-X, radioisótopo.	5		
		34.	Morgana	Radioterapia, célula, teleterapia, braquiterapia, órgãos, radiação alfa, beta, gama, Raios-X, alcance.	4	Célula, teleterapia, braquiterapia, Raios-X, raios gama, radiação alfa, beta, alcance, radioterapia.	4
		35.	Marta	Chassi, detector, emissor.	3	chassi, emissor, detector, tomografia, tomografia linear, tomografia computadorizada helicoidal, tomografia computadorizada, anéis deslizantes, Raios-X, filme.	10
Tomografia	Efeito fotoelétrico, ondas eletromagnéticas, frequência, energia, comprimento de onda, fótons, absorção, corrente elétrica, ionização, elétrons, níveis energéticos, luz, TC, TC Helicoidal, Tomografia Linear, anel liso, anel deslizante, voltagem, corrente, tempo, dose, transformador, potência, gerador, retificador, ânodo, cátodo, filtro, blindagem,	36.	Janaina	Radiação, filme, ampola, Raios-X, sensores, computador, mesa de trabalho, Gantry, tubo de Raios-X, detectores, gerador, voltagem, ordenador, anéis deslizantes, potência, digital, analógico.	8	Radiação, filme, ampola, Raios-X, sensores, computador, mesa de trabalho, ordenador, Gantry, tubo de Raios-X, detectores, gerador, voltagem, ordenador, anéis deslizantes, potência, digital,	8

	absorção e dispersão da radiação, número atômico, excitação elétrica, Raios-X, colimador, radiação, chassi, detector, emissor, filme. Conceitos relevantes: 40					analógico.	
		37.	Marcelo	Raios-X, raios-gama , tecidos, radiação ionizante, tomografia, campo magnético , contraste.	5		
		38.	Morgana	Tomografia, Raios-X, tomografia linear, computadorizada, receptor , ordenador , monitor .	4		
Detectores de Radiação	Ionização, elétron, corrente elétrica, voltagem, ondas eletromagnéticas, Raios-X, raios gama, radioatividade, efeito fotoelétrico, fotodiodo, camada eletrônica, laser, calor, luz, cintilação, estado sólido, térmicos, óptico, gás, absorção e excitação elétrica, radiação, ionização, fóton, termoluminescência, luminescência, filme. Conceitos relevantes: 27.	39.	Marta	Luz, fotodiodo, Raios-X, elétron, próton , detector , calor, radiação, interação , efeito Compton , cátodo , dinodo , efeito fotoelétrico, amplificador , voltagem, eletrodo , coletor .	8	Detector , radiação, gás, elétron, efeito fotoelétrico, voltagem, amplificador , estado sólido, luz, efeito Compton , interação , cátodo , número atômico , dinodo , cintilação, termoluminescência, luminescência, óptico, Raios-X, camada eletrônica, fotodiodo, laser, calor, ionização, eletrodo , coletor .	17
		40.	Morgana	Detector a gás, eletrodo , elétron, corrente elétrica, radiação, intensidade .	4		
		41.	Janaína	Intensidade , pressão , moléculas , ionização, radiação, gás, átomos , corrente elétrica, amplificação , elétron.	5	Voltagem, intensidade , ionização, elétron, molécula , pressão , óptico, gás, radiação, átomo , corrente elétrica.	7
		42.	Marcelo	Ionização, corrente elétrica, fóton, interação , elétron, aceleração , anodo , energia , detector a gás, dosimetria de termoluminescência, detectores de cintilação, luz, radiação ionizante, filme, dosímetro termoluminescente.	11		
Ressonância Magnética Nuclear	Radiofrequência, campo magnético, ressonância, spin, momentum, hidrogênio, nêutron, próton, elétron, frequência, comprimento,	43.	Marta	Átomo, contraste , hidrogênio, onda, radiofrequência, luz, energia, ímã , campo magnético, spin, sentido , momentum.	9	Ímã , magneto , campo magnético, átomo, hidrogênio, momentum angular (spin), sentido , resistência , temperatura , onda, radiofrequência, luz, energia,	11

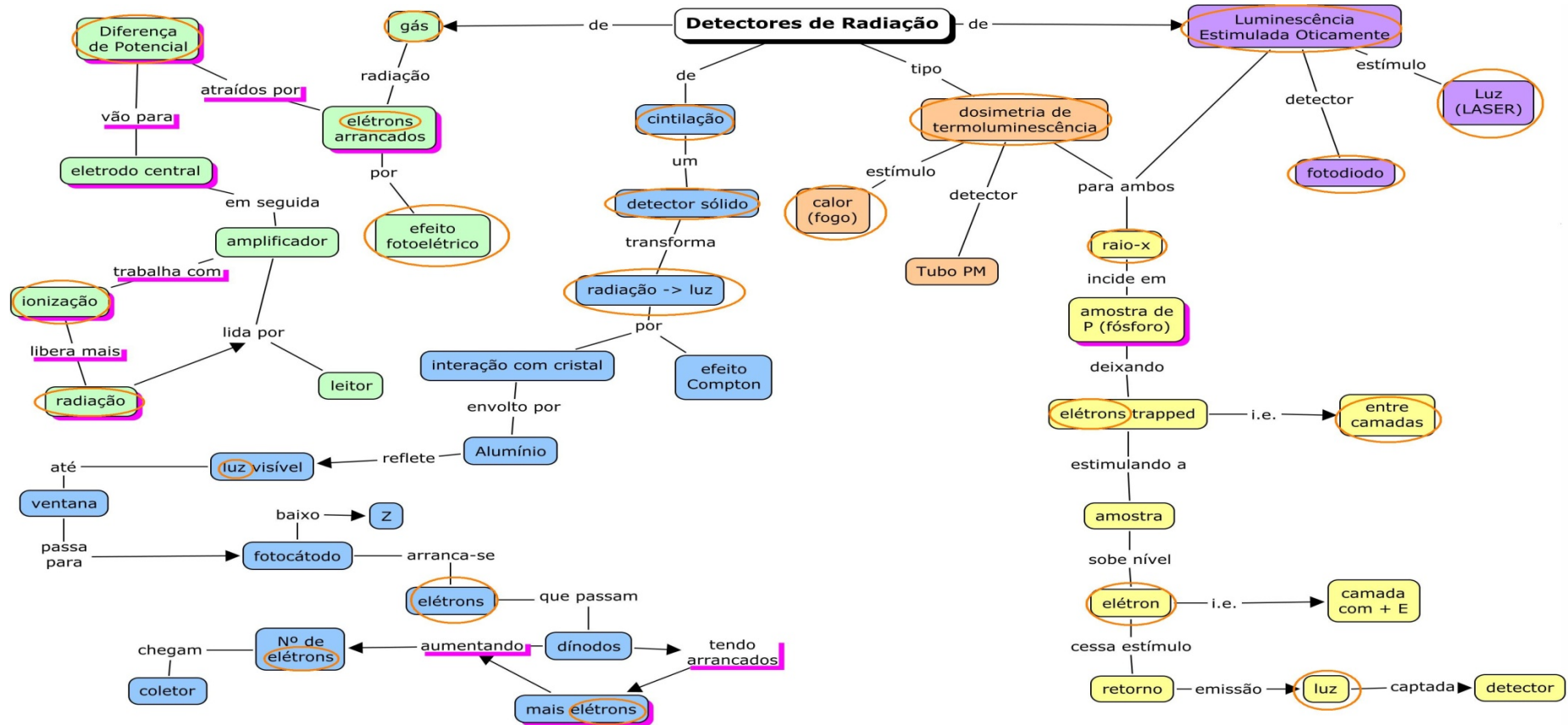
	energia, onda, antena, corrente elétrica, excitação eletrônica, fóton, nível energético de equilíbrio, densidade, luz. Conceitos relevantes: 20.					contraste, densidade, corrente elétrica.	
		44.	Morgana	Bobinas, computadores, magnetos , próton, hidrogênio, ondas eletromagnéticas , frequência, campo magnético, spin, onda, energia, radiofrequência.	8		
		45.	Janaina	Campo magnético, ondas eletromagnéticas , frequência, spin, energia, hidrogênio, radiofrequência, bobina, computador, magneto, intensidade, resistência , corrente elétrica.	7	Campo magnético, ondas eletromagnéticas , frequência, spin, próton, hidrogênio, energia, ondas de radiofrequência, ressonância, intensidade, temperatura, resistência , corrente elétrica.	9
		46.	Jaqueline	Contraste , campo magnético, magneto, bobina, computador, ondas eletromagnéticas , frequência, hidrogênio, próton, direção .	4		
		47.	Marcelo	Raios-X, contraste , campo magnético, radiação ionizante, intensidade .	1		
Medicina Nuclear: PET e SPECT	Energia, massa, velocidade, conservação de energia e do momentum, raios gama, radiação beta, pósitron, nêutron, próton, elétron, neutrino, antineutrino, força nuclear forte, fóton, força nuclear fraca, força elétrica, meia vida, radiofármacos, radioisótopos, molécula orgânica, aniquilação de pares, atividade radioativa. Conceitos relevantes: 22.	48.	Marta	Isótopo , radiofármaco, molécula orgânica, tecido, órgão , energia, aniquilamento de pares, radioisótopo, radiação beta, gama, alfa , pósitron, elétron, fóton, radiação, número atômico, efeito fotoelétrico, interação, matéria .	13		
		49.	Marcelo e Jaqueline	Radioisótopo, molécula orgânica, radiofármaco, meia vida, elétron, pósitron, radiação gama, detector, processador, computador .	7	Radionuclideo, radioisótopo, molécula orgânica, meia vida, elétron, pósitron, radiação gama, fóton, material radioativo , radiação.	9
		50.	Morgana	Radioisótopos, molécula orgânica, radiofármacos, pósitron, aniquilação de pares, massa, energia, radiação gama, fóton, luz, fotomultiplicadores, corrente elétrica, computador, amplificação, direção .	9		



Colocar sobre os outros dosímetros usados no curso.
 Por que os elétrons vão para o eletrodo central?
 Como os elétrons são amplificados e lidos no leitor?
 Como nos dínodos há um aumento no número de elétrons?
 O que é amostra de P?

Pode-se fazer a diferenciação dos tipos de detectores de radiação, não precisa ser no próprio mapa pode ser em uma caixa de texto sob o mapa.
 Sugestão conceitos: ionização, elétrons, corrente elétrica, voltagem, ondas eletromagnéticas, Raios-X, raios gama, radioatividade, efeito fotoelétrico, fotodiodo, camada eletrônica, laser, calor, luz visível, cintilação, estado sólido, térmicos, óptico, gás, absorção e excitação elétrica, radioatividade.

Figura 37: mapa conceitual número 39 feito pela aluna Marta- antes da correção.



Colocar sobre os outros dosímetros usados no curso.
 Por que os elétrons vão para o eletrodo central?
 Como os elétrons são amplificados e lidos no leitor?
 Como nos dínodos há um aumento no número de elétrons?
 O que é amostra de P?

Pode-se fazer a diferenciação dos tipos de detectores de radiação, não precisa ser no próprio mapa pode ser em uma caixa de texto sob o mapa.
 Sugestão conceitos: ionização, elétrons, corrente elétrica, voltagem, ondas eletromagnéticas, Raios-X, raios gama, radioatividade, efeito fotoelétrico, fotodiodo, camada eletrônica, laser, calor, luz visível, cintilação, estado sólido, térmicos, óptico, gás, absorção e excitação elétrica, radioatividade.

AS CORREÇÕES ESTÃO DESTACADAS COM SOMBRA ROSA

Figura 38: mapa conceitual número 39 feito pela aluna Marta- depois da correção.

Na Tabela 31 há a divisão dos mapas conceituais segundo as categorias de análise propostas por Dutra (2004, p.5). Como vistas na seção 5.1.3.2. Formas de analisar os mapas conceituais.

Tabela 31: divisão dos mapas conceituais segundo as palavras de ligação- grupo 4.

Assunto do mapa	Grupo	Alunos (nomes fictícios)	Se encaixa em qual categoria de análise- (antes correção)	Se encaixa em qual categoria de análise- (depois correção)
Ultrassonografia	1.	Marta	0 implicação local 5 implicação sistêmica 11 implicação estrutural	0 implicação local 3 implicação sistêmica 15 implicação estrutural
	2.	Jaqueline e Marcelo	1 implicação local 16 implicação sistêmica 0 implicação estrutural	
	3.	Janaína e Morgana	2 implicação local 8 implicação sistêmica 0 implicação estrutural	
	4.	Janaína		1 implicação local 13 implicação sistêmica 11 implicação estrutural
	5.	Morgana		1 implicação local 19 implicação sistêmica 0 implicação estrutural
Interação da radiação com a matéria	6.	Marta	3 implicação local 8 implicação sistêmica 13 implicação estrutural	
	7.	Morgana	0 implicação local 0 implicação sistêmica 19 implicação estrutural	0 implicação local 2 implicação sistêmica 29 implicação estrutural
	8.	Janaína	0 implicação local 1 implicação sistêmica 23 implicação estrutural	0 implicação local 2 implicação sistêmica 38 implicação estrutural
	9.	Marcelo	6 implicação local 17 implicação sistêmica 0 implicação estrutural	
Produção de radiação	10.	Marta	6 implicação local 22 implicação sistêmica 16 implicação estrutural	6 implicação local 13 implicação sistêmica 27 implicação estrutural
	11.	Morgana	3 implicação local 17 implicação sistêmica 4 implicação estrutural	
	12.	Janaína	3 implicação local 9 implicação sistêmica 0 implicação estrutural	2 implicação local 17 implicação sistêmica 20 implicação estrutural
	13.	Jaqueline	1 implicação local 2 implicação sistêmica 5 implicação estrutural	3 implicação local 4 implicação sistêmica 15 implicação estrutural
	14.	Marcelo	7 implicação local 12 implicação sistêmica 0 implicação estrutural	7 implicação local 13 implicação sistêmica 0 implicação estrutural
O Equipamento de Raios-X Convencional e da Mamografia	15.	Marta	3 implicação local 31 implicação sistêmica 10 implicação estrutural	6 implicação local 25 implicação sistêmica 12 implicação estrutural
	16.	Janaína	0 implicação local 8 implicação sistêmica 29 implicação estrutural	
	17.	Marcelo	5 implicação local 33 implicação sistêmica 0 implicação estrutural	
	18.	Morgana	4 implicação local 15 implicação sistêmica 3 implicação estrutural	

Mamógrafo (dois alunos preferiram fazer separado o mamógrafo do equipamento de Raios-X convencional)	19.	Janaína	0 implicação local 26 implicação sistêmica 5 implicação estrutural	0 implicação local 25 implicação sistêmica 7 implicação estrutural
	20.	Morgana	1 implicação local 11 implicação sistêmica 0 implicação estrutural	
Imagem radiológica	21.	Marta	0 implicação local 16 implicação sistêmica 21 implicação estrutural	0 implicação local 15 implicação sistêmica 22 implicação estrutural
	22.	Morgana	0 implicação local 8 implicação sistêmica 0 implicação estrutural	
	23.	Marcelo	1 implicação local 15 implicação sistêmica 0 implicação estrutural	
	24.	Janaína	1 implicação local 30 implicação sistêmica 9 implicação estrutural	1 implicação local 39 implicação sistêmica 9 implicação estrutural
	25.	Jaqueline	0 implicação local 8 implicação sistêmica 0 implicação estrutural	0 implicação local 15 implicação sistêmica 0 implicação estrutural
Fluoroscopia	26.	Marta	0 implicação local 22 implicação sistêmica 0 implicação estrutural	
	27.	Morgana	1 implicação local 11 implicação sistêmica 0 implicação estrutural	
	28.	Marcelo	4 implicação local 24 implicação sistêmica 0 implicação estrutural	
	29.	Janaína	0 implicação local 18 implicação sistêmica 9 implicação estrutural	2 implicação local 28 implicação sistêmica 20 implicação estrutural
	30.	Jaqueline	2 implicação local 15 implicação sistêmica 0 implicação estrutural	
Radioterapia	31.	Marta	1 implicação local 8 implicação sistêmica 15 implicação estrutural	2 implicação local 2 implicação sistêmica 25 implicação estrutural
	32.	Janaina	0 implicação local 36 implicação sistêmica 0 implicação estrutural	1 implicação local 32 implicação sistêmica 0 implicação estrutural
	33.	Marcelo	2 implicação local 9 implicação sistêmica 0 implicação estrutural	
	34.	Morgana	1 implicação local 10 implicação sistêmica 0 implicação estrutural	1 implicação local 9 implicação sistêmica 0 implicação estrutural
Tomografia	35.	Marta	2 implicação local 23 implicação sistêmica 0 implicação estrutural	3 implicação local 30 implicação sistêmica 0 implicação estrutural
	36.	Janaína	1 implicação local 32 implicação sistêmica 0 implicação estrutural	1 implicação local 34 implicação sistêmica 0 implicação estrutural
	37.	Marcelo	6 implicação local 14 implicação sistêmica 0 implicação estrutural	
	38.	Morgana	0 implicação local 10 implicação sistêmica 0 implicação estrutural	
Detectores de Radiação	39.	Marta	0 implicação local 13 implicação sistêmica 22 implicação estrutural	0 implicação local 10 implicação sistêmica 29 implicação estrutural
	40.	Morgana	0 implicação local	

			11 implicação sistêmica 0 implicação estrutural	
	41.	Janaína	1 implicação local 9 implicação sistêmica 13 implicação estrutural	1 implicação local 14 implicação sistêmica 13 implicação estrutural
	42.	Marcelo	6 implicação local 11 implicação sistêmica 0 implicação estrutural	
Ressonância Magnética Nuclear	43.	Marta	1 implicação local 13 implicação sistêmica 7 implicação estrutural	5 implicação local 8 implicação sistêmica 14 implicação estrutural
	44.	Morgana	1 implicação local 6 implicação sistêmica 7 implicação estrutural	
	45.	Janaina	1 implicação local 21 implicação sistêmica 5 implicação estrutural	0 implicação local 31 implicação sistêmica 10 implicação estrutural
	46.	Jaqueline	1 implicação local 16 implicação sistêmica 0 implicação estrutural	
	47.	Marcelo	6 implicação local 12 implicação sistêmica 0 implicação estrutural	
Medicina Nuclear: PET e SPECT	48.	Marta	8 implicação local 21 implicação sistêmica 0 implicação estrutural	8 implicação local 22 implicação sistêmica 0 implicação estrutural
	49.	Marcelo e Jaqueline	11 implicação local 6 implicação sistêmica 2 implicação estrutural	11 implicação local 12 implicação sistêmica 2 implicação estrutural
	50.	Morgana e Janaína	0 implicação local 25 implicação sistêmica 0 implicação estrutural	

Através da Tabela 31, observa-se que dos mapas confeccionados apenas um (antes da correção) apresenta como característica principal a implicação local, ou seja, palavras de ligação que surgem de observações diretas. Cinquenta e dois mapas conceituais (sendo destes 16 depois das correções) expressam relação de causa e efeito, mas não explicam o porquê de tais consequências surgirem devido a uma causa, ou seja, apresentam como característica principal a implicação local. Vinte e um mapas (sendo dez depois da correção) têm como característica principal a implicação estrutural, ou seja, possuem explicações e não mais descrições, além de justificar as relações.

Estes dados indicam que dos 74 mapas conceituais feitos, 53 apresentam mais descrições do que explicações e 21 mapas apresentam mais explicações do que descrições o que não fornece indícios de aprendizagem significativa na maioria dos mapas conceituais entregues.

Entretanto, ao serem observados os mapas feitos antes e depois das correções, percebe-se que apenas um diminuiu o número de ligações, dez permaneceram com o mesmo número de ligações do tipo estrutural e que 15 mapas apresentaram mais ligações do tipo estrutural depois da correção do mapa conceitual. Estes fatos fornecem indícios de aumento de aprendizagem significativa em 15 dos 26 mapas que foram reentregues.

Coloca-se na Figura 39 e na Figura 40, respectivamente, o mapa conceitual 12 antes e depois da correção.

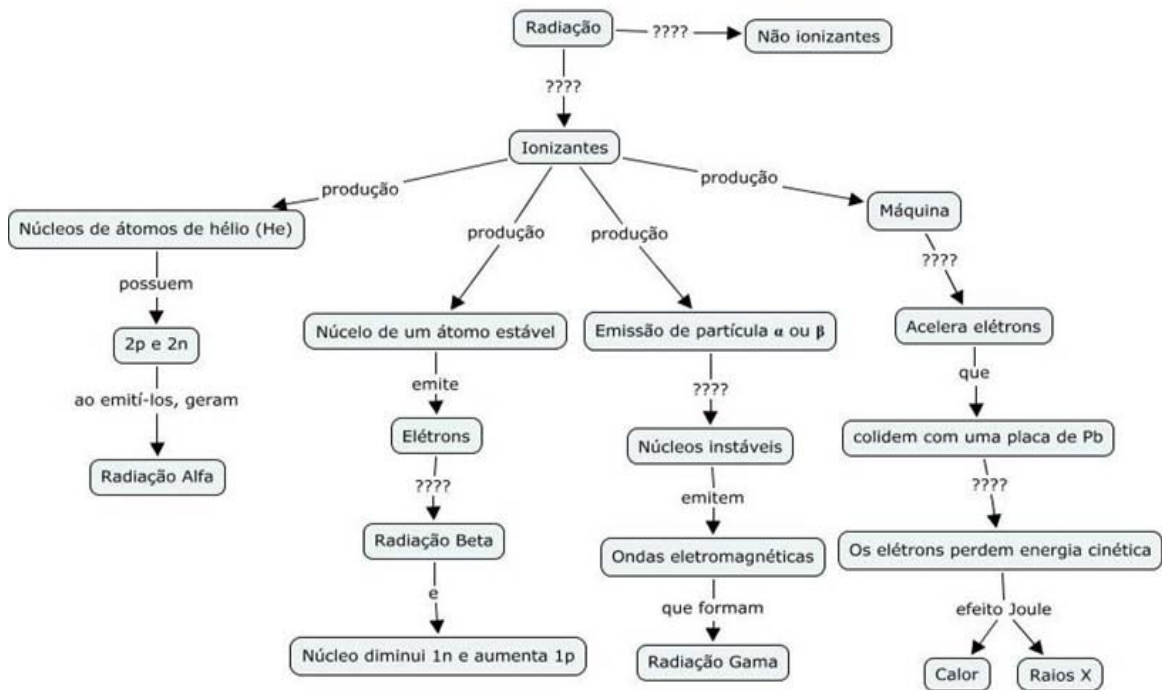


Figura 39: mapa conceitual da aluna Janáina antes das correções.

Através da comparação da Figura 39 e da Figura 40, pode-se observar que os dois mapas são bem diferentes e que houve uma evolução, pois todos os conceitos passaram a ser ligados por palavras de ligação, continuou apresentando hierarquia, triplicou o número de implicações do tipo estrutural e aumentou o número de conceitos considerados relevantes.

Como exemplo de proposição, na Figura 40, coloca-se: “o elétron do cátodo **incide no** ânodo **arrancando** elétron que é **substituído por** um elétron mais externo **que libera** energia **através** de fótons”. Esta proposição possui caráter explicativo. As palavras em negrito são exemplos de implicações estruturais. O segundo mapa apresenta essencialmente implicações estruturais, prevalecendo explicações em detrimento de descrições, fornecendo indícios de aprendizagem significativa.

Nas Figura 41 e Figura 42, há um contra-exemplo. Os mapas antes e depois da correção, respectivamente, apresentam apenas implicações sistêmicas, caracterizando o mapa como descritivo e, portanto, fornecendo indícios de aprendizagem mecânica e não significativa.

Na Figura 41, há apenas três proposições: 1) “os Raios-X **vão até** o écran que **converte** poucos fótons de Raios-X **em** muitos fótons de luz”; 2) “o écran **produz** luz que **impressiona** o filme, que **produz** uma imagem radiográfica”; 3) “o filme é **protegido pelo** chassi radiográfico que **impede** o contato com outras radiações”.

As palavras em negrito são todas implicações sistêmicas, formando ligações entre os conceitos das proposições de forma descritiva. Por exemplo, na proposição 1 não é explicado como poucos fótons de Raios-X são convertido em vários fótons de luz, o mesmo ocorre nas outras duas proposições.

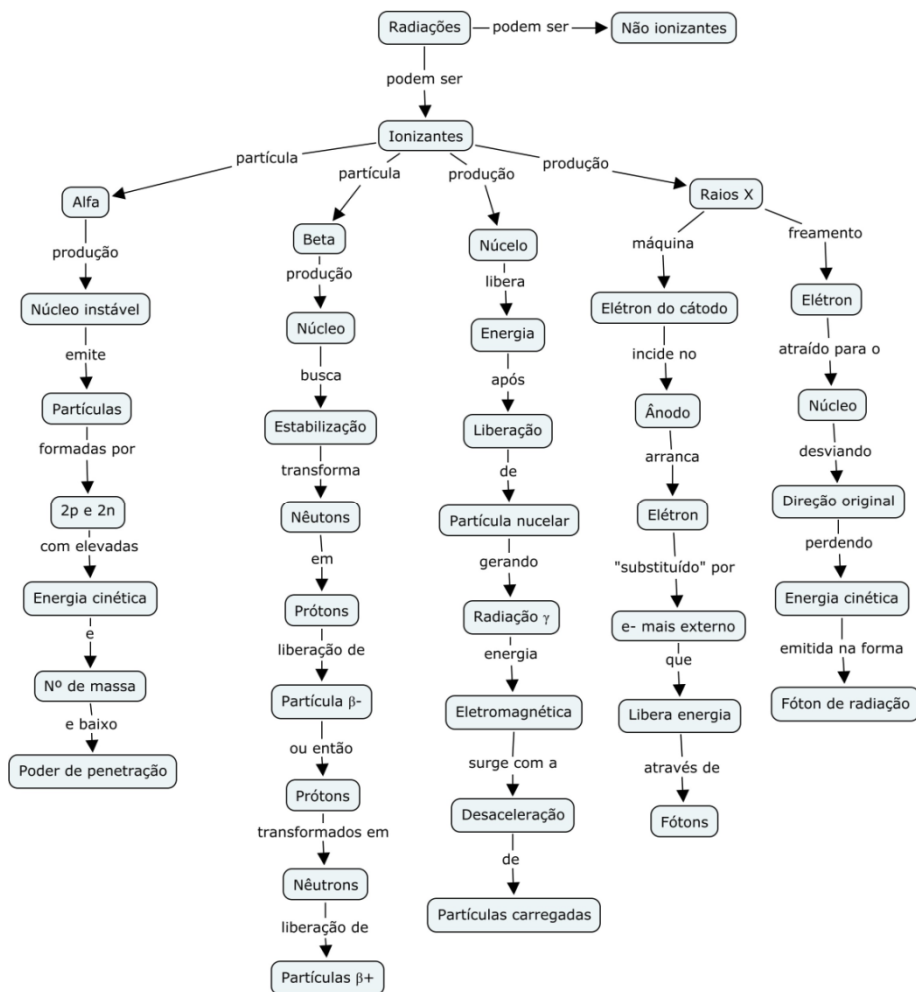


Figura 40: mapa conceitual da aluna Janáina depois das correções.

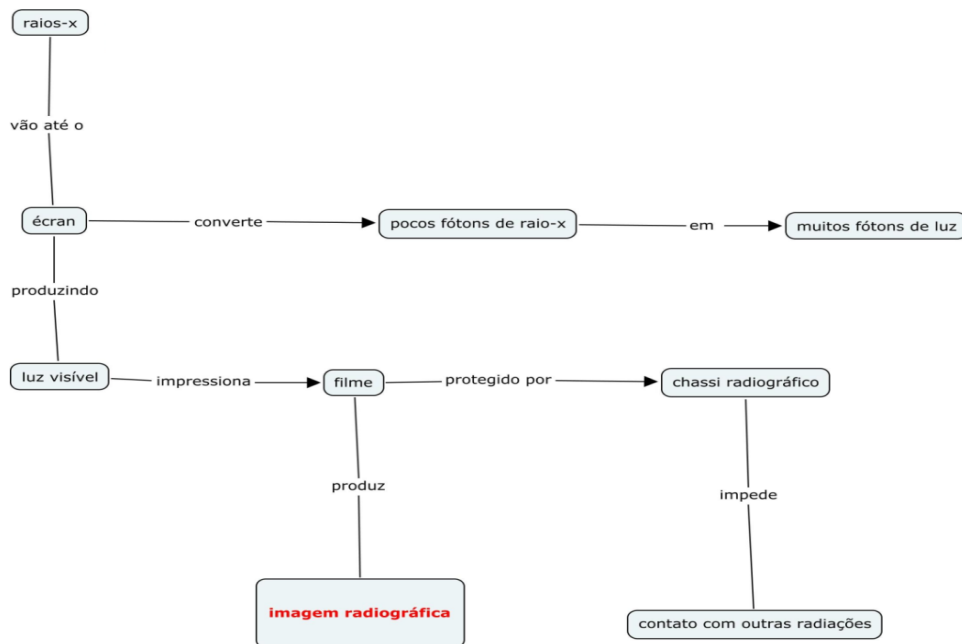


Figura 41: mapa conceitual da aluna Jaqueline antes das correções.

Na Figura 42, apesar de haver mais ligações, apenas há a presença de implicações sistêmicas e, conseqüentemente, de proposições descritivas e não explicativas, não fornecendo, dessa forma, indícios de aprendizagem significativa.

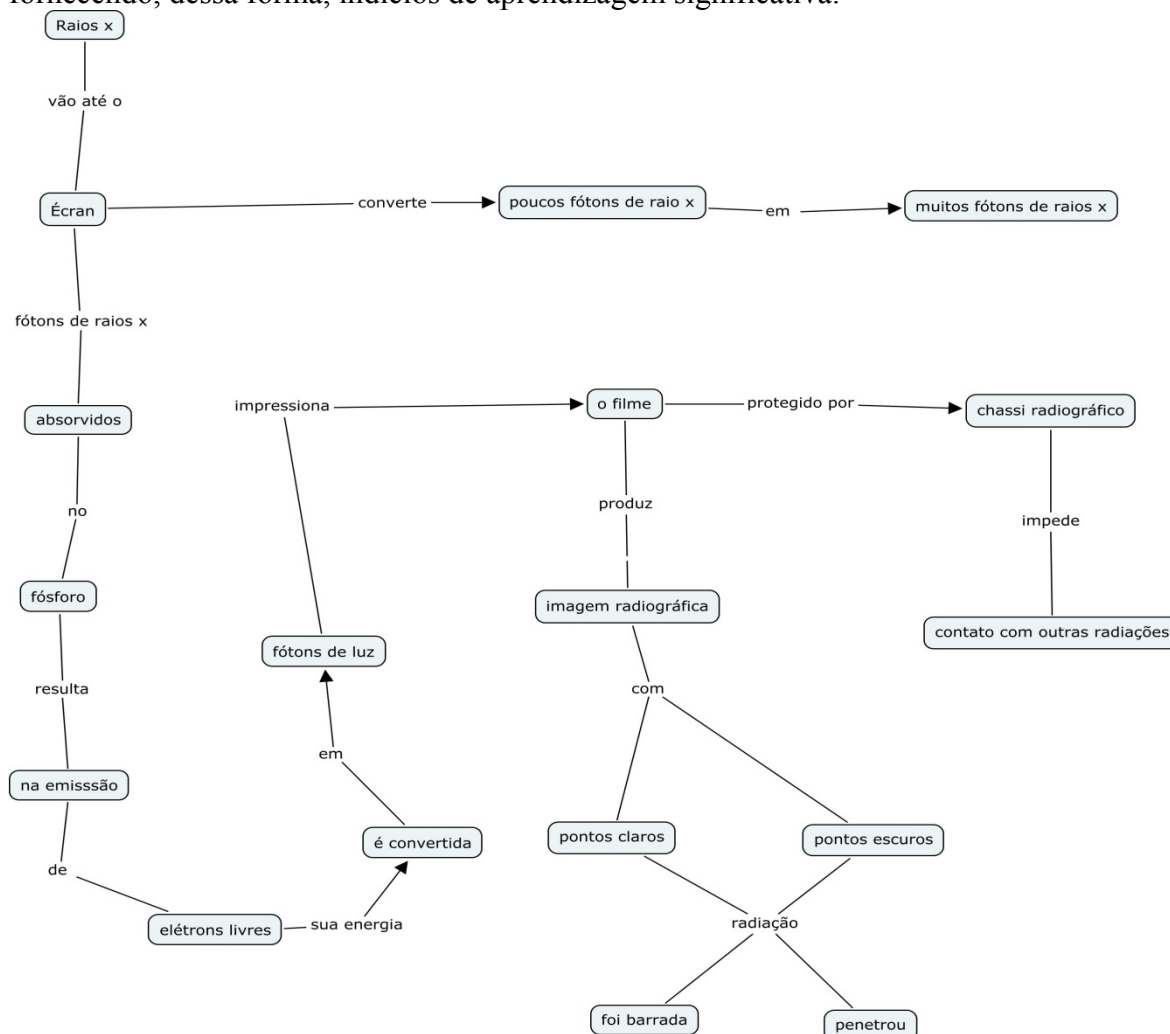


Figura 42: mapa conceitual da aluna Jaqueline depois das correções.

Foram extraídas, dessa análise, as seguintes conclusões para melhoria do material potencialmente significativo:

- aumentar o tempo de curso ou reduzir os conteúdos;
- solicitar aos alunos que confeccionem menos de mapas conceituais;
- aplicar o material, potencialmente significativo, em uma disciplina do curso de Licenciatura em Física, pois desta forma há como cobrar melhor que os alunos entreguem as atividades e cumpram os prazos estipulados;
- explicar mais detalhadamente o que são mapas conceituais, quais são as suas partes formadoras, como deve-se montá-los e como eles são avaliados;
- utilizar um tempo maior para explicar o que são conceitos;
- solicitar aos alunos que refaçam mais vezes os mapas conceituais;
- pedir que os alunos apresentem todos os mapas conceituais;

- solicitar que os próprios alunos corrijam os trabalhos dos colegas favorecendo a criticidade, como proposto por Moreira (2005, p. 13);
- fornecer conceitos pré-definidos para que os alunos, a partir deles, construam seus mapas conceituais;
- auxiliar na análise dos mapas conceituais, usar softwares;
- pedir que os alunos entreguem a explicação dos mapas conceituais.

Algumas dessas conclusões foram encontradas nas outras implementações do curso e não foram utilizadas nessa última implementação devido ao tempo de aplicação do curso, o qual precisaria ser maior devido à demanda de conteúdos e metodologias variadas.

5.4.6 Análise situações-problema

Na sequência são analisadas, agora, as respostas dos alunos dadas às cinco situações-problema com três objetivos: 1) encontrar teoremas-em-ação e conceitos-em-ação; 2) buscar indícios de aprendizagem significativa; 3) fazer uma ficha para cada aluno colocando os pontos que eles apresentam erros ou falta de conhecimento. Foram utilizadas tais fichas em entrevistas semiestruturadas que foram aplicadas ao final do curso para elucidar os tópicos nos quais eles ainda apresentam dúvidas, ou que não haviam deixado claro em suas respostas dando-lhes, a partir disso, um *feedback*, valorizando, dessa forma, o erro como oportunidade para aprender.

Para cumprir os três objetivos foram construídas as tabelas 32 à 36. Na primeira coluna há o nome fictício dos alunos, na segunda a transcrição de suas respostas, na terceira os equívocos apresentados nas respostas dadas pelos alunos, na quarta e quinta coluna, respectivamente os conceitos-em-ação e teoremas-em-ação. Alcançando o primeiro objetivo.

Os equívocos apresentados da Tabela 32 à Tabela 36 formaram uma parte da ficha dos alunos (esta ficha também continha equívocos e falta de conhecimentos apresentados pelos alunos da análise que foram feitas dos outros materiais, por exemplo, dos mapas conceituais) que era o terceiro objetivo. As fichas encontram-se nos apêndices I, J, K e L.

Para buscar indícios de aprendizagem significativa, segundo objetivo, foram analisadas as respostas dadas pelos alunos.

Na Tabela 32 tem-se a análise da primeira situação-problema que foi explicitada na seção 5.2.5 Análises das situações-problema.

Os alunos não conseguiram responder esta situação-problema antes da aula, pois não souberam relacionar o número atômico, o efeito fotoelétrico, a por que é utilizado chumbo para se proteger dos Raios-X. A maioria dos alunos mostrou desconhecer o que significam os conceitos envolvidos. O único aluno que arriscou um palpite foi Marcelo, relacionando, corretamente, o bloqueio dos Raios-X pelo chumbo, a sua densidade. Embora a resposta tenha um argumento correto é bastante superficial, no sentido que não relaciona a densidade, o número atômico, o efeito fotoelétrico e a absorção de Raios-X pelo chumbo.

Posteriormente a aula o **grupo 1** foi o que mostrou mais equívocos. Entretanto, conseguiu relacionar corretamente o número atômico, o número de elétrons, o efeito fotoelétrico e a porque da utilização do chumbo e não de outro material com menor número atômico para se proteger dos Raios-X. A resposta deste grupo possuiu muitos equívocos e,

portanto, não pode-se afirmar que os alunos forneceram indícios de aprendizagem significativa.

O **grupo 2** não apresentou equívocos. A resposta de tal grupo é clara e correta, o que forneceu indícios de aprendizagem significativa.

O **grupo 3** não relacionou a quantidade de elétrons ao número atômico, mas relacionou corretamente a necessidade de haver mais elétrons com o efeito fotoelétrico, o que apresentou indícios de aprendizagem significativa neste ponto. Não explicaram por que utiliza-se chumbo e não outros tipos de materiais, não fornecendo indícios de aprendizagem nem mecânica nem significativa.

Tabela 32: análise das respostas à primeira situação-problema.

Nomes (fictícios)	Transcrição das respostas dadas pelos alunos: primeira situação-problema.	Equívocos apresentados	Possíveis conceitos-em-ação	Possíveis teoremas-em-ação
Grupo 1: Daiana e Marcelo	<p>Marcelo: “os Raios-X emitem luz que não enxergamos é esta luz que “mancha” o filme fotográfico, formando a imagem do osso nos “Raios-X” e esses Raios-X podem ser prejudiciais à saúde do corpo humano”.</p> <p>Daiana: “tá”.</p> <p>Marcelo: “então estes Raios-X precisam ser absorvidos de alguma forma”.</p> <p>Daiana: “então o chumbo é utilizado para absorver a radiação, pois ele possui uma grande quantidade de elétrons, tendo mais quantidade de elétrons é maior a probabilidade de a radiação colidir com eles sendo absorvidas devido ao efeito fotoelétrico”.</p> <p>Marcelo: “então os Raios-X que emitem fótons terão uma probabilidade maior de serem absorvidos devido a que havendo mais elétrons há maior probabilidade da radiação encontrar estes fótons sendo absorvida por eles”.</p> <p>Daiane: “elétrons em grande quantidade”.</p> <p>Marcelo: “Sim, pois o número de elétrons é proporcional ao número de prótons”.</p> <p>O elétron absorvendo os fótons emitidos pelos Raios-X são acelerados indo para uma camada mais externa do átomo, absorvendo os fótons, encerrando o problema, né?</p> <p>Daiana: “sim”.</p>	<p>1) onde se forma a imagem no osso se chama filme e não Raios-X;</p> <p>2) os Raios-X emitem fótons (na realidade são formados por fótons);</p> <p>3) a radiação encontra fótons (o que ela encontra são elétrons);</p> <p>4) o fóton dos Raios-X são absorvidos quando os fótons de Raios-X encontram o elétron do átomo do chumbo, pois muda-o de camada (ele não apenas o muda de camada, mas ejeta-o).</p>	<p>Raios-X, absorção, elétrons, prótons e fótons.</p>	<p>1) os Raios-X podem ser prejudiciais aos seres humanos;</p> <p>2) se há mais elétrons é maior a probabilidade da radiação colidir com eles;</p> <p>3) o número de elétrons é proporcional ao número de prótons;</p> <p>4) os elétrons ao absorverem os fótons emitidos pelos Raios-X são acelerados indo para uma camada mais externa do átomo.</p>
Grupo 2: Edinan, Morgana e Janaina	<p>Edinan: “O efeito fotoelétrico é proporcional ao cubo do número atômico, por isso usa-se o chumbo que possui número atômico alto e é estável. Possuindo um número atômico alto absorve a radiação sem refletir. Se tivesse número atômico maior, teria mais prótons e mais elétrons, daí seria maior a densidade”.</p> <p>Morgana: “A probabilidade dos Raios-X encontrarem os elétrons seria maior, mas quando há mais de 82 prótons o átomo, geralmente, não apenas absorve a radiação, mas também a produz”</p> <p>Edinan: “Então o chumbo é usado, pois possui a capacidade necessária para bloquear os Raios-X sem emitir radiação, além de não possuir um custo elevado”.</p>	<p>Não há equívocos.</p>	<p>Efeito fotoelétrico, número atômico, chumbo, prótons, elétrons, densidade, Raios-X, radiação, átomo, absorção e reflexão.</p>	<p>1) o efeito fotoelétrico é proporcional ao cubo do número atômico;</p> <p>2) usa-se chumbo para bloquear a radiação, pois ele possui um número atômico alto e é estável;</p> <p>3) quanto maior o número de prótons, maior será o número de elétrons e maior</p>

				será a densidade.
Grupo 3: Marta e Maria	<p>Maria: “O chumbo tem muita densidade e possui vários elétrons, daí os Raios-X vão penetrar e vão ser absorvidos por estes elétrons e daí vai transformar em energia cinética do elétron e não num comprimento de onda”.</p> <p>Marta: “ou seja, vai ser completamente absorvido não deixando passar a radiação para a pessoa. Mais alguma coisa?”.</p> <p>Maria: “não, é isto mesmo, pois é a relação de não deixar passar a radiação para a pessoa em função dela ser massiva”.</p>	Não há equivocos.	Elétrons, chumbo, Raios-X, onda, energia cinética, absorção e radiação.	<p>1) devido à densidade e a quantidade de elétrons do chumbo os Raios-X são bloqueados;</p> <p>2) os fótons dos Raios-X são transformados em energia cinética do elétron.</p>

Na Tabela 33 há a análise da segunda situação-problema que foi explicitada na seção 5.2.5 Análises das situações-problema.

Na segunda situação-problema os alunos tiveram argumentos para responder antes e depois do teste. Buscou-se indícios de aprendizagem significativa nas respostas apresentadas pelos alunos.

O **grupo 1** não apresentou nenhum equivoco depois da aula, ao contrário de antes da aula, quando apresentou dois. Entretanto, eles não explicaram, posteriormente à aula, porque a radiação alfa e beta possuem pouca capacidade de penetração ao contrário da radiação gama e dos Raios-X. Esta resposta enfatiza a descrição em detrimento da explicação. Não há evidências de se eles sabem explicar (buscou-se estas evidências na entrevista semiestruturada) e a descrição não é uma característica de aprendizagem significativa.

O **grupo 2** apresentou dois equivocos diferentes antes e depois da aplicação da aula. Explicaram, depois da aula, como ocorre a radioterapia, apontando as semelhanças e diferenças dos dois tipos, explicando quando e porque utiliza-se determinada radiação em detrimento de outras e as características de tais radiações. Justificaram por que, em alguns casos, usariam uma radiação, e não outra, e como são empregadas tais radiações. A resposta deste grupo foi bastante explicativa, com exemplos relacionados com seu dia-a-dia. Exceto nos equivocos, a resposta dos alunos forneceu indícios de aprendizagem significativa.

Na Tabela 34 há a análise da terceira situação-problema explicita na seção 5.3.5 Análise das situações-problema.

Na terceira situação-problema os alunos tiveram argumentos para responder antes e depois do teste. Buscaram-se indícios de aprendizagem significativa nas respostas apresentadas pelos alunos.

Tanto o grupo 1 quanto o grupo 2 não apresentaram, em suas respostas posteriores à aula, nenhum equivoco, mudando a situação antes da aplicação em que ambos tinham três equivocos. Os dois grupos, depois da aula, responderam acertadamente a situação-problema. Entretanto, não explicaram o porquê dessa resposta: se há dois materiais com contrastes diferentes há imagens diferentes, mas, isto não foi perguntado explicitamente na situação-problema. Deve-se perguntar tais pontos na entrevista semiestruturada e incluí-los na

Tabela 33: análise das respostas à segunda situação-problema.

Nomes (fictícios)	Transcrição do respondido pelos alunos: segunda situação-problema.	Equívocos apresentados	Conceitos-em-ação	Teoremas-em-ação
Grupo 1: Morgana e Janaina	<p>Antes da aula. Morgana: “se você quiser destruir uma célula cancerígena deve utilizar uma radiação que rompa a membrana desta célula. Como a radiação alfa é muito fraca a beta é mais utilizada para romper a membrana sem causar muito dano ao paciente”. Janaina: “A gama é muito intensa para isso. Os Raios-X talvez também poderiam ser adequados, mas eu acredito mais na beta”. Morgana: “E tem que cuidar para não prejudicar muito o paciente, para não acabar destruindo muitas células boas, acho que estes seriam os procedimentos de segurança.” Janaina: “Também tentar utilizar radiação com intensidade moderada e a quantidade deve ser adequada para cada tipo de paciente, cada paciente diferente deve ter uma dosagem diferente”. Morgana: “O tipo de radiação também depende de onde precisa alcançar”. Depois da aula. Janaina: “se a radiação pode ser injetada diretamente nas células cancerígenas usa-se radiação alfa e beta, para que elas não se espalhem pelo resto do corpo atingindo as células normais”. Morgana: “em outros casos em que não se pode aplicar diretamente você usa os Raios-X ou os Raios Gama”. Janaina: “pois eles têm uma penetração maior, então eles não vão ser freados pela pele como aconteceria com as partículas alfa”.</p>	<p>Antes da aula. 1) A radiação alfa não possui energia suficiente para romper a membrana celular. <i>Comentário:</i> a radiação alfa possui energia suficiente para romper a membrana celular; 2) A radiação gama não é adequada para matar as células cancerígenas. <i>Comentário:</i> como a radiação gama é muito intensa ela pode romper a membrana celular e, portanto, pode ser utilizada para isto. Depois da aula. Não há equívocos.</p>	<p>Antes da aula. Radiação, membrana, célula, radiação alfa, beta, gama e Raios-X. Depois da aula. Radiação, célula, radiação alfa, beta, gama e Raios-X.</p>	<p>Antes da aula: 1) para destruir uma célula cancerígena deve-se utilizar uma radiação que rompa a membrana desta célula; 2) a radiação alfa possui baixa energia para romper a membrana celular; 3) a radiação gama é muito intensa para romper a membrana celular; 4) a quantidade de radiação é específica para cada paciente; 5) o tipo de radiação depende de onde estão as células cancerígenas. Depois da aula: 1) utiliza-se radiação alfa e beta quando pode-se aplicar a radiação direto nas células cancerígenas; 2) as radiações alfa e beta são facilmente freadas; 3) nos casos onde não se pode aplicar radiação diretamente usa-se Raios-X e raios gama; 4) os Raios-X e os raios gama possuem mais penetração do que a radiação alfa e beta.</p>
Grupo2: Marcelo e Marta	<p>Antes da aula. Marcelo: “seria a radiação gama?” Marta: “eu acho que sim, pelo menos uma radiação com energia suficiente para quebrar a membrana da célula e destruir o DNA dessas células cancerígenas que daí elas morrem”. Marcelo: “os Raios-X rompem as membranas, mas o que é mais perigoso são os raios gama que atravessa todo o corpo, por que se os Raios-X fossem mais perigosos que os raios gamas eles seriam mais perigosos do que realmente são. Se colocarmos na região onde tem o câncer uma substância que absorve mais radiação, a radiação gama não vai ter mais probabilidade de destruir as células?” Marta: “sim, tu diz se aumentarmos a densidade daquelas células?”</p>	<p>Antes da aula. 1) Os Raios-X são menos perigosos do que os raios gama. <i>Comentário:</i> Nem sempre isso é verdadeiro, pois os Raios-X possuem um espectro mais amplo do que os raios gama, podendo ser menos energéticos, com igual energia ou mais energético; 2) se for colocado, na região onde tem o câncer, uma substância que absorve mais radiação, a radiação</p>	<p>Antes da aula. Raios-X, célula, raios gama, densidade, chumbo. Depois da aula. Radiação alfa e beta, prótons, nêutrons, massa, chumbo, transmissão, tempo, tamanho, ossos, músculos, órgãos, energia, Raios-X, raios gama, aceleradores linear e circulares, solenóide, percurso, elétron, aceleração.</p>	<p>Antes da aula. 1) a radiação gama possui energia suficiente para quebrar a membrana das células; 2) a radiação gama possui mais energia do que os Raios-X; 3) se for colocado uma substância mais densa destrói mais facilmente as células cancerígenas; 4) para se proteger da radiação é necessário usar proteção de chumbo. Depois da aula. 1) quando usa-se radiação, apenas</p>

<p>Marcelo: “a minha esposa fez, mas falou que apenas emitiam radiação nela, não injetavam nada”.</p> <p>Marta: “é que tem dois tipos: a braquiterapia que é no local e a outra que não lembro o nome que é externa, só que a que é externa mata também células saudáveis. Quanto aos procedimentos que tem-se que fazer, tem-se que usar proteção de chumbo para isolar a área de preferência e proteger os materiais, com densidades grandes, por exemplo, o chumbo.</p> <p>Marcelo: “o técnico deveria estar atrás de uma parede com vestimenta adequada”.</p> <p>Depois da aula.</p> <p>Marcelo: “nós tem-se dois problemas, um quando pode-se agir no local e quando não pode-se agir no local”.</p> <p>Marta: “as duas são radioterapias, a que age no local é a braquiterapia e quando age no todo é a teleterapia. As diferenças: quando a gente age no local como precisa atingir curtos alcances a gente usa radiações que possuem massa e são facilmente paradas, que seriam a radiação alfa e a radiação beta”.</p> <p>Marcelo: “Isso, beta: positivo e negativo e alfa: dois prótons e dois nêutrons. Coloca-se em cápsulas bem pequenas de 4,5mm”.</p> <p>Marta: “estas cápsulas são revestidas de chumbo.”</p> <p>Marcelo: “quando chegam ao local é tirado esta cápsula de chumbo”.</p> <p>Marta: “Para poder transmitir”.</p> <p>Marcelo: “Quanto é o tempo necessário?”</p> <p>Marta: “Você falou, acho que é uns dez minutos”.</p> <p>Marcelo: “Quando eu fiz era externo e não interno, mas era quinze minutos e intervalo de 3 minutos, mas não era grave era no começo, então pessoas que possuem câncer mais grave deve ser mais tempo.</p> <p>Marta: “também depende do tamanho do câncer. Como a teleterapia é externa e a radiação terá que atravessar ossos, músculos”.</p> <p>Marcelo: “órgãos internos”.</p> <p>Marta: “até chegar ao tumor mesmo, precisa então possuir mais energia, que é a radiação gama ou outras frequências dos Raios-X.</p> <p>Marcelo: “dentro do espectro dos Raios-X só que com mais energias, mais próximo dos raios gama. Para conseguir os Raios-X com altas energias tem-se os aceleradores lineares e circulares”.</p> <p>Marta: “o circular tem mais vantagem, por que dá para colocar mais solenóides, então você vai aumentar mais a voltagem”.</p> <p>Marcelo: “então o elétron é mais acelerado, pois percorre um percurso maior e quando colidir com a fonte, que são outros</p>	<p>gama vai ter mais probabilidade de destruir as células.</p> <p>Depois da aula.</p> <p>1) é tirado à capa (que evita que a radiação do radioisótopo emita) dentro do corpo da pessoa.</p> <p>2) a radiação, na teleterapia, precisa possuir mais energia que na braquiterapia.</p>		<p>no local, chama-se de braquiterapia;</p> <p>2) quando a fonte de radiação é externa chama-se de teleterapia;</p> <p>3) a teleterapia e a braquiterapia formam a radioterapia;</p> <p>4) na braquiterapia utiliza-se radiações que possuem curto alcance (alfa e beta).</p> <p>5) a radiação alfa é composta por dois prótons e dois nêutrons;</p> <p>6) a radiação beta pode ser positiva e negativa;</p> <p>7) pessoas que possuem câncer mais grave devem ficar expostas mais tempo à radiação;</p> <p>8) a radiação, na teleterapia, precisa possuir mais energia que na braquiterapia;</p> <p>9) quanto mais solenóides maior será a voltagem e consequentemente a energia dos Raios-X;</p> <p>10) para se proteger das radiações ionizantes, deve-se utilizar chumbo.</p>
--	---	--	---

	equipamentos que existem, vão produzir Raios-X com mais energia”. Marta: “Isto. Quanto às proteções, é o que nós falamos antes, utilizar chumbo, tanto que as cápsulas usadas na braquiterapia são revestidas por chumbo.”			
--	---	--	--	--

Tabela 34: análise das respostas à terceira situação-problema.

Nomes (fictícios)	Transcrição do respondido pelos alunos: terceira situação-problema.	Equívocos apresentados	Conceitos-em-ação	Teoremas-em-ação
Grupo 1: Morgana e Janaina	<p>Antes da aula. Janaína: “O contraste será maior no tecido menos denso, então o que for mais escuro será mais denso e o outro será menos denso, o que for mais claro”. Morgana: “Mas como dá para distinguir eles?” Janaína: “pela imagem vai dar para ver na imagem.” Morgana: “Ah, é essa a resposta será?” Janaína: “Tomara que sim”. Morgana: “Tu vai fazer a imagem igual e analisar depois”.</p> <p>Depois da aula. Janaina: “Tem que injetar alguma coisa no paciente que altere a densidade de um dos tecidos para que o contraste fique maior na imagem.” Morgana: “Para distinguir um tecido do outro senão vamos ver a mesma cor na imagem”</p>	<p>Antes da aula: 1) um tecido possui mais contraste. <i>Comentário:</i> a densidade é medida em função de algo, não posso dizer que tal tecido possui mais ou menos contraste; 2) o tecido mais denso fornece uma imagem mais escura. <i>Comentário:</i> a imagem, para ser mais clara ou mais escura, em relação à densidade, dependerá do tipo de exame que for feito; 3) olhando a imagem pode-se ver qual tecido é mais denso e qual é menos denso. <i>Comentário:</i> apenas olhar para a imagem, depois de fazer o exame, não vai fazer com que seja possível ver as diferenças entre tecidos com densidades semelhantes.</p> <p>Depois da aula. Não há nenhum equívoco.</p>	<p>Antes da aula: contraste, densidade, imagem.</p> <p>Depois da aula: densidade, contraste, imagem.</p>	<p>Antes da aula: 1) contraste relacionado com a densidade do material; 2) contraste é maior no tecido menos denso; 3) se o material é mais denso fica mais escuro; 4) se o material é menos denso fica mais claro; 5) apenas precisa olhar a imagem formada para distinguir tecidos com densidades parecidas.</p> <p>Depois da aula: 6) se é alterado a densidade de um dos tecidos aumenta-se o contraste na imagem.</p>
Grupo2: Marcelo e Marta	<p>Antes da aula. Marta: “como você estava comentando”. Marcelo: “que são duas densidades diferentes”. Marta: “isto, são parecidas, mas são diferentes, e daí você comentou da voltagem”. Marcelo: “precisa regular a voltagem para sensibilizar uma menor densidade”. Marta: “mas, se elas têm densidades parecidas às imagens vão ficar muito parecidas”. Marcelo: “mas vai ficar uma mancha”. Marta: “sim, vai ficar uma mancha, precisa ter uma voltagem mínima para poder identificar uma das densidades e daí o que for mais denso vai ficar mais claro”. Marcelo: “pois os Raios-X não atravessam”. Marta: “os Raios-X são mais absorvidos. O contraste é justamente isso que vai aparecer mais claro e do mais escuro, daí se a gente calibra para pegar o mínimo, daí a outra vai ser mais</p>	<p>Antes da aula: 1) o que é mais denso vai ficar mais claro. <i>Comentário:</i> esta afirmação pode ser verdadeira ou não, pois depende de qual exame é realizado; 2) apenas a regulagem a voltagem fará com que seja possível distinguir dois tecidos com densidades semelhantes; 3) o tecido mais denso apresenta a imagem mais clara. <i>Comentário:</i> a imagem, para ser mais clara ou mais</p>	<p>Antes da aula: densidade, voltagem, imagem, contraste, absorção e amperagem.</p> <p>Depois da aula. Densidade, voltagem e</p>	<p>Antes da aula: 1) regulando a voltagem sensibiliza uma menor densidades menores; 2) os Raios-X não atravessam tecidos com densidade elevada; 3) se os tecidos possuem densidades parecidas, às imagens também ficam parecidas; 4) precisa ter uma</p>

<p>clara”.</p> <p>Marcelo: “acho que teria que fazer um teste, por exemplo, achar a voltagem mínima e daí aumentar e diminuir um pouco para ver qual se consegue a melhor imagem, vai chegar um ponto que atravessa as duas densidades e “estraga” a imagem”,</p> <p>Marta: “Fica uma parte muito clara e daí não dá para diferenciar qual é qual”.</p> <p>Marcelo: “até o momento que as duas densidades vão absorver que também “estraga a imagem”, daí nós sabemos os dois extremos e colocamos um valor no meio. E a amperagem?”</p> <p>Marta: “se nós temos uma amperagem boa, anteriormente definida, o que vai interferir mesmo é a voltagem.”</p> <p>Marcelo: “sim”.</p> <p>Marta: “acho que é bem aquilo que você falou pode-se ir testando a voltagem para uma determinada parte do corpo até vermos que fica boa a imagem, só não dá para fazer isso, muitas vezes, que é meio perigoso”.</p> <p>Marcelo: “eu já fiz isso, bateram vários Raios-X até verem aquele que ficava melhor, todos no mesmo dia”.</p> <p>Marta: “mas isso não é coisa de profissional”</p> <p>Depois da aula.</p> <p>Marta: “Quando tem-se dois materiais com densidades parecidas e a gente quer ver a diferença entre os dois o que a gente faz é alterar a densidade de um deles”.</p> <p>Marcelo: “Por que a voltagem não vai conseguir distinguir os dois, então é necessário injetar uma substância chamada contraste, para aumentar e diminuir a densidade”.</p> <p>Marta: “Daí a gente consegue ver a diferença, é como se olhássemos para duas coisas que originalmente possuem densidades diferentes, daí a gente altera naquele momento. Daí se a gente for fazer uma fluoroscopia usa-se um meio de contraste com base no flúor”.</p>	<p>escura, em relação à densidade, dependerá do tipo de exame que for realizado;</p> <p>Depois da aula.</p> <p>Não há nenhum equivoco.</p>	<p>contraste.</p>	<p>voltagem mínima para poder identificar uma das densidades;</p> <p>5) pode-se ir variando a voltagem para ver qual imagem formada é melhor;</p> <p>6) dependendo da voltagem as partes do corpo vão absorver mais ou menos;</p> <p>Depois da aula.</p> <p>1) Para distinguir dois tecidos com densidades semelhantes deve-se injetar um material com densidade diferente (maior ou menor) em um deles.</p>
--	---	-------------------	---

situação-problema. Ambos os grupos deram maior ênfase a explicação do que a descrição, fornecendo indícios de aprendizagem significativa.

Na Tabela 35, há a análise da quarta situação-problema que é: suponha que você encontra-se com seu filho no colo à espera de realizar um exame de Tomografia Computadorizada. Ele ouviu o médico falar que o equipamento irá fazer uma volta de 360° em torno do seu pai, e o menino fica intrigado e pergunta: “Pai, o aparelho de TC não possui vários cabos? Se não possui, como o equipamento recebe e manda informações para a mesa de controle?” Explique a ele.

Nenhum grupo conseguiu argumentar sobre a situação-problema antes da aula.

Os **grupo 1** e **grupo 2** não apresentaram, nas respostas posteriores à aula, nenhum equivoco, embora as respostas estivessem incompletas. Utilizaram explicações o que é um indicio de aprendizagem significativa. Entretanto, os dois grupos não explicaram como a imagem produzida nos detectores sólidos são levados ao monitor de vídeo e porque isto não dificulta o movimento do pórtico. O grupo 1 não mencionou que os anéis deslizantes são utilizados para fornecer energia ao gerador de Raios-X e o grupo 2 não mencionou que os anéis deslizantes são utilizados para movimentar o pórtico.

O aluno Marcelo conseguiu fazer uma ligação entre os anéis deslizantes e as escovas nos motores, o que também forneceu indícios de aprendizagem significativa pelo aluno.

Ambos os grupos deram maior ênfase à explicação do que a descrição, fornecendo indícios de aprendizagem significativa nos tópicos abordados, embora tenham ficado lacunas nas respostas. Neste momento, não foi possível identificar se os alunos sabiam ou não os pontos que deixaram de mencionar. Isto pôde ser esclarecido nas entrevistas.

Tabela 35: análise das respostas à quarta situação-problema.

Nomes (fictícios)	Transcrição do respondido pelos alunos: quarta situação-problema.	Equívocos apresentados	Conceitos-em-ação	Teoremas-em-ação
Grupo1: Morgana e Janaina	Janaina: “os anéis deslizantes vão substituir os cabos que não permitiriam o giro de 360°”. Morgana: “então o paciente vai entrar no pórtico”. Janaina: “e lá tem os anéis”. Morgana: “os anéis vão fornecer energia elétrica ao pórtico, o que vai fazer com que o pórtico gire sem a necessidade dos cabos”.	Não há nenhum equívoco.	Energia elétrica, energia cinética, energia, cabos, pórtico.	1) a energia sempre se conserva; 2) a energia elétrica pode ser transformada em energia cinética; 3) cabos impossibilitam o giro completo do pórtico.
Grupo2: Marcelo e Jaqueline	Marcelo: “o pórtico faz um giro de 360° que é o local onde emite Raios-X, que tá fixo no equipamento, na parte externa do gerador de Raios-X tem um sistema de contatos que nos motores nós chamamos de escovas, que na tomografia computadorizada helicoidal são chamados de anéis deslizantes, que manda corrente elétrica até o sistema que produz Raios-X”. Jaqueline: “então a produção de imagens na tomografia computadorizada helicoidal é dada através de sinais elétricos que são transmitidos através dos anéis deslizantes no pórtico, por que assim os cabos podem ser eliminados podendo, desta forma, girar a 360° de modo contínuo”. Marcelo: “em relação à mesa e ao paciente”.	Não há nenhum equívoco.	cabos, pórtico, corrente elétrica, Raios-X, condutores, anéis deslizantes.	1) cabos impossibilitam o giro completo do pórtico; 2) há necessidade de corrente elétrica para a produção de Raios-X; 3) os anéis deslizantes são condutores.

Na Tabela 36 há a análise da quinta situação-problema que é: “durante muito tempo imaginou-se que os olhos imitiam radiação, que incidia sobre os objetos, que a refletiam e que era vista pelo observador. Hoje, na PET, ocorre algo semelhante. O pósitron, antipartícula do elétron, ao se encontrar com o elétron se aniquilam, transformando a massa dos dois em energia, segundo a equação de Einstein $E= m c^2$. Como você explicaria as diferenças e semelhanças entre os dois fatos narrados para alunos no Ensino Médio? Como você provaria que a teoria de emissão de radiação pelos olhos está incorreta?”

Na quinta situação-problema os alunos tiveram argumentos para responder apenas depois do curso. Buscou-se indícios de aprendizagem significativa nas respostas apresentadas pelos alunos.

O **grupo 1** não conseguiu montar um ideia para resolver a situação-problema, apresentando vários equívocos, não fornecendo indícios de aprendizagem significativa.

O **grupo 2** apresentou duas ideias válidas para a resolução da situação-problema: 1) ficar olhando para um objeto, na ausência de fonte de radiação externa, e medir se o corpo aumentou de temperatura; 2) na ausência de fonte de luz externa, observar se consegue-se ver os objetos.

O grupo dois apresentou apenas um equívoco que, posteriormente o próprio aluno percebeu que estava errado, justificasse esta afirmação pela fala do aluno Marcelo, contido na Tabela 36: “no primeiro momento pensei(...)”, indicando que posteriormente o aluno mudou de ideia. Este grupo forneceu indícios de aprendizagem significativa.

Através das análises do que os alunos falaram para buscarem resolverem as situações-problema, pôde-se encontrar indícios que os mesmos inicialmente pouco sabiam sobre os assuntos trabalhados no curso e que a partir da aplicação da presente proposta eles melhoraram seus conhecimentos. Como visto, a maioria das gravações apresentaram indícios de aprendizagem significativa devido ao tratamento dado.

Tabela 36: análise das respostas à quinta situação-problema.

Nomes (fictícios)	Transcrição do respondido pelos alunos: quinta situação-problema.	Equívocos apresentados	Conceitos-em-ação	Teoremas-em-ação
Grupo1: Morgana e Janaina	Morgana: “a teoria de emissão de radiação pelos olhos está incorreta, pois... Janaína: “se emitíssemos radiação pelos olhos a imagem que veríamos seria a radiação refletida pelos objetos, só que teríamos algumas coisas que absorveriam a radiação como o corpo humano, por exemplo, dependendo da radiação absorveria, então não conseguiríamos observar certas coisas”.	1) a luz emitida por uma fonte externa não é refletida pelos corpos; 2) a luz emitida por uma fonte externa não é absorvida pelos corpos; 3) é possível ver determinadas coisas somente se a radiação é emitida pelos olhos.	Absorção, radiação, reflexão e olhos.	1) a absorção depende do tipo de radiação; 2) apenas há reflexão e absorção se a radiação é emitida pelos olhos; 3) se há absorção, não consegue-se observar certas coisas.
Grupo2: Marcelo e Jaqueline	Marcelo: “no primeiro momento pensei que seria a hipótese do ser humano emitir no espectro na luz”. Jaqueline: “e eu imaginei que se nós emitíssemos luz nós acabaríamos esquentando os objetos que estivéssemos olhando, porque a radiação aumentaria a vibração das moléculas e daí poderíamos sentir o calor”. Marcelo: “você imaginava que emitia todo o espectro?” Jaqueline: “isto”. Marcelo: “neste caso o teste seria olhar para um objeto e medir a temperatura dele para ver se ele aqueceu”. Jaqueline: “isto”. Marcelo: “depois nós começou-se pensar numa questão mais óbvia, ou seja, como a gente enxerga luz refletida vinda do olho ou não, para provar que não é nós que emitimos radiação basta eliminar a fonte externa e ficar olhando para o objeto”. Jaqueline: “para ver se enxergamos. Este teste não precisava-se fazer, porque sabemos que não vai dar para enxergar nada, então é a prova de que os nossos olhos não emitem radiação em nenhuma parte do espectro”.	1) se é emitido luz não pode-se ver.	Temperatura, radiação, luz e espectro.	1) a incidência de radiação aumenta a temperatura dos corpos; 2) não há visão se não há uma fonte externa de emissão de luz; 3) apenas aumenta a temperatura dos corpos se a radiação emitida for composto por todo o espectro.

5.4.7 Análise do pré e pós-teste

Como apenas cinco alunos responderam o pré-teste e o pós-teste (APÊNDICE F- Pré e pós-teste aplicado nos cursos), suas respostas foram avaliadas individualmente a partir da Tabela 37 e não foi analisado se os ganhos foram significativos.

Os pré-testes e pós-testes aplicados foram os mesmos e encontram-se no APÊNDICE F- Pré e pós-teste aplicado nos cursos.

Na Tabela 37 há a análise dos pré e pós-testes.

Tabela 37: resultados individuais do pré e do pós-testes- aplicação 4.

NOMES (FICTÍCIOS)	ACERTOS	TOTAL	NÃO SEI	ERRADO	G=(Y-X)
Janaína: pré-teste	8	48	27	13	15
Janaína: pós-teste	23	48	9	16	
Jaqueline: pré-teste	5	48	37	6	13
Jaqueline: pós-teste	18	48	16	14	
Marcelo: pré-teste	9	48	27	12	9
Marcelo: pós-teste	18	48	4	26	
Marta: pré-teste	8	48	33	7	13
Marta: pós-teste	21	48	7	20	
Morgana: pré-teste	0	48	46	2	25
Morgana: pós-teste	25	48	7	16	
					SG1=75

Na segunda coluna da Tabela 37, observa-se que todos os alunos aumentaram o número de questões que acertaram. Na quarta coluna observa-se que todos os alunos diminuíram o número de respostas que afirmaram não saber. Observando a quinta coluna pode-se ver que todos os alunos erraram mais questões no pós-teste do que no pré-teste.

Foi encontrado para o ganho médio o valor de 15, o que significa que em média os respondentes acertaram 15 questões a mais no pós-teste do que no pré-teste.¹⁵

Nenhum dos alunos respondeu corretamente as seguintes questões: 5, 6, 9, 19, 26, 40, 42, 43, 47, fornecendo indícios de que não houve aprendizagem significativa por nenhum dos alunos nos seguintes tópicos:

- o efeito fotoelétrico é a emissão de elétrons por um material quando exposto a uma radiação eletromagnética (como a luz) de frequência suficientemente alta para arrancar o elétron do material;
- a frequência necessária para ejetar elétrons depende do material;
- o próton não é a antimatéria do elétron;
- a maior tarefa do gerador é fornecer uma voltagem alta para produzir Raios-X com suficiente energia e adequada quantidade de radiação;
- não é a kVp que determina a quantidade de fótons emitidos pelo equipamento de Raios-X;
- quanto maior a concentração do elemento hidrogênio em um segmento estimulado, mais forte será o sinal de ressonância;
- os elétrons, os prótons e os nêutrons não são as menores partículas que existem;
- os radioisótopos não emitem somente radiação eletromagnética (gama);
- na SPECT há a emissão de raios gama simples.

¹⁵ Para mais detalhes de como fazer os cálculos ver seção 1.5.

Todos os alunos acertaram no pós-teste as questões: 1, 3, 4, 12, 16, 28, 32, fornecendo indícios de que todos os alunos aprenderam significativamente que:

- a Ultrassonografia não faz mal para a saúde;
- a produção de Raios-X por freamento ocorre quando um elétron, ao se aproximar do átomo é desviado de sua órbita devido à atração do núcleo, esse freamento libera energia na forma de uma onda eletromagnética;
- o efeito fotoelétrico é um dos responsáveis para levar as informações do olho até o córtex visual (no cérebro);
- uma forma de analisar as estruturas em movimento, na Ultrassonografia, faz uso do efeito Doppler;
- o decaimento radioativo ocorre quando há a emissão de radiação (corpúscular ou ondulatória), tendendo a deixar o átomo estável;
- no intensificador, a imagem é produzida seguindo a seguinte sequência: fótons de Raios-X que são transformados em fótons de luz e, em seguida, corrente elétrica e finalmente imagem;
- a radioterapia é um método de tratamento que consiste na destruição de células cancerígenas.

Na sequência, foi feita uma análise individual, buscando indícios de aprendizagem significativa de cada um dos cinco respondentes. Foram desconsideradas, na análise individual, as questões que todos acertaram e erraram.

• **Janaína.**

A aluna Janaína acertou 15 questões a mais no pós-teste em relação ao pré-teste, respondeu 18 questões a menos que não sabia e errou três questões a mais.

Observando as questões respondidas corretamente no pré-teste (1, 2, 15, 20, 21, 33, 37, e 39) e as questões corretas do pós-teste (1, 2, 3, 4, 7, 12, 16, 17, 20, 22, 23, 25, 27, 28, 32, 33, 34, 35, 39, 44, 45, 46, 48) a aluna forneceu indícios que sabe significativamente que:

- os Raios-X nem sempre possuem mais energia que os raios gama;
- o efeito Compton não ocorre quando um elétron muda para uma camada mais energética e ao voltar para seu estado de origem (menos energético) libera a energia excedente na forma de radiação;
- áreas, nos filmes, que são expostas a mais radiação ficam mais escuras e as áreas expostas a menos radiação aparecem mais claras;
- o grau de absorção não é determinado somente pelo número atômico do material;
- quando utilizado o sinal digital à informação é convertida para bits;
- os meios de contrastes são materiais que não emitem radiação;
- a principal função do fluoroscópio é proporcionar imagens em tempo real de estruturas anatômicas;
- não é a corrente elétrica que determina a energia dos Raios-X;
- a radioterapia não utiliza apenas Raios-X;
- nos dosímetros de filmes, a radiação produz alterações na densidade Óptica do filme revelado;
- a TC tem como principal vantagem, em relação a exames radiológicos convencionais, a não sobreposição de imagens de estruturas anatômicas;
- ao ser aplicado um campo magnético fornecido pelo magneto principal, os spins se alinham de acordo com ele;
- na PET há a emissão de um pósitron pelo radioisótopo;
- na PET um pósitron se aniquila com um elétron emitindo raios gama;
- a PET/CT sobrepõe às imagens metabólicas (PET) às imagens anatômicas (CT);
- na PET há a emissão de pósitron já na SPECT há a emissão de fóton.

• **Marta.**

A aluna Marta acertou 13 questões a mais no pós-teste em relação ao pré-teste, respondeu 26 questões a menos que não sabia e errou 20 questões.

Observando as questões respondidas corretamente no pré-teste (1, 2, 4, 10, 14, 16, 20, 39) e as questões corretas do pós-teste (1, 2, 3, 4, 7, 8, 10, 12, 16, 20, 21, 23, 24, 28, 29, 31, 32, 33, 34, 41, 44) a aluna forneceu indícios que sabe significativamente que:

- os Raios-X nem sempre possuem mais energia que os raios gama;
- a produção de Raios-X por freamento ocorre quando um elétron energético, ao se aproximar do núcleo transforma a sua energia cinética em ondas de Raios-X;
- o efeito Compton não ocorre quando um elétron muda para uma camada mais energética e ao voltar para seu estado de origem (menos energético) libera a energia excedente em forma de radiação;
- a aniquilação de pares ocorre quando uma matéria e sua antimatéria, por exemplo, os elétrons e os pósitrons se encontram;
- sob determinada pressão mecânica alguns materiais emitem corrente elétrica;
- uma forma de analisar as estruturas em movimento, na Ultrassonografia, faz uso do efeito Doppler;
- o grau de absorção não é determinado somente pelo número atômico do material;
- a absorção fotoelétrica predomina sobre a dispersão Compton com Raios-X de baixa energia;
- os meios de contrastes são materiais que não emitem radiação;
- na RMN a função dos meios de contraste é mudar o campo magnético no local onde será aplicado o exame;
- para valores baixos de kVp há maior absorção de radiação pelo paciente;
- os Raios-X chegam inicialmente ao écran que em contato com os Raios-X produzem luz, essa luz impressiona o filme onde é produzida a imagem;
- a radioterapia não utiliza apenas Raios-X;
- nos dosímetros de filmes, a radiação produz alterações na densidade Óptica do filme revelado;
- as partículas elementares são as menores partículas que constituem a matéria;
- na PET há a emissão de um pósitron pelo radioisótopo.

• **Morgana (nome fictício).**

A aluna Morgana acertou 12 questões a mais no pós-teste em relação ao pré-teste, respondeu 39 a menos que não sabia e errou 27 questões a mais no pós-teste, o que foi motivo de preocupação, pois a maioria das questões não fornecem indícios de aprendizagem significativa.

A aluna não respondeu nenhuma questão correta no pré-teste. As questões corretas do pós-teste (1, 3, 4, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 22, 23, 24, 25, 28, 29, 30, 31, 32, 37, 41, 44) forneceram indícios de que a aluna sabe significativamente que:

- sob determinada pressão mecânica alguns materiais emitem corrente elétrica;
- alguns materiais quando estimulados por um sinal elétrico produzem deformações mecânicas;
- a radiação ionizante pode trazer ações indiretas (produção de radicais livres);
- o fóton não é outro nome que se dá à luz;
- a Meia Vida não é o tempo de vida de cada radionuclídeo;
- áreas, nos filmes, que são expostas a menos radiação ficam mais claras e as áreas expostas a mais radiação aparecem mais escuras;
- os materiais mais densos absorvem mais a radiação;
- o grau de absorção não é determinado somente pelo número atômico do material;
- quando utilizado o sinal analógico à informação não é convertida para bits;

- os meios de contrastes não são materiais que emitem radiação;
- na RMN a função dos meios de contraste é mudar o campo magnético no local onde será aplicado o exame;
- a principal função do fluoroscópio é proporcionar imagens em tempo real de estruturas anatômicas;
- para valores baixos de kVp há maior absorção de radiação pelo paciente;
- em aparelhos que usam filmes para formar a imagem, quanto menor for o valor de kVp mais clara será a imagem se permanecer o mesmo valor para miliampere (mA);
- os Raios-X chegam inicialmente ao écran que em contato com os Raios-X produzem luz, essa luz impressiona o filme onde é produzida a imagem;
- a RMN utiliza a capacidade dos prótons teciduais receberem e devolverem energia através de ondas de radiofrequência;
- as partículas elementares são as menores partículas que constituem a matéria;
- na PET há a emissão de um pósitron pelo radioisótopo.

• **Jaqueline.**

A aluna Jaqueline acertou 13 questões a mais no pós-teste em relação ao pré-teste, respondeu 21 questões a menos que não sabia e errou oito questões a mais no pós-teste.

Observando as questões respondidas corretamente no pré-teste (1, 2, 4, 12, 32) e no pós-teste (1, 2, 3, 4, 12, 14, 16, 24, 25, 28, 31, 32, 34, 36, 37, 38, 39, 48) a aluna forneceu indícios que sabe significativamente que:

- os Raios-X nem sempre possuem mais energia que os raios gama;
- na RMN a função dos meios de contraste é mudar o campo magnético no local onde será aplicado o exame;
- a principal função do fluoroscópio é proporcionar imagens em tempo real de estruturas anatômicas;
- o exame de RMN não utiliza radiação ionizante;
- a RMN utiliza a capacidade dos prótons teciduais receberem e devolverem energia através de ondas de radiofrequência;
- na ausência de um campo magnético externo, a orientação dos spins nos tecidos não é organizada;
- ao ser aplicado um campo magnético fornecido pelo magneto principal, os spins se alinham de acordo com ele;
- os Raios-X chegam inicialmente ao écran que em contato com os Raios-X, produzem luz, esta impressiona o filme, onde é produzida a imagem;
- nos dosímetros de filmes, a radiação produz alterações na densidade Óptica do filme revelado.

• **Marcelo.**

O aluno Marcelo acertou 9 questões a mais no pós-teste em relação ao pré-teste, respondeu 23 questões a menos que não sabia em relação ao pré-teste e errou 14 questões a mais no pós-teste.

Observando as questões respondidas corretamente no pré-teste (4, 8, 14, 16, 22, 27, 32, 39, 41) e as questões corretas do pós-teste (1, 2, 3, 4, 12, 14, 16, 23, 24, 28, 29, 32, 33, 34, 35, 39, 41, 44) o aluno forneceu indícios que sabe significativamente que:

- os Raios-X nem sempre possuem mais energia que os raios gama;
- o fóton não é outro nome que se dá à luz;
- os meios de contrastes não são materiais que emitem radiação;
- na RMN a função dos meios de contraste é mudar o campo magnético no local onde será aplicado o exame;
- para valores baixos de kVp há maior absorção de radiação pelo paciente;

- a radioterapia não utiliza apenas Raios-X;
 - nos dosímetros de filmes, a radiação produz alterações na densidade Óptica do filme revelado;
 - a TC tem como principal vantagem, em relação a exames radiológicos convencionais, a não sobreposição de imagens de estruturas anatômicas;
 - ao ser aplicado um campo magnético fornecido pelo magneto principal, os spins se alinham de acordo com ele;
 - as partículas elementares são as menores partículas que constituem a matéria;
 - na PET há a emissão de um pósitron pelo radioisótopo.
- As demais respostas avaliadas no teste (ver APÊNDICE F- Pré e pós-teste aplicado nos cursos) não forneceram indícios de aprendizagem significativa.

Para testar a significância das médias obtidas foi utilizado o teste para duas amostras independentes (Dancey, 2007). Foi possível rejeitar a hipótese nula, pois a significância obtida de 0,034 está abaixo do valor teórico estipulado (0,05) (Dancey, 2007). Com base nestas informações pode-se afirmar que os grupos das implementações 3 e 4 são estatisticamente semelhantes e que o pré-teste pode ser usado como indicador da homogeneidade inicial dos grupos. Portanto, foi realizada análise de ambos em termos do ganho Silveira (2010), uma vez que as variações nas médias dos grupos são estatisticamente significativas.

Como os grupos eram pequenos utilizou-se, para comparar se os ganhos entre o grupo 3 e 4 eram estatisticamente significativos, estatística não-paramétrica para duas amostras independentes (Dancey, 2007). Encontrou-se um valor de 0,0042 que é menor que 0,050, portanto pôde-se rejeitar a hipótese nula, sendo assim é estatisticamente provável que os resultados obtidos foram devidos a intervenção feita.

Como a única diferença na implementação da quarta proposta da proposta foi a recursividade, há fortes indicativos que a diferença na aprendizagem se deva a ela (Parisoto e Moro, 2011c), como também apontam outras pesquisas feitas em outras áreas (Zeferino, Dominges e Amaral, 2007) e (Tertuliano, Ugrinowitsch e Ugrinowitsch, 2007).

5.4.8 Entrevistas

Na entrevista, o objetivo foi o de esclarecer aos alunos tópicos que eles apresentaram equívocos ao longo da gravação das situações-problema, pontos que não ficaram claros durante as gravações, buscando facilitar a aprendizagem significativa pelos alunos, bem como esclarecer pontos que pareceram obscuros pela pesquisadora.

Para tanto, foram utilizadas entrevistas semiestruturadas (Boni e Quaresma, 2005). As entrevistas semiestruturadas combinam perguntas abertas e fechadas, nas quais o informante tem a possibilidade de discorrer sobre o tema proposto. O pesquisador deve seguir um conjunto de questões previamente definidas, mas ele o faz em um contexto semelhante ao de uma conversa informal. O entrevistador precisa ficar atento para dirigir, no momento que achar oportuno, a discussão para o assunto que o interessa, fazendo perguntas adicionais para elucidar questões que ainda não ficaram claras de modo a alcançar os objetivos desejados.

Para realizar as entrevistas, foram feitas fichas diferenciadas para cada aluno do curso. Essas fichas foram divididas em duas partes, a primeira concentrou-se apenas na explicação da pesquisadora em relação a equívocos apresentados pelos alunos e, portanto não foram aqui apresentadas. Aqui, será destacada a segunda parte que compõem as fichas, que são questões que ficaram obscuras e que considerou-se necessária à elucidação, ou seja, a entrevista propriamente dita.

Foram realizadas apenas quatro entrevistas, tendo em vista que ficaram até o final da aula apenas quatro alunos. Nas seções 5.4.8.1 Entrevista com a aluna Janaína, 5.4.8.2 Entrevista com aluna Morgana, 5.4.8.3 Entrevista com aluno Marcelo e 5.4.8.4 Entrevista com aluna Marta foram transcritos e analisados, respectivamente, as entrevistas feitas com os(as) alunos(as) Janaína, Morgana, Marcelo e Marta.

Nas transcrições não foram colocadas a primeira parte da entrevista, frases repetidas e conversas que não tinham ligação direta com o objetivo da entrevista.

5.4.8.1 Entrevista¹⁶ com a aluna Janaína

Pesquisadora: “o que são átomo estáveis?”

Aluna: “relativo à eletrosfera são os que têm oito elétrons na última camada e relativo ao núcleo atômico são os que possuem a mesma quantidade de prótons e de nêutrons”.

Pesquisadora: “não ocorre sempre assim, esta relação é verdadeira para átomos de baixo número atômico, para átomos de número atômico mais elevado esta relação não existe. Pode-se dizer que um núcleo atômico é estável quando a força nuclear forte é maior do que a força elétrica. Relativo a eletrosfera há exceções como o hélio e o hidrogênio”.

Vamos para a segunda pergunta: por que a imagem, para ser mais clara ou mais escura, depende do tipo de exame que é realizado?”

Aluna: “não tenho ideia”.

Então a pesquisadora explicou tal tópico para a aluna.

Pesquisadora: “como se pode fazer para distinguir dois tecidos de densidades muito semelhantes?”

Aluna: “deve-se injetar na pessoa um material com densidade diferente dos tecidos que se quer observar”.

Pesquisadora: “mas eu vou precisar injetar um material com mais ou menos densidade?”

Aluna: “com mais densidade”.

Pesquisadora: “por quê?”

Aluna: *silêncio.*

Pesquisadora: “tanto faz, pois se eu injetar contraste com mais densidade ele vai absorver mais radiação, ficando, por exemplo, na fluoroscopia, uma parte escura. Se eu injetar contraste com menos densidade ele vai absorver menos radiação do que o tecido que se quer estudar então, na fluoroscopia, por exemplo, vai ficar partes mais claras. Então na imagem vai ficar uma parte mais clara ou mais escura, dependendo do tipo de contraste que será utilizado.

Na angiografia deseja-se observar os vasos sanguíneos. Se você quer que as veias fiquem mais escuras na imagem, que tipo de contraste há a necessidade de usar, com mais ou menos densidade do que a região em torno das veias?”

Aluna: “com menos densidade”.

Pesquisadora: “por quê?”

Aluna: “por que se o contraste possui menos densidade, passa mais radiação sensibilizando o filme”.

Pesquisadora: “e os equipamentos que não funcionam mais com filmes como no caso da angiografia?”

Aluna: “não sei”.

Pesquisadora: a pesquisadora explicou a diferença entre a formação de imagens em equipamentos que utilizam filmes e em equipamentos que utilizam detectores que funcionam a partir do efeito fotoelétrico.

¹⁶ Nestas entrevistas, pela falta de experiência da pesquisadora, estas excedeu nas intervenções realizadas.

Pesquisadora: “porque a radiação alfa e beta possuem pouca capacidade de penetração se comparado a radiação gama e aos Raios-X? Relacione isto aos dois tipos de radioterapia”.

Aluna: “a radiação gama porque ela não possui carga e os Raios-X também possuem uma massa pequena”.

Pesquisadora: “ambas não possuem carga nem massa”.

Aluna: “mas a radiação alfa e beta possuem massa. A alfa tem mais massa”.

Pesquisadora: “as duas além de massa possuem carga, então elas podem ser atraídas por outro material sendo absorvidas. Um exemplo disso é o que você falou sobre a estabilidade da eletrosfera, se o átomo não é estável, uma radiação beta menos pode ser atraída pelo átomo que busca a estabilidade da eletrosfera, sendo absorvida por ele.

A radiação alfa e beta são usadas em qual tipo de radioterapia?”

Aluna: “a alfa e a beta são para áreas mais externas e de fácil acesso e os Raios-X e os raios gama são para regiões do corpo mais internas e de difícil acesso, pois estas são mais difíceis de serem bloqueadas”.

Pesquisadora: “é porque se conseguirmos chegar com a fonte de radiação diretamente no câncer é melhor, porque vamos matar menos células sadias.

Qual relação existe entre ter mais moléculas (mais gás) para ionizar e a detecção de radiações por um detector de radiações ionizantes?”

Aluna: “porque com mais gás vai aumentar a sensibilidade do aparelho. Porque se eu tenho mais gás vou ter mais elétrons, então é mais provável que a radiação de fora ao entrar no dosímetro encontre um elétron de um destes átomos, ejetando-o ocorrendo, desta forma, o efeito fotoelétrico, produzindo corrente elétrica que é proporcional a radiação de entrada”.

Pesquisadora: “como o sinal elétrico pode ser medido?”

Aluna: “eu lembro que eu coloquei isto em um mapa na segunda versão, não tinha colocado no da primeira e daí você me perguntou, mas agora não lembro. É proporcional a intensidade de alguma coisa.”

Pesquisadora: “isso da radiação. Eu sei, por exemplo, que se tenho uma lanterna ela arrancará 5 elétrons, se eu pegar outra lanterna que emite radiação com características idênticas da primeira lanterna sei que ela arrancará o dobro de elétrons, como faço para medir isto? Com um equipamento chamado amperímetro (na sequência, foi explicado o funcionamento deste aparelho).

A radiação alfa possui energia suficiente para romper a membrana celular?”

Aluna: “a radiação alfa acho que não, pois ela possui bastante massa e é facilmente bloqueável”.

Pesquisadora: “o que é a radiação alfa?”.

Aluna: “é formado por dois prótons e dois nêutrons”.

Pesquisadora: “entre os prótons há uma força de repulsão denominada de força elétrica, mas o que prendem eles ao núcleo é uma força de atração denominada de força nuclear forte que, como se viu durante o curso, perdem rapidamente sua força à medida que aumenta a distância entre as partículas. Quando as partículas estão mais distantes a força elétrica é mais intensa do que a força nuclear forte, então o átomo começa a ejetar matéria. Estas matérias ejetadas possuem alta energia cinética (altas velocidades), então a radiação alfa possui bastante energia, ela é facilmente bloqueada não por ela não possuir energia, mas por ela possuir massa. Então ela consegue romper a membrana celular por possuir bastante energia cinética, por isso que na braquiterapia é utilizada radiação alfa. Qual é a função da radiação alfa na braquiterapia?”

Aluna: “destruir as células cancerígenas”.

Pesquisadora: “então ela consegue romper a membrana celular.

Como funciona os anéis deslizantes?”

Aluna: “eles estão em volta do pórtico, conduzindo energia para ele que vai fazer eles se movimentarem, os anéis ficam parados enquanto o pórtico se movimenta. O pórtico é formado por um material condutor. Caso não fosse assim à voltagem dos anéis deslizantes não seria transmitida ao pórtico.”

Encontrou-se os seguintes indícios:

- a aluna não consegue distinguir formação de imagem a partir de filme e a partir de detectores que funcionam a partir do efeito fotoelétrico;
 - pensa que se a quantidade de prótons e de nêutrons for à mesma o átomo fica estável;
 - considera que para distinguir tecidos com densidades semelhantes deve-se usar material com densidade superior ao tecido que se quer observar;
 - considera que os Raios-X possuem massa;
 - pensa que se a radiação é facilmente bloqueada não consegue romper a membrana celular;
 - pensa que a radiação alfa e a beta são para áreas mais externas e os Raios-X e os raios gama são para regiões do corpo mais externas (nem sempre é assim, por exemplo, utiliza-se radiação alfa e beta para o câncer no colo do útero).
- Os seguintes pontos fornecem indícios de aprendizagem significativa:
- compreende que a radiação alfa e a beta são para áreas de mais fácil acesso e os Raios-X e os raios gama são para regiões do corpo de difícil acesso;
 - compreende que os Raios-X e os Raios Gamas são mais difíceis de serem bloqueadas em relação à radiação alfa e beta;
 - sabe que se há mais gás no detector ele torna-se mais sensível;
 - possui conhecimento de que a radiação alfa, na braquiterapia, tem a função de destruir a membrana celular;
 - compreende a utilização e para que servem os anéis deslizantes.

5.4.8.2 Entrevista com aluna Morgana

Pesquisadora: “o que são átomos estáveis?”

Aluna: “é quando o átomo possui o mesmo número de prótons e de nêutrons”.

Pesquisadora: da mesma forma que para a aluna Janaína a pesquisadora explicou que: “não ocorre sempre assim, esta relação é verdadeira para átomos de baixo número atômico, para átomos de número atômico mais elevado esta relação não existe. Pode-se dizer que um átomo é estável quando a força nuclear forte é maior do que a força elétrica.

Vamos para a segunda pergunta: como faço para destacar, por exemplo, vasos sanguíneos em uma imagem?”

Aluna: “regulo a voltagem”.

Pesquisadora: “explique melhor”.

Aluna: “assim como na mamografia que para vermos tecidos com densidades semelhantes utiliza-se baixa voltagem”.

Pesquisadora: “como em outras áreas do corpo tem-se densidades distintas, como o osso e o tecido adiposo, alterar a voltagem não nos auxiliará a vermos o interior do corpo humano. Neste caso há a necessidade injetar um material mais denso ou menos denso que são os meios de contraste”.

Aluna: “ah sim! Estava me confundindo.”

Pesquisadora: “agora injetei meio de contraste na fluoroscopia que não utiliza filme e quero que a imagem fique clara, preciso inserir um contraste com uma densidade maior ou menor?”

Aluna: “densidade menor, pois o contraste vai deixar passar mais radiação. Se tenho menor densidade vai passar mais radiação. Esta radiação arranca mais elétrons do detector, ou seja, há mais efeito fotoelétrico, mais elétrons chegam ao monitor e ali haverá mais luminosidade”.

Pesquisadora: “como é produzida esta luminosidade?”

Aluna: “não sei”.

Pesquisadora: respondeu a pergunta feita. “Porque a radiação alfa e beta possuem pouca

capacidade de penetração ao contrário da radiação gama e dos Raios-X? Relacione isto aos dois tipos de radioterapia”.

Aluna: “por causa da diferença de energia entre eles”.

Pesquisadora: “todas as radiações mencionadas possuem bastante energia, por isso não é devido a isto que os Raios-X e os raios gamas possuem alta capacidade de penetração em detrimento da alfa e da beta. O que faz com que as radiações alfa e beta sejam mais facilmente bloqueadas são as suas massas e cargas. A radiação alfa tem dois prótons e dois nêutrons então ela é rapidamente freada. Os prótons também possuem carga, então se, por exemplo, falta prótons em algum material estes prótons são absorvidos. Já os Raios-X e os raios gama não possuem nem carga nem massa, então há menos probabilidade de absorvê-los.

Então tem-se a radioterapia que é dividida em braquiterapia e teleterapia”.

Aluna: “a braquiterapia é quando colocamos a radiação mais próxima ao câncer, por exemplo, na mão. A teleterapia é quando é colocado a fonte mais externa”.

Pesquisadora: “em qual delas que eu uso Raios-X, raios gama, radiação alfa e beta?”

Aluna: “como na braquiterapia há necessidade de que a radiação atravesse menos o paciente, pois a fonte é aplicada diretamente no câncer então vou utilizar preferencialmente radiação alfa, já na teleterapia utiliza Raios-X radiação gama.

Pesquisadora: “a radiação alfa possui energia suficiente para romper a membrana celular?”

Aluna: *(Silêncio)*.

Pesquisadora: “como que mata uma célula?”

Aluna: “através do rompimento da membrana celular. Então se antes eu conclui que na braquiterapia a radiação alfa mata as células, então posso dizer que a radiação alfa possui energia suficiente para romper a membrana celular”.

Pesquisadora: “ótimo. Agora vamos para outra questão: Se a radiação fosse emitida pelos olhos, ela também seria refletida e absorvida pelos corpos, do mesmo modo que a luz emitida por uma fonte externa. Você concorda com esta afirmação?”

Aluna: “concordo, pois em ambos os casos há emissão de radiação. Não muda a absorção e a reflexão o fato da radiação sair dos olhos ou de uma fonte externa ao corpo.”

Pesquisadora: “do mesmo modo que quando a radiação é emitida por um corpo externo, se a radiação fosse emitida pelos olhos há corpos que não são vistos sob algumas condições específicas. Você concorda com esta afirmação?”

Aluna: *(Silêncio)*.

Pesquisadora: “eu tenho duas teorias: 1º) que meu olho está emitindo radiação e 2º) que uma fonte externa está emitindo radiação. Segundo as duas teorias há objetos que a gente pode não ver? Há objetos que nós, em nossa vida, não vimos?”

Aluna: “no escuro eu não vejo nada, então se a luz fosse emitida através dos meus olhos no escuro eu conseguiria ver objetos o que não ocorre”.

Pesquisadora: “isso. Entretanto, em ambos os casos se os objetos não estivessem em nosso campo visual ou se o objeto estivesse camuflado não conseguiríamos vê-lo.

Próxima pergunta: como funciona os anéis deslizantes?”

Aluna: “aquela da tomografia computadorizada helicoidal que faz o aparelho girar a 360º?”

Pesquisadora: “isso”.

Aluna: “não lembro”.

Pesquisadora: “os anéis deslizantes possuem energia e encostado a ele há o pórtico. O pórtico é formado por um condutor (conduz eletricidade). Então a energia dos anéis deslizantes passa, por condução elétrica, ao pórtico fornecendo energia a ele sem precisar dos cabos. Este mesmo processo ocorre nos motores elétricos. O anel deslizante é então uma ponta condutora que encosta no pórtico que fica girando, pois todo ele fica energizado. O anel deslizante também fornece energia para o gerador de Raios-X que fica no pórtico.”

Houve os seguintes indícios:

- pensa que o núcleo atômico é estável apenas quando possui a mesma quantidade de prótons e de nêutrons;
- acha que, se for diminuída a voltagem, podem-se destacar tecidos com densidades parecidas;
- não compreende a formação de imagem em um monitor de televisão;
- considera que a radiação alfa é mais facilmente freada por possuir menos energia que as outras radiações;
- não sabe como funciona os anéis deslizantes;
- compreende as diferenças produzidas na imagem quando o detector é formado por filme e quando o detector funciona a partir do efeito fotoelétrico;
- compreende que a braquiterapia é quando a fonte é colocada diretamente no câncer;
- sabe que a teleterapia é quando a fonte de emissão de radiação é externa ao corpo;
- sabe quais tipos de radiação são utilizadas na braquiterapia e na teleterapia e por que da utilização de cada uma delas;
- compreende que a radiação alfa possui energia suficiente para romper a membrana celular;
- sabe que se a radiação fosse emitida pelos olhos ou por uma fonte externa, ela seria tanto absorvida como refletida;
- compreende que se os olhos emitissem radiação seria possível ver no escuro.

5.4.8.3 Entrevista com aluno Marcelo

Pesquisadora: “por que a voltagem não vai fazer com que sejam distinguidos dois tecidos com densidades semelhantes?”

Aluno: “a interação da radiação com a matéria vai depender da voltagem, ou seja, se tenho mais voltagem, há mais energia e portanto a radiação atravessa mais o corpo deixando a imagem mais clara em aparelhos que utilizem de detectores e mais escuras em aparelhos que utilizam de filmes. Para detectarmos tecidos que possuem densidades parecidas precisa-se injetar contraste que é uma substância com uma densidade maior ou menor que o tecido que se quer estudar”.

Pesquisadora: “ótimo. Passemos agora à segunda pergunta: Por que se for alterada a densidade do tecido, conseguimos distinguir tecidos diferentes? Qual relação da densidade com a formação da imagem?”

Aluno: “você altera a densidade do tecido. Dois tecidos com densidades iguais os Raios-X não conseguem formar a imagem deles, então teria que distinguir os dois tecidos diferentes, através dos contrastes”.

Pesquisadora: “mas por que se eu variar o contraste dos tecidos, irei distingui-los?”

Aluno: “por que os Raios-X vão ser mais absorvidos num do que no outro”.

Pesquisadora: “qual será a consequência desta diferença de absorção na imagem?”

Aluno: “o objeto mais denso vai absorver mais radiação, desta forma sua imagem será mais clara e o menos denso deixará passar mais radiação tornando a imagem mais escura, isto no Raios-X convencional, será o contrário em equipamentos que utilizam detectores e não filmes”.

Pesquisadora: “ótimo. Se for colocado, na região onde há um câncer, uma substância que absorve mais radiação, a radiação ionizante vai ter mais probabilidade de destruir as células?”

Aluno: “sim, haverá mais probabilidade, pois esta agindo no local”.

Pesquisadora: “se for colocado material mais denso próximo à célula cancerígena haverá mais mortes das células cancerígenas?”

Aluno: “por exemplo, colocar contraste que absorve mais radiação junto com as células cancerígenas”.

Pesquisadora: “isto”.

Aluno: “daí não ia resolver, pois o contraste que iria absorver radiação e não as células cancerígenas. Estava antes confundindo com material radioativo, pois se coloco material radioativo em contato direto com as células cancerígenas elas potencialmente irão morrer.”

Pesquisadora: “a radiação, na teleterapia, precisa possuir mais energia que na braquiterapia?”

Aluno: “a teleterapia utiliza Raios-X e radiação gama e a braquiterapia utiliza a radiação alfa. As duas tem bastante energia, mas porque é utilizado na braquiterapia radiação alfa? Porque ela atravessa menos, mas ela atravessa menos por ela possuir mais massa e não por possuir menos energia e desta forma, a radiação alfa é freada mecanicamente rompendo a membrana celular”.

Houve os seguintes indícios:

- compreende o que são os contrastes e para que são utilizados;
- sabe que pode-se utilizar tanto contraste com mais ou menos densidade do que os tecidos que se deseja observar;
- relaciona, corretamente, a voltagem e a energia da radiação com a maior ou menor penetração;
- relaciona, corretamente, a intensidade da radiação incidente com a clarificação ou o escurecimento da imagem;
- respondeu corretamente que se o tecido é mais denso há mais absorção;
- compreende que, se for colocado material mais denso próximo às células cancerígenas, essas não possuem mais probabilidade de morrer, pois quem absorve mais radiação são esses materiais e não as células cancerígenas;
- compreende que as radiações alfa, beta, os Raios-X e os raios gama possuem energia suficiente para romper a membrana celular;
- sabe que na braquiterapia é utilizado a radiação alfa e beta, pois elas são mais facilmente freadas devido a sua massa, desta forma possuem menor alcance.

Nas respostas fornecidas pelo aluno à entrevista não houveram equívocos.

5.4.8.4 Entrevista com aluna Marta

Pesquisadora: “por que se alteramos a densidade do tecido, conseguimos distinguir tecidos diferentes? Qual relação da densidade com a formação da imagem?”

Aluna: “a densidade está relacionada á quantidade de matéria presente, no caso, em um órgão. Quanto mais matéria mais há átomos e maior é a interação da radiação com a matéria (mais a radiação é absorvida). Assim, devido ao efeito fotoelétrico, há maior ou menor absorção/emissão da radiação, dependendo da densidade”.

Pesquisadora: “se colocarmos, na região onde há um câncer, uma substância que absorve mais radiação, a radiação gama terá mais probabilidade de destruir as células?”

Aluna: “sim, a interação com a matéria seria maior e mais aprisionada ficaria a radiação gama, existindo então uma maior “chance” para ela destruir as membranas plasmáticas”.

Pesquisadora: “o que significa dizer que a teleterapia age no todo?”

Aluna: “significa que, ao contrário da braquiterapia, que tem um curto alcance, a radiação da teleterapia acaba tendo um alcance muito maior, atingindo muito mais locais (regiões do corpo) além do “foco” do problema (tumor em questão)”.

Pesquisadora: “se for colocada, próximo ao tumor, uma substância mais densa a radiação destrói mais facilmente as células cancerígenas?”

Aluna: “não, pois a facilidade/dificuldade está relacionada ao alcance (energia) da radiação e ao número atômico do material (quanto maior, mais instável e maior emissão de radiação)”.

Pesquisadora: “Explique por que se utiliza chumbo, e não outros tipos de materiais, para as pessoas protegerem-se das radiações ionizantes para tecidos biológicos.”

Aluna: “é uma redundância falar que um átomo é neutro (caso contrário ele seria um íon). Logo, a relação entre número atômico (número de prótons) e quantidade de elétrons é simples: o número atômico indica o número de elétrons (cargas negativas compensam cargas positivas em igual número) Fica simples entender, também, por que o Chumbo é utilizado: ele possui alto número atômico, sem ser instável; ou seja, possui alto número de elétrons e alta interação com a radiação, aumentando o efeito fotoelétrico e absorvendo mais a radiação.”

Pesquisadora: “por que o filtro deixa passar apenas energias mais altas?”

Aluna: “apenas as radiações de mais alta energia terão interação baixa o suficiente com a matéria e terão menor probabilidade de serem absorvidas por efeito fotoelétrico.”

Pesquisadora: “por que na mamografia utilizam-se Raios-X característicos e no aparelho de Raios-X convencional radiação de freamento?”

Aluna: “isto está relacionado às densidades dos órgãos que são analisados em cada uma delas. Os ossos são pouco densos, radiologicamente, o que significa que são bastante densos anatomicamente. Por isso, para que parte da radiação consiga atravessar o órgão inteiro, é necessário uma energia mais alta para o Raios-X, obtida por freamento. O raciocínio para a mamografia é análogo e inverso”.

Pesquisadora: “como a tela-película transforma Raios-X em luz?”

Aluna: “a tela-película tem, em sua composição, a emulsão que interage com o Raios-X e, por efeito fotoelétrico, é obtida luz”.

Pesquisadora: “como o chassi protege o filme da luz?”

Aluna: “o chassi envolve o filme, de forma que somente os Raios-X o atingem. Ele é feito de um material opaco”.

Pesquisadora: “como o diodo retifica a corrente elétrica?”

Aluna: “cada diodo dá passagem a somente um sentido de corrente. É a combinação dos diodos, ou seja, de vários retificadores de corrente que só deixam passar um pulso, que acaba formando um único longo pulso elétrico (ou corrente de um sentido)”.

Houve os seguintes indícios:

- não soube explicar qual a relação da densidade em relação à formação de imagem;
- pensa que, se for colocado um material que absorve mais radiação próximo a células cancerígenas, haverá maior probabilidade de romper a membrana celular matando-as;
- não conseguiu relacionar absorção à densidade do material;
- o número atômico é igual ao número de elétrons. Esta afirmação é válida apenas para átomos, e não íons.

Os seguintes pontos apresentam indícios de aprendizagem significativa:

- sabe que a densidade é a massa distribuída em um determinado volume;
- relaciona corretamente a densidade ao número de elétrons, ao efeito fotoelétrico, à absorção da radiação;
- sabe diferenciar a braquiterapia e a teleterapia;
- compreende porque utiliza-se chumbo como proteção das radiações ionizantes para tecidos biológicos;
- compreende que radiações com baixa energia interagem mais com os tecidos biológicos;
- diferencia, corretamente, a utilização de Raios-X característicos na mamografia e de Raios-X de freamento nos demais equipamentos que utilização Raios-X, justificando seu uso;

- compreende o funcionamento de um diodo.

5.4.9 Análise da avaliação do curso

Os alunos que fizeram a análise do curso foram cinco, por este motivo, não foi utilizado porcentagem para analisar a avaliação feita pelos alunos. O questionário que os alunos responderam encontra-se no APÊNDICE G- Análise das aulas.

Foram utilizadas as respostas dos alunos do curso para buscar indícios para responder os seguintes questionamentos: 1º) os conteúdos de Óptica, Eletromagnetismo, Física Moderna e Contemporânea podem ser utilizados na Física aplicada à Medicina? Essa aplicação facilita sua compreensão dos alunos? 2º) Que abordagem(ns), estratégia(s) poderia(m) ser mais facilitadoras da aprendizagem significativa da Física aplicada à Medicina?

Para tal foram colocadas na Tabela 38, as transcrições de todas as justificativas dadas pelos alunos na primeira parte (assinalar) e na Tabela 39, as transcrições de todas as justificativas dadas pelos alunos na segunda parte (descritiva). Por último, buscou-se, através das transcrições, indícios para responder as perguntas mencionadas anteriormente.

Ao fazer a análise, percebeu-se que haviam muito menos críticas do que nas demais aplicações da proposta. Atribui-se isso a maior maturidade da pesquisadora e a familiaridade com os conteúdos e metodologias de ensino utilizadas.

Tabela 38: transcrições das justificativas do grupo 4: primeira parte.

Questões	Sim	Não	Às vezes	Justificação: transcrições
1	4	0	1	“Em minha dissertação pesquisei muito sobre Vygotsky, estão quando penso em desenvolver algo busco a “Zona Proximal do Desenvolvimento”, também valorizo muito a utilização de tecnologias para a educação, tipo: computador, softwares, WEB, Internet, filmes, documentários, etc.” Marcelo.
2		0	1	“Em alguns momentos acho fundamental não explicar todo o conteúdo e deixar o aluno evoluir por conta própria e/ou com ajuda de colegas” Marcelo.
3	5	0	0	
4	0	4	1	“Tinha vontade de saber mais sobre o assunto mas ainda não havia tido a oportunidade” Jaqueline. “Tenho bastante interesse pelo assunto do curso, mas meus conhecimentos sobre esses conteúdos eram mínimos” Janaína. “O curso me trouxe de novo a parte de conhecimentos de Física moderna/contemporânea” Marta.
5	1	1	3	“Mais por falta de conhecimento prévio, do que por falta de explicação da pesquisadora” Morgana. “Alguns conceitos não ficavam bem claro para mim na primeira explicação, mas com uma explicação mais detalhada se tornaram mais compreensíveis” Janaína. “Questão envolvendo padrão de decaimento e meia-vida” Marta.
6	5	0	0	
7		0	0	
8	5	0	0	“Foram utilizados muitos recursos para ajudar a “fichar” o conteúdo, o que foi muito importante para o aprendizado” Janaína.
9	4	0	1	“Sim no sentido de que estava bem completo, às vezes no sentido de que parecia faltar algumas informações nas lâminas e/ou no livro auxiliar, mas busquei na Web” Marcelo.
10	5	0	0	
11	4	0	1	“Mas eu, sinceramente, sou meio exigente demais nesse quesito”.
12	5	0	0	
13	2	0	3	“Não na íntegra” Marcelo. “É possível, mas depende da escola e do andamento da turma. Uma breve explicação, ou até mesmo citar exemplos da aplicação da Física na Medicina é válido, e vai fazer com os alunos se interessem mais pela matéria” Morgana. “Mas acho que é necessário simplificar alguns conceitos” Jaqueline. “O ensino de Física no ensino médio é muito restrito e básico, acredito que alguns conteúdos seriam muito difíceis de serem trabalhados nesse nível de ensino” Janaína.
14	4	0	1	“Acho que precisa ser diminuído o número de mapas conceituais a serem feitos” Jaqueline.
15		0	0	
16	5	0	0	

Tabela 39: transcrições das justificativas do grupo 3: segunda parte.

Questões	Transcrições
17	<p>“Mapas conceituais, apesar de ser em grande número” (Marcelo).</p> <p>“A retomada final dos conceitos e tecnologias estudadas” (Marcelo).</p> <p>“Confecção dos mapas conceituais, pois foi um trabalho novo, que eu ainda não conhecia, e é importante para um professor estar sempre atualizado” (Morgana).</p> <p>“Gravações de áudio é uma maneira de você rever o conteúdo, os seus erros e poder refazer” (Morgana).</p> <p>“Alguns mapas conceituais e o programa de gravação de voz. Achei que fazer um mapa conceitual sobre o assunto aumenta o entendimento, e explicar oralmente também” (Jaqueline).</p> <p>“Gostei das atividades experimentais (mola maluca, etc.), pois elas ilustraram os conteúdos com materiais utilizados no nosso dia-a-dia. As atividades de gravação de áudio também foram muito interessantes, pois muitas vezes não sabemos nos expressar na escrita tão bem quanto na fala, então isso contribuiu para que pudéssemos mostrar o que realmente tínhamos aprendido e de uma forma bem direta” (Janaína).</p> <p>“Mapas conceituais (agora aplico em apresentações/aulas que dou, para organização e síntese de conceitos); prática do primeiro dia, a mais dinâmica de todas (com questões de Óptica/Eletromagnetismo, bem aplicável ao ensino médio)” (Marta).</p>
18	<p>“Apresentação, ‘fobia de publico’” (Marcelo).</p> <p>“Grande numero de mapas conceituais, poderia ser menos e mais detalhado” (Marcelo).</p> <p>“Tudo foi válido” (Morgana).</p> <p>“Alguns mapas conceituais e o programa Modellus. Achei alguns mapas conceituais cansativos e o programa de modelagem não acrescentou conhecimento” (Jaqueline).</p> <p>“Gostei de todas as atividades, ajudaram muito no meu aprendizado” (Janaína).</p> <p>“Fazer as gravações foi uma atividade um tanto quanto mais tensa, mas não posso dizer que foi totalmente ruim” (Marta).</p>
19	<p>“Aula no método tradicional, professor explicando” (Marcelo).</p> <p>“Simulações” (Marcelo).</p> <p>“Demonstrações em aula, explicações da pesquisadora” (Morgana).</p> <p>“A explicação da pesquisadora” (Jaqueline).</p> <p>“A elaboração dos mapas conceituais foram o que mais estimularam a minha compreensão e interesse pelo assunto. Foi uma forma de resumir dinamicamente o conteúdo trabalhado, garantindo uma boa memorização do mesmo” (Janaína).</p> <p>“Os mapas, por permitirem uma síntese do conteúdo” (Marta).</p>
20	<p>“Sim, quanto às partículas subatômicas e o surgimento delas no núcleo do átomo, acredito que seja algo que eu deva pesquisar mais” (Marcelo).</p> <p>“Detectores de radiação, não ficou claro do uso do mesmo” (Morgana).</p> <p>“Não tive maiores dificuldades” (Jaqueline).</p> <p>“Como já comentado tive dificuldade em entender de verdade o conceito de decaimento de um átomo (o conceito de meia-vida em si foi compreendido imediatamente, mas outros raciocínios dentro do mesmo assunto foram mais complicados” (Marta).</p>
21	<p>“Gostei muito das atividades, foram bastante originais, eu nunca havia trabalhado com mapas conceituais e com as situações-problema” (Janaína).</p> <p>“Achei a estratégia boa” (Jaqueline).</p> <p>“Parece-me perfeito pois foi abordado várias técnicas e estudamos Física Moderna considerando os conhecimentos significativos, ou seja, todos possuem pessoas em nossas volta que já realizaram exames médicos dos quais estudamos” (Marcelo).</p> <p>“Achei uma boa abordagem. Assistir a uma aula simplesmente e fazer atividades que sejam muito mecânicas (como uma lista com questões objetivas) nem sempre exercita ou serve como bom exercício de fixação quanto atividades mais complexas (como a construção de mapas conceituais)” (Marta).</p> <p>“Os conteúdos foram bem trabalhados, explicados sempre que necessário” (Morgana).</p>
22	<p>“Acho que uma retomada nos princípios de funcionamento de equipamentos elétricos e eletrônicos poderia enriquecer mais o material” (Marcelo).</p> <p>“Acredito que ao término poderíamos ter uma mostra do que existe de Física Moderna além do que foi comentado, motivando a prosseguir os estudos” (Marcelo).</p> <p>“Está bom” (Morgana).</p> <p>“Achei o matéria muito bem organizado e claro” (Jaqueline).</p> <p>“Gostei muito do apoio do material, a linguagem simples auxiliou para a compreensão dos objetos de estudo” (Janaína).</p> <p>“Senti falta de ter todas as apresentações para acompanhar as aulas, mas só” (Marta).</p>
23	<p>“Gostei muito da ajuda que a pesquisadora Mara prestou para que eu pudesse aprender mais e melhor. O curso está realmente muito bom, correspondeu às minhas expectativas” (Janaína).</p> <p>“O certo é momentum e não momento. E o plural é momenta.</p> <p>Para o português fica quantidade de momentum” (Morgana).</p> <p>“Querida apenas parabenizá-la pelo curso e dizer que aprendi muito com ele, principalmente vendo aplicações dos estudos mais contemporâneos da Física. Na escola e no próprio curso de Licenciatura acabamos sempre estudando muito mais de clássica, esquecendo que o que vem sido descoberto também vem sendo aplicado no dia-a-dia e, como os outros conceitos, merece e deve ser abordado em sala de aula” (Marta).</p>

Para buscar indícios de se os conteúdos de Óptica, Eletromagnetismo, Física Moderna e Contemporânea podem ser utilizados na Física aplicada à Medicina e se essa aplicação facilitaria a

compreensão, foram utilizadas as respostas das questões: 1, 2, 3, 4, 5, 13, 20 e 22 do APÊNDICE G- Análise das aulas.

Quatro alunos afirmaram que o material possui metodologias/recursos adequados à compreensão e que explica com clareza os conteúdos. Todos os alunos responderam que o material possui uma linguagem clara e objetiva.

A maioria dos alunos afirmou que antes da aplicação da proposta não sabiam sobre os conteúdos abordados no curso. Apenas um dos alunos respondeu que conhecia parcialmente sobre os assuntos abordados.

A maioria dos alunos escreveu que, às vezes, apresentaram dificuldades na compreensão dos conteúdos. Na questão 20 comentaram que apresentaram dificuldades nos seguintes tópicos: decaimento radioativo (2) e detectores de radiação (1).

Na questão 22, foram fornecidas três sugestões muito interessantes: 1º) retomar os princípios de funcionamento dos equipamentos elétricos e eletrônicos; 2º) mostrar, brevemente, os conhecimentos de Física Moderna e Contemporânea que não foram estudados, com o intuito de instigar a continuação dos estudos; 3º) entregar as apresentações para os alunos acompanharem durante o curso.

Conclusões:

- as metodologias/recursos utilizados no curso facilitam a aprendizagem significativa;
- o material é suficientemente detalhado, possuindo uma linguagem clara e objetiva;
- os conteúdos abordados eram pouco conhecido pelos alunos, justificando a dificuldade mencionada por eles;
- deve-se enfatizar mais, nas aulas, o decaimento radioativo e os detectores de radiação;
- detalhar mais a parte elétrica e eletrônica dos equipamentos estudados;
- mostrar, na última aula, alguns conhecimentos de Física Moderna e Contemporânea que não foram estudados, com o intuito de instigar a continuação dos estudos;
- entregar as apresentações para os que os alunos possam usá-las para acompanharem o curso.

Para buscar indícios de quais abordagem (ns) e estratégia(s) são mais facilitadoras da aprendizagem significativa da Física aplicada à Medicina, foram analisadas as questões: 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21 e 23 do APÊNDICE G- Análise das aulas.

Todos os alunos responderam que os exemplos, os exercícios e as várias atividades diferenciadas facilitaram o entendimento do assunto. Apenas um dos alunos mencionou que a dimensão do material às vezes foi satisfatória, justificando tal afirmação como se pode ver na Tabela 38. Um dos alunos respondeu que às vezes a aparência do material estava boa, mas não justificou. Todos consideraram que as imagens presentes no material ajudaram a compreensão dos conteúdos. Dois alunos consideraram que era possível a implementação do material no Ensino Médio e três alunos consideraram que poderiam aplicar o material, mas apenas em alguns casos, como se pode ver na Tabela 38.

Uma aluna mencionou que a quantidade de mapas não foi agradável de fazer, enquanto que os demais gostaram de todas as dinâmicas e colocaram que essas lhes oportunizaram que entendessem bem o conteúdo e que foram explicadas com clareza.

As atividades mais citadas pelos alunos como as de que mais gostaram foram: 1º) mapas conceituais (4); 2º) gravar as situações-problema (3); 3º) atividades experimentais (2); 4º) reconciliação integradora (1); 5º) feedback dos erros (1); 6º) apresentação oral (1). Como os alunos podiam colocar mais de uma atividade, a soma das respostas ultrapassa o número de alunos.

Na questão 18, as atividades mais citadas pelos alunos como as de que menos gostaram foram: 1º) mapas conceituais (2); 2º) apresentação (1); 3º) programa Modellus (1); 4º) gravar as situações-problema (1).

Na questão 19, foi solicitado aos alunos que colocassem quais foram as atividades que eles achavam que mais lhes haviam proporcionando a compreensão dos conteúdos. Essas atividades

foram: 1º) explicação da pesquisadora (3); 2º) mapas conceituais (2); 3º) demonstrações (1); 4º) simulações computacionais (1).

Na questão 21, todos os alunos se posicionaram positivamente em relação à estratégia utilizada em sala de aula, citando a importância de serem utilizadas várias metodologias, assim como Moreira (2005, p. 13) propõe.

Na última questão, dois alunos elogiaram o curso. Uma das alunas apontou um equívoco na fala da pesquisadora, que havia falado movimento ao em vez de momentum, o que forneceu indícios de criticidade pela aluna, o é positivo.

Conclusões:

- os exemplos, os exercícios e as várias atividades diferenciadas facilitaram o entendimento do assunto;
- para facilitar a aprendizagem significativa deve ser mais explicada a parte eletrônica dos equipamentos;
- para facilitar a aprendizagem significativa, deve ser mais utilizado a Física Quântica envolvida no funcionamento dos equipamentos;
- o uso de imagens facilita a aprendizagem significativa;
- diminuir a quantidade de mapas conceituais, ou aumentar o tempo para sua construção;
- ampliar o tempo de curso;
- as explicações foram feitas com clareza;
- todos os alunos pensam que é possível implementar o assunto no Ensino Médio, embora alguns pensem que isso seja apenas possível parcialmente;
- as várias estratégias de ensino facilitaram a compreensão dos conteúdos;
- os mapas conceituais, as gravações de situações-problema, as explicações da pesquisadora, foram as metodologias que os alunos mais destacaram como promotoras de aprendizagem;
- continuar utilizando várias metodologias em aula uma vez que foram encontrados indícios de que essas facilitam a aprendizagem pelos alunos.

5.4.10 Mudanças necessárias

A partir da análise dos diferentes instrumentos pode-se inferir as seguintes mudanças necessárias:

- o que aconteceria se tivessem sido fornecidos aos alunos conceitos, para que eles fizessem os mapas conceituais (atividade à distância) a partir de tais conceitos?
- diminuir a quantidade de mapas conceituais ou ampliar o tempo de aplicação do curso;
- inserir mais a parte elétrica e eletrônica dos equipamentos;
- utilizar mais Física Quântica no material, de modo a utilizar a Física aplicada à Medicina para dar mais sentido a tais conceitos;
- utilizar mais atividades experimentais;
- diminuir o tempo de aplicação para cada aula;
- buscar ministrar o curso em uma disciplina regular para evitar a desistência;¹⁷
- para ajudar o aluno a se tornar um sujeito ativo de seu processo de construção de conhecimentos, ou seja, a aprender a aprender, propor que façam, através de pesquisas, apresentações sobre alguns temas, sobre os quais possuam curiosidade, sendo necessário, para isso, ampliar o tempo de aplicação do curso.

¹⁷ Houveram várias desistências nesta aplicação. Todos justificaram afirmando que não foi possível frequentar mais o curso devido a surgimento de outras atividades no sábado, ou no âmbito da disciplina, para os alunos de Licenciatura em Física, ou no âmbito da docência, para professores de Física que haviam iniciado o curso.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo, inicialmente, foram retomadas a importância dos referenciais, os obstáculos e avanços encontrados na pesquisa. Posteriormente, foram abordadas as questões de pesquisa e apresentadas as respostas encontradas para elas, fundamentadas na metodologia de pesquisa (Capítulo 4), nos dados coletados e nas suas análises (Capítulo 5). Na sequência, serão colocadas perspectivas para continuação do presente trabalho.

Utilizou-se os referenciais de aprendizagem tanto na construção do material, quanto na aplicação das quatro implementações do curso. Foi indispensável a utilização dos referenciais de aprendizagem principalmente, para incentivar a crítica entre os alunos e favorecer a construção de aprendizagem significativa, associando os conceitos que estão interligados, ou seja, que estão no mesmo Campo Conceitual.

Ao longo da pesquisa encontrou-se vários obstáculos. O tempo para aplicação da pesquisa era limitado, as pessoas possuíam limitações de tempo para participarem ativamente do curso, o que causou turmas que possuíam pequeno número de alunos e várias desistências o que impossibilitou a utilização de uma análise estatística mais ampla e aprofundada. Outro problema relacionou-se a infraestrutura dos locais onde foi aplicado as implementações do curso. Em algumas implementações não havia a infraestrutura necessária para fazer algumas atividades que utilizavam novas tecnologias, o que prejudicou a implementação.

Os quatro grupos não foram comparados através de métodos quantitativos, pois houveram muitas diferenças nas implementações do curso. Inclusive, na segunda implementação, não foram ensinados aos alunos todos os conteúdos propostos no apêndice M. Além disso, os alunos ingressantes, em cada aplicação, possuíam características muito diferentes, impossibilitando a comparação estatística entre os mesmos. Inicialmente havia uma expectativa diferente, tinha-se como objetivo ministrar aulas simultaneamente, para grupos semelhantes e homogêneos, escolhidos aleatoriamente, de modo a ter um estudo experimental, o que não foi possível.

Para ser respondida à primeira questão de pesquisa foram utilizados os resultados das análises: 1) das observações feitas das aulas; 2) da avaliação das implementações do curso (Capítulo 5); 3) as etapas 1 a 6 da metodologia, contidas na seção 4.3.

Primeira pergunta:

a) Como organizar e implementar um curso, utilizando equipamentos médicos para ensinar Física, tendo como fundamentação a Teoria de Aprendizagem Significativa de Ausubel (Ausubel, 2002), a Teoria de Aprendizagem Significativa Crítica (Moreira, 2005), a Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud (1990) e a Epistemologia de Toulmin (Toulmin, 1977) de modo a favorecer a aprendizagem significativa dos conteúdos envolvidos?

Respostas, sugestões, aspectos a considerar

- Dividir o curso conforme o número de aulas disponíveis. Iniciá-lo e terminá-lo com testes com o intuito de buscar indícios de aprendizagem significativa¹⁸ nos alunos. Antes do início do curso também deve ser aplicado um teste com o objetivo de buscar os conhecimentos prévios dos alunos.

- Sugere-se que cada aula possua a seguinte sequência: a) iniciar com um organizador prévio; b) apresentar uma situação-problema cuja solução deve ser, preferencialmente, gravada em áudio pelos alunos do curso, para o professor buscar indícios de aprendizagem significativa, identificar pontos a melhorar na abordagem didática e explicitar invariantes operatórios; c) aula expositiva dialogada intercalada com atividades diferenciadas, tais como debates, atividades experimentais, confecção de mapas conceituais, simulações computacionais, apresentação pelos alunos e críticas feitas pelos demais em relação ao trabalho desenvolvido por eles; d) gravar novamente as discussões feitas pelos alunos relativas a situação-problema apresentada no início da aula.

- Fazer encontros que não ultrapassem 4 horas por dia, pois tornam-se cansativos.
- Fazer: a) extensa revisão bibliográfica em periódicos da área de ensino de ciências para elaboração do curso; b) estudo de materiais alternativos para a confecção daqueles que serão utilizados no curso; c) elaboração de sugestões de atividades educacionais; d) organização de entrevistas semiestruturadas, pré-testes e pós-testes; e) cálculo da fidedignidade dos testes quantitativos; f) validação de conteúdo dos testes.
- Começar e terminar as atividades na mesma aula, a não ser que os encontros sejam próximos.
- Explicar e colocar os assuntos de reflexão, refração e absorção para facilitar a compreensão dos equipamentos propostos para a aula.
- Utilizar situações-problema e não apenas perguntas no início e final das aulas.
- Utilizar junto com as atividades experimentais as simulações computacionais de modo complementar.
- Fazer mapa conceitual no final de cada aula (reconciliação integradora).
- Propor questões para orientar a utilização das simulações computacionais.
- Fazer apresentação para explicar todo o conteúdo antes de fazer as leituras orientadas e os estudos em grupo.
- Detalhar o material, pois quanto mais detalhado, maiores poderão ser os indícios de aprendizagem significativa.
- Deixar o funcionamento dos equipamentos médicos com papel secundário.
- Utilizar testes curtos, para que os alunos utilizem pouco tempo de aula para respondê-los.
- Fazer mapas conceituais evolutivos, para perceber se houve indícios de aprendizagem significativa.
- Gravar todas as discussões e apresentações para buscar invariantes operatórios.
- Discutir os assuntos com os alunos, de modo a buscar tornar os invariantes operatórios, que são implícitos, explícitos.
- Em cada aula propor, pelo menos, uma situação-problema no início e no final.
- Utilizar poucas questões no final dos textos contidos no material de apoio, para diminuir o tempo necessário para os alunos as resolverem, possuindo, dessa forma, mais tempo para a implementação do curso.
- Solicitar que, junto com o mapa conceitual, os alunos coloquem as explicações deles ou pedir para que eles as apresentem oralmente.
- Estipular tempo limite para as atividades em grupo.

¹⁸ O termo *indícios de aprendizagem significativa*, ou *evidências de aprendizagem significativa*, está sendo usado de um ponto de vista pessoal, subjetivo, interpretativo, ou seja, aquilo que a pesquisadora julga ser indicador dessa aprendizagem em uma perspectiva de progressividade, de início de aprendizagem significativa.

- Montar mais do que uma atividade, para que os alunos que façam uma atividade mais rápido do que os outros não fiquem ociosos. Por exemplo, junto com as atividades experimentais deixar exercícios optativos para serem feitos, principalmente, por aqueles que terminarem estas atividades antes.

- Explicar detalhadamente as partes constituintes de um mapa conceitual, como por exemplo, o que são conceitos, ligações e quais são os tipos de ligações.

- Explicar o que se espera do mapa conceitual e as formas como eles serão avaliados.

- Colocar conceitos fundamentais de cada assunto no material de apoio.

- Oportunizar aos alunos que refaçam as atividades.

- Dar *feedback* aos alunos dos seus erros e acertos, para que eles saibam os pontos que precisam melhorar.

- Como cada aluno tem seu próprio ritmo de aprendizagem, pedir para que façam alguns mapas conceituais extraclasse e os entreguem antes do último encontro, para que seus resultados possam ser discutidos com o grande grupo na última aula.

- Analisar tais atividades antes do último encontro, fazendo uma ficha com as dificuldades que os alunos apresentam e discuti-las com cada aluno individualmente. Buscando, desta forma, elucidar os equívocos que os alunos apresentam antes de responderem os pós-testes, através de uma entrevista semiestruturada.

- Solicitar que os alunos escrevam as respostas às perguntas antes das simulações computacionais, feitas ao longo do curso, para confrontarem com o que será observado, posteriormente na simulação.

- Fornecer exemplos, exercícios, imagens, pois estes facilitam o entendimento dos assuntos.

- Utilizar várias estratégias de ensino, porém curtas (no máximo duas horas).

- Solicitar que os alunos construam em torno de 5 mapas conceituais, para 40 horas de aplicação curso.

- Incentivar que os alunos, que forem também professores, trabalhem os conteúdos de Física aplicada à Medicina em suas aulas e avaliem a aprendizagem dos alunos, no sentido de buscar indícios de aprendizagem significativa.

- Proporcionar momentos de exposições orais e discussões.

Para ser respondida a segunda pergunta foram utilizados: 1) descrição das aulas; 2) análise mapas conceituais; 3) análises das situações-problema; 4) resultados obtidos a partir das respostas dos alunos nos pré-testes e pós-testes; 5) as entrevistas; 6) análise do questionário qualitativo (quando este foi aplicado antes e após a realização do curso).

Segunda pergunta:

b) A utilização de situações da Medicina facilita a compreensão de conceitos de Óptica, Eletromagnetismo, Física Moderna e Contemporânea pelos alunos?

Respostas:

Através das observações feitas durante o curso e através dos materiais aplicados (apêndices L e M), pode-se inferir que há a possibilidade de utilizar significativamente conceitos de Óptica, Eletromagnetismo, Física Moderna e Contemporânea na Física aplicada à Medicina.

Tais conceitos podem ser utilizados não apenas com os professores do Ensino Médio ou estudantes de Licenciatura, mas, como foi visto na seção 5.2.8, também é possível a aplicação do material, embora de modo mais detalhado, com mais tempo de aplicação e negociando mais significados, com alunos de Ensino Médio. Como tais conclusões estão baseadas em apenas uma aplicação é necessário fazer um estudo mais aprofundado neste nível de ensino, para encontrar as

melhores formas de aplicar a proposta no Ensino Médio. Entretanto, a presente pesquisa sugere que tal aplicação é possível.

Para ser respondido se esta aplicação facilita a compreensão dos alunos, foram apontados os indícios de aprendizagem significativa encontrados no Capítulo 5.

Foi constatado na seção 5.1.33, que 10 dos 16 mapas conceituais feitos pelos alunos do primeiro grupo possuem maior ênfase nas implicações do tipo sistêmica, ou seja, a maioria dos mapas não são essencialmente explicativos, mas sim apresentam caráter descritivo, não fornecendo indícios de aprendizagem significativa.

Na análise do respondido pelos alunos na seção 5.1.6 (questões qualitativas), não foram encontrados indícios de aprendizagem significativa. Portanto, houve a necessidade de reformular as questões transformando-as em situações-problema e gravar as respostas dos alunos ao invés de solicitar que escrevessem, estimulando, para tanto, as discussões em grupos.

Através do diário de bordo pode-se perceber algumas evidências de aprendizagem significativa. Alguns alunos quando solicitados para explicarem como são produzidos os Raios-X, o fizeram corretamente, por vezes, relacionando sua produção com os equipamentos que os utilizam.

Foi solicitado aos alunos que, em grupos, explicassem sobre: 1) efeito fotoelétrico, efeito Compton, produção e aniquilação de pares; 2) efeitos químicos, biológicos, físicos e orgânicos e unidades de medidas das radiações e suas relações; 3) exposição natural e efeitos biológicos das radiações ionizantes e 4) o equipamento de Raios-X convencional e da mamografia. Os alunos conseguiram explicar corretamente, claramente e detalhadamente os três primeiros tópicos, mas não foram capazes de explicar o último. Mostraram compreender o porquê do nome da RMN e quais são as vantagens e desvantagens da RMN em relação aos outros equipamentos estudados.

Através da análise dos pré-testes e pós-testes do grupo 1, foi possível inferir aprendizagem significativa, em média, em 21.7 questões a mais no pós-teste do que apresentaram no pré-teste.

Pode-se concluir, portanto, que apenas houve evidências de aprendizagem significativa, na primeira aplicação do curso, através do diário de bordo e na comparação entre o pré-teste e o pós-teste. Nos outros instrumentos não houve indícios de aprendizagem significativa.

Foi constatado, na seção 5.2.4, que 12 dos 16 mapas construídos pelos alunos, na segunda aplicação, possuíam hierarquia, fornecendo possíveis indicadores de aprendizagem significativa por estes mapas conceituais.

Quando analisada a quantidade de conceitos, que os alunos colocaram em seus mapas conceituais, em relação a uma lista pré-determinada de conceitos, apenas um grupo colocou no mapa conceitual mais da metade dos conceitos presentes na lista, os demais colocaram menos conceitos. Este fato sugere que os alunos deram significados a apenas alguns dos conceitos abordados.

Dois dos três mapas que apresentaram detalhamento eram essencialmente explicativos e não descritivos. Dos demais, havia apenas um que possuía como característica principal ser estrutural e, portanto, apresentava indícios de aprendizagem significativa.

Através da análise do que os alunos, da segunda aplicação, falaram para buscar resolver as situações-problema, pode-se perceber que eles, mesmo depois do curso, mantiveram várias ideias errôneas. Como pode-se ver na tabelas 14 e 15, os grupos 1 e 3 tiveram pontos que podem ser indicadores de aprendizagem significativa, enquanto que o grupo 2 não forneceu indícios de aprendizagem nem mecânica nem significativa.

Através da análise dos pré-testes e pós-testes, do grupo 2, foi possível inferir aprendizagem significativa pelos alunos, na média, em oito questões, que foram as que os alunos responderam corretamente no pós-teste e que não haviam sido assim respondidas no pré-teste.

Pode-se concluir, portanto, que houve indícios de aprendizagem significativa, na segunda aplicação do curso, em todos os instrumentos usados: diário de bordo, em algumas respostas dadas as situações-problema, em alguns mapas conceituais e em algumas questões do pré-teste e pós-teste. Porém houve casos em que isso não aconteceu.

Na terceira aplicação, dos 33 mapas confeccionados 27 possuem uma hierarquia que sugere um indício de aprendizagem significativa.

Comparando os conceitos dos mapas construídos pelos alunos com uma relação de conceitos considerados relevantes para o entendimento dos aparelhos, conclui-se que apenas um mapa conceitual teve mais do que a metade dos conceitos listados como relevantes, o que indica que os alunos aprenderam significativamente apenas alguns conceitos.

A maioria dos mapas apresentam, predominantemente, implicações do tipo sistêmica e direta. Dessa forma, dos 33 mapas feitos, 24 apresentam mais descrições do que explicações o que não forneceu indícios de aprendizagem significativa na maioria dos mapas conceituais entregues.

Por outro lado, dos 6 mapas que foram refeitos, cinco pareceram fornecer tais indícios, pois aumentou o número de conceitos considerados relevantes e as palavras de ligação entre dois deles foram predominantemente estruturais.

Através da análise do que os alunos falaram para buscar resolver as situações-problema, pode-se perceber que eles inicialmente pouco sabiam sobre os assuntos trabalhados no curso e que a partir da aplicação eles melhoraram seus conhecimentos e apresentaram evidências de aprendizagem significativa, embora alguns grupos ainda apresentassem equívocos, conforme foi visto na seção 5.3.5 Análise de situações-problema.

Através da análise dos pré-testes e pós-testes do grupo 3 foi possível inferir aprendizagem significativa pelos alunos, em média, em oito questões a mais no pós-teste do que apresentaram no pré-teste.

Nesta aplicação, ao contrário das aplicações 1 e 2 houve mais indícios de aprendizagem significativa. Acreditamos que isto se deve às mudanças feitas (seções 5.18 e 5.29) entre estas aplicações, maior tempo de aplicação, maior especificidade do material e maior maturidade da pesquisadora.

Pode-se concluir, portanto, que houve indícios de aprendizagem significativa, na terceira aplicação do curso, em todos os instrumentos usados: diário de bordo, algumas respostas as situações-problemas, em alguns mapas conceituais e em algumas questões do pré-teste e pós-teste. Contudo, como no caso da segunda aplicação, nem sempre isso aconteceu.

Na aplicação 4, através do diário de bordo, visto na seção 5.4.1, pode-se inferir que os alunos relacionaram corretamente a energia e a frequência com o comprimento de onda. Identificaram corretamente que as radiações mais perigosas para os seres humanos são os Raios-X e os raios gama, fornecendo indícios de aprendizagem significativa nestes pontos.

Como visto na seção 5.4.1 também houve várias perguntas aprofundadas, utilizando relações entre os conceitos apresentados, o que sugere indícios de aprendizagem significativa. Um exemplo de questão que fornece indícios de aprendizagem significativa foi: “Há possibilidade de pensar o efeito fotoelétrico em termos de ondas? Se há, posso pensar que se o elétron possui uma onda associada a ele, quando encontra uma onda com frequência similar ou igual ocorre ressonância e por isso o elétron é arrancado?” (Marcelo).

Observando a tabela 29, pode-se também perceber que houve indícios de aprendizagem significativa, em comparação ao que os alunos responderam antes e após o curso, no questionário qualitativo.

Na tabela 31, por sua vez, percebe-se que há mais mapas que possuem hierarquia do que mapas que não a possuem. O que forneceu indícios de aprendizagem significativa em 46 dos 48 mapas conceituais, antes das correções, e por 24 dos 26 mapas corrigidos pelos alunos.

Pode-se observar, nessa mesma tabela, que na primeira versão do mapa conceitual, sete deles possuem metade ou mais dos conceitos que foram considerados relevantes. Na segunda versão também houve sete mapas com metade ou mais de conceitos considerados relevantes, embora o número de mapas entregues tenha sido menor. Estes dados sugerem que os alunos aprenderam significativamente apenas alguns dos conceitos abordados. Quer dizer, em termos de hierarquizar

conceitos os resultados foram satisfatórios, em termos de distinguir os mais relevantes. A hierarquia estabelecida pelos alunos nem sempre corresponde à relevância dos conceitos no contexto do curso.

Através da tabela 32, observa-se que dos mapas confeccionados houve apenas um (antes da correção) que apresenta como característica principal a implicação local. Cinquenta e dois mapas conceituais (sendo destes 16 depois das correções) apresentam como característica principal a implicação sistêmica. Vinte e um mapas (sendo dez depois da correção) têm como característica principal a implicação estrutural.

Estes dados nos indicam que dos 74 mapas feitos, 53 apresentam mais descrições do que explicações e 21 mapas apresentam mais explicações do que descrições, o que não fornece evidências de aprendizagem significativa na maioria dos mapas conceituais entregues, utilizando tal critério.

Entretanto, ao serem observados os mapas feitos antes e depois das correções, percebe-se que nenhum diminuiu o número de ligações, dez permaneceram com o mesmo número de ligações do tipo estrutural e 16 mapas apresentaram mais ligações do tipo estrutural depois da correção do mapa conceitual. Estes fatos fornecem indícios de progressão na aprendizagem significativa em 16 dos 26 mapas que foram reentregues, em relação a esse critério.

Novamente, nessa quarta aplicação, através das análises do que os alunos falaram para buscar resolver as situações-problema, pode-se perceber que inicialmente pouco sabiam sobre os assuntos trabalhados no curso e que a partir da aplicação eles melhoraram seus conhecimentos. A maioria das gravações, como pode-se ver na seção 5.4.6, análise das situações-problema, apresentam indícios de aprendizagem significativa devido ao tratamento dado.

Através da análise dos pré-testes e pós-testes do grupo 4 foi possível inferir aprendizagem significativa pelos alunos em 15 questões, que foram as que eles acertaram a mais no pós-teste. Observa-se, a partir das análises das respostas, que os alunos sabiam muito pouco referente aos conteúdos trabalhados durante a primeira parte do curso. Depois da aplicação do curso, através da análise do pós-teste, percebe-se que houve uma melhora significativa por todos os alunos, como se pode ver na tabela 38.

As entrevistas foram utilizadas, principalmente, para buscar explicitar os invariantes operatórios, para compreender o que os alunos entendiam de alguns pontos que ficaram duvidosos na análise dos dados coletados e para elucidar outros que eles apresentaram dificuldades, de modo a potencializar a aprendizagem significativa; para isso foi feita uma ficha para cada aluno.

Pode-se observar na seção 5.4.8, entrevistas, os indícios de aprendizagem significativa, obtidos através das entrevistas de cada aluno e os pontos em que eles não apresentaram tais indícios.

O quarto grupo foi o que mais se destacou, em relação a apresentar tais indícios. Entretanto, alguns alunos evidenciaram mais aprendizagem significativa do que outros. Essas diferenças no aprendizado parecem estar relacionadas principalmente à intensidade da participação em sala de aula, aos conhecimentos prévios anteriores ao curso e ao cansaço. Por exemplo, a aluna Daiane (*nome fictício*), vinha de uma cidade do interior do estado, pegava ônibus de madrugada para chegar no horário do curso e por isso ficava bastante sonolenta durante o mesmo.

Pode-se concluir, portanto, que houve evidências de aprendizagem significativa, na quarta aplicação do curso, em todos os instrumentos usados: diário de bordo, em alguns mapas conceituais, em algumas respostas das entrevistas, das situações-problema, do questionário qualitativo e em algumas questões do pré-teste e do pós-teste.

Entre as primeiras aplicações do curso e a quarta houveram muitas diferenças quanto à implementação, o que impossibilita a realização de comparação por estatística inferencial. Entretanto, entre a terceira e quarta aplicação houveram poucas diferenças: 1) entrevista; 2) o teste qualitativo e o posterior *feedback* da pesquisadora em relação ao teste, fornecendo a oportunidade dos alunos o refazerem e reentregarem. Dessa forma, a principal diferença entre as duas aplicações foi que na quarta houveram mais *feedbacks*, pois na terceira apenas houve *feedback* nos mapas conceituais. As características iniciais dos grupos também eram similares, como se pode ver nas

seções 5.3.1, 5.4.1 e 5.4.7. A partir disto foi feita análise de variância para confirmar a importância da recursividade. O resultado desta análise, seções 5.3.6, 5.4.7, indicam que a recursividade aumentou a aprendizagem significativa.

Terceira pergunta:

A partir da primeira, segunda e terceira fases da metodologia (seção 4.3), foi respondida a terceira questão de pesquisa:

c) Quais são os conceitos que podem ser utilizados para dar sentido à Ultrassonografia, a produção de radiação, a interação da radiação com a matéria, Mamógrafo e no aparelho de Raios-X convencional, Imagem radiográfica, Fluoroscopia, Radioterapia, Detectores, Tomografia, Ressonância Magnética Nuclear e Medicina Nuclear?

Respostas:

Entende-se que a lista de conceitos a seguir pode ser ampliada, mas estes foram os conceitos utilizados no curso que foi implementado e que foram necessários para compreender os equipamentos propostos no nível da presente pesquisa.

Ultrassonografia: ondas longitudinais, ondas de ultrassom, ondas eletromagnéticas, ondas mecânicas, energia, frequência, comprimento de onda, campo magnético, campo elétrico, elétron, polarização, próton (número atômico), absorção, corrente elétrica, camadas eletrônicas, molécula, polarização, campo magnético variado, eletrosfera, densidade, impedância acústica, velocidade, pressão, força, área, reflexão, refração e fóton.

Produção de radiação: ondas eletromagnéticas, energia, frequência, comprimento, elétron, próton (número atômico), nêutron, ionização, atração, repulsão, força nuclear forte, fraca e elétrica, pósitron, matéria e antimatéria, radiação, absorção, fóton, radioatividade, camadas eletrônicas, momento, massa, velocidade, núcleo, eletrosfera, partícula, corrente elétrica, voltagem e aniquilação de pares.

Interação da radiação com a matéria: ondas eletromagnéticas, energia, frequência, comprimento, elétron, próton (número atômico), ionização, pósitron, matéria e antimatéria, radiação, absorção, espalhamento, emissão de radiação, corrente elétrica, voltagem, fóton, camadas eletrônicas, momento, massa, velocidade, eletrosfera, densidade, trabalho, energia cinética, aniquilação e produção de pares, efeito fotoelétrico e Compton.

Mamógrafo e no aparelho de Raios-X convencional: cátodo, anodo, energia, voltagem, corrente elétrica, frenagem, número atômico, elétron, diodo, retificador, onda, campo magnético, onda eletromagnética, voltagem, ponto de fusão, velocidade, camada eletrônica, fótons, absorção, frequência, comprimento de onda, conservação de energia, transformação de energia, energia, número atômico (próton) e densidade.

Imagem radiográfica: corrente elétrica, carga, voltagem, cátodo, ânodo, elétron, velocidade, potência, gerador, retificador, corrente alternada, corrente contínua, prótons, campo elétrico, campo magnético, onda eletromagnética, filamento, energia, dose, tempo, Raios-X, fótons, efeito fotoelétrico, efeito Compton e produção de pares, densidade, absorção, chassi, chumbo, écran, camada eletrônica, luz, filme, claro, escuro e número atômico.

Fluoroscopia: corrente elétrica, resistência elétrica, carga, voltagem, potência, gerador, retificador, meios de contraste, sinal analógico, sinal digital, densidade, número atômico, voltagem, absorção, emissão, nêutrons, Raios-X, Raios gama, camada eletrônica, onda eletromagnética, decaimento radioativo, campo magnético, chumbo, filtro e colimador.

Radioterapia: corrente elétrica, resistência elétrica, carga, voltagem, potência, gerador, retificador, meios de contraste, sinal analógico, sinal digital, densidade, número atômico, voltagem, absorção, emissão, nêutrons, Raios-X, Raios gama, camada eletrônica, onda eletromagnética, decaimento radioativo, campo magnético, chumbo, filtro, colimador, atividade radioativa, meia vida da fonte radioativa e emissão nuclear.

Detectores: ionização, elétrons, corrente elétrica, voltagem, ondas eletromagnéticas, Raios-X, raios gama, radioatividade, efeito fotoelétrico, fotodiodo, camada eletrônica, laser, calor,

luz, cintilação, estado sólido, térmicos, óptico, gás, radioatividade, absorção e excitação elétrica.

Tomografia: efeito fotoelétrico, ondas eletromagnéticas, frequência, energia, comprimento de onda, fótons, absorção, corrente elétrica, ionizantes, elétrons, níveis energéticos, luz, TC, TC Helicoidal, Tomografia Linear, anel liso, anel deslizante, voltagem, corrente, tempo, dose, transformador, potência, gerador, retificador, ânodo, cátodo, filtro, blindagem, ionização, absorção e dispersão da radiação, voltagem, número atômico, excitação elétrica, Raios-X, colimador e ondas eletromagnéticas.

Ressonância Magnética Nuclear: radiofrequência, campo magnético, ressonância, spin, momento do spin, hidrogênio, nêutrons, prótons, elétrons, onda, frequência, comprimento, energia das ondas, antena, corrente elétrica, excitação eletrônica, fótons, nível energético de equilíbrio, momentum, densidade e luz.

Medicina Nuclear: energia, massa, velocidade, conservação de energia e do momento, raios gama, radiação beta, nêutron, próton, elétron, neutrino, antineutrino, força nuclear forte, força nuclear fraca, força elétrica, meia vida, radiofármacos, radioisótopos, molécula orgânica, aniquilação de pares e atividade radioativa.

Quarta pergunta:

d) Quais são alguns possíveis invariantes operatórios dos alunos em relação aos conteúdos que foram abordados no curso?

Resposta:

Os possíveis invariantes operatórios do grupo 1 encontram-se nas tabelas 7 e 8; do grupo 2, nas tabelas 14 e 15; do grupo 3, nas tabelas 22, 23, 24 e 25 e do grupo 4 na tabelas 33, 34, 35, 36 e 37.

Quinta pergunta:

e) Como tornar tais invariantes operatórios explícitos?

Resposta:

A alternativa encontrada para buscar tornar os invariantes operatórios encontrados explícitos, foi utilizar discussões individuais entre os alunos e a pesquisadora (entrevistas semiestruturadas). Tal estratégia foi utilizada na última aplicação do curso. Sua análise, descrita na seção 5.4.8, permitiu concluir que discussões individualizadas com os alunos, através de entrevistas semiestruturadas, facilitam a explicitação de conceitos implícitos. Também utilizou-se as apresentações dos alunos e posterior discussão das mesmas como estratégia para tornar os invariantes operatórios explícitos. Apesar disso, considera-se imprescindível encontrar outros métodos para buscar tornar os invariantes operatórios explícitos. Não é uma tarefa simples explicitar o conhecimento operatório implícito dos alunos.

Sexta pergunta:

f) Quais são os conhecimentos prévios dos alunos relativos aos conteúdos abordados no curso? Como utilizá-los de modo a facilitar a aprendizagem significativa?

Resposta:

Através da análise do questionário qualitativo (Apêndice D) e do teste objetivo (Apêndice E) foram identificados os conhecimentos prévios dos alunos. Os que foram identificados no grupo 1 encontram-se nas seções 5.1.2 e 5.1.4; do grupo 2, na seção 5.2.2, do grupo 3, na seção 5.3.2; e do grupo 4, nas seções 5.4.2 e 5.4.3.

Pode-se perceber que os alunos possuíam poucos conhecimentos prévios, sendo estes desvinculados e descontextualizados. Depois da aplicação do curso, pode-se notar que os alunos apresentaram uma maior contextualização dos conceitos.

O material de apoio escrito, Apêndice M, foi elaborado antes de serem coletados os conhecimentos prévios dos mesmos. Portanto, não foram levados em conta tais conhecimentos para a confecção do material supra referido, apenas aqueles encontrados na literatura. Isto ocorreu, porque, face ao tempo disponível para o desenvolvimento do projeto, a preparação do material de apoio não poderia esperar pelos alunos.

No entanto, estes conhecimentos prévios foram utilizados para dirigir o andamento das aulas, ou seja, os conhecimentos identificados nos alunos foram utilizados como subsunçores para ancorar os conhecimentos que iriam ser ensinados. Os conhecimentos que foram identificados que os alunos não possuíam subsunçores foram mais enfatizados e detalhados nas quatro implementações do curso.

Sétima pergunta:

g) A partir da análise dos mapas conceituais foi buscado responder: como se deve utilizar os mapas conceituais de modo a potencializar a aprendizagem significativa?

Respostas, sugestões e aspectos a considerar:

- é importante, para a análise dos mapas conceituais, que se gravem as explicações orais dos alunos;
- solicitar aos alunos que entreguem a explicação dos mapas conceituais por escrito, quando não for possível explicá-los verbalmente;
- é importante dar a oportunidade aos alunos de refazerem seus mapas conceituais, para que seja possível avaliar as modificações decorrentes da instrução e, dessa forma, buscar indícios de aprendizagem significativa e pontos que precisam ser enfatizados no decorrer da instrução;
- dar *feedback* para os alunos dos seus erros e acertos para que eles saibam os pontos que possuem dificuldades e possam se dedicar mais a eles, além de reduzir os equívocos;
- rever os assuntos de uma aula na próxima, recapitulando-os através de mapas conceituais;
- colocar para os alunos o que se espera dos mapas conceituais: 1) que eles enfatizem mais as explicações e menos descrições; 2) utilizem nos mapas conceituais apenas conceitos; 3) tenham uma hierarquia; 4) apresentar aos alunos uma lista de conceitos e dizer para eles utilizarem, pelo menos, tais conceitos para estruturar o mapa conceitual;
- é importante explicar, para os alunos, o que são conceitos;
- solicitar que os alunos confeccionem não mais do que um mapa conceitual por aula, pois senão a atividade fica cansativa, dificultando a aprendizagem significativa;
- é essencial diferenciar explicação de descrição, pois de acordo com Horwood (1988 apud Treagust, 2000) os alunos tendem a confundir ambos.

Oitava pergunta:

h) É possível implementar a proposta no Ensino Médio? Essa implementação facilita a compreensão dos alunos?

Respostas:

Na segunda implementação do curso, um dos alunos decidiu implementar uma parte da proposta em uma oficina no Ensino Médio.

Através da análise da seção 5.2.8, foi evidenciando que os alunos mostraram compreender a maioria dos assuntos depois da aplicação. Dessa forma, conclui-se que é possível utilizar os aspectos tratados no curso no Ensino Médio e que essa implementação facilita a compreensão dos alunos, conforme seção 5.2.8.1. Porém, houve a necessidade de utilizar uma linguagem mais simples e mais tempo para a aplicação (foi necessário o dobro do tempo utilizado na segunda implementação da proposta).

Como estas conclusões baseiam-se apenas em uma aplicação é necessário aprofundar a pesquisa neste aspecto, ou seja, na implementação da proposta no Ensino Médio.

Como característica geral das quatro implementações do curso, pode-se mencionar que o que os alunos sabiam antes do curso era geralmente descontextualizado, ou seja, às vezes sabiam os nomes, ou o que era, mas não sabiam relacionar tais conteúdos com aplicações. Muitas vezes, sabiam descrever, mas não sabiam explicar.

Com a aplicação das quatro oportunidades do curso, foram encontrados indícios de uma melhora na aprendizagem significativa dos alunos.

Os pontos listados, na sequência, ficam como perspectivas de continuação do trabalho:

1) Se for mais enfatizada, no curso, a parte elétrica e eletrônica dos equipamentos, haverá mais indícios aprendizagem significativa?

2) Se for utilizada, de forma mais aprofundada, a Física Quântica, Atômica e Nuclear no curso, de modo a utilizar a Física aplicada à Medicina para dar sentido a tais conceitos, facilitará a aprendizagem significativa destes?

3) Se forem utilizadas mais atividades experimentais, facilitará a aprendizagem significativa dos conceitos abordados no curso?

4) Implementando, na proposta, o método de projetos, facilitará que os alunos aprendam mais significativamente os conceitos abordados no curso?

5) Facilitaria a aprendizagem significativa fazer o curso com menos tempo em cada encontro, gerando, conseqüentemente, mais encontros?

6) Facilitaria a aprendizagem significativa aumentar a carga horária total do curso?

7) Como estimular a aplicação do ensinado na sala de aula?

8) Haverá mais indícios de aprendizagem significativa se forem dados aos alunos conceitos para eles fazerem os mapas conceituais a partir deles?

9) Quais são os organizadores prévios que melhor facilitariam a aprendizagem significativa do grupo na temática em questão?

10) Quais as diferenças que seriam encontradas se o curso fosse implementado em uma disciplina do currículo escolar regular?

O curso ministrado para professores da rede pública e para alunos de licenciatura em Física apresentou algumas similaridades em relação a conhecimentos prévios e as questões que os alunos afirmaram desconhecer. Contudo, os alunos do curso de licenciatura, em seus mapas conceituais e teoremas em ação, e nas análises das respostas em geral, parecem apresentar um melhor domínio conceitual. Este é um ponto que será melhor explorado na continuação do trabalho.

Cabe finalmente destacar que na presente pesquisa foram abordadas muitas questões e várias estratégias de pesquisa e de ensino. Tudo isso pode ter-lhe dado um caráter superficial. Mas se a mesma for encarada como um estudo exploratório, em uma área ainda pouco explorada, muitas portas podem ter sido abertas para futuras pesquisas.

REFERÊNCIAS

- AIZICZON, Beatriz; CUDMANI, Leonor. Ondas, Sonido y Audición: Ideas Previas de los Estudiantes em Ciências Médicas. **Caderno Brasileiro em Ensino de Física** [on-line], v. 24, n.3, p.360-399, nov. 2007. Disponível em: <<http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6242/5793>>. Acesso em: 02 de mar. 2010.
- ALMEIDA, Darcy Fontoura de. A Opção de Carlos Chagas Filho pela Física Biológica: Razões e Motivações. **História, Ciências, Saúde-Manguinhos**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 261-275, jun. 2008.
- ANDERSON, Jamie; DICARLO, Stephen E. “Virtual” Experiment for Understanding the Eletrocardiogram and the Mean Electrical Axis. **Advances in Physiology Education**, Washington, v. 23, n. 1, p. 204-209, maio 2000.
- ANDERSON, Janelle et al. Human Respiratory Mechanics Demonstration Model. **Advances in Physiology Education**, Washington, v. 33, n. 1, p. 53-59, maio 2009.
- ANDRÉ, Marli Elisa Dalmazo Afonso. **Etnografia da Prática Escolar**. São Paulo: Papirus Editora, 1988.
- ANDRÉ, Marli Elisa Dalmazo Afonso. **Estudo de Caso em Pesquisa e Avaliação Educacional**. Brasília: Liber Livro Editora Ltda, 2005.
- ARAÚJO, Ana Marina Teixeira; MENEZES, Crediné Silva de; CURY, Davidson. Apoio Automatizado à Avaliação da Aprendizagem Utilizando Mapas Conceituais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO, 14, 2003, Rio de Janeiro. **Anais**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2003, p. 287- 296.
- ARAÚJO, Ana Marina Teixeira; MENEZES, Crediné Silva de; CURY, Davidson. Um Ambiente Integrado para Apoiar a Avaliação da Aprendizagem Baseado em Mapas Conceituais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO, 13, 2002, Santa Maria. **Anais**. Santa Maria: UNISINOS, 2002, p.49-59.
- AUSUBEL, David Paul. **Retenção e Aquisição de Conhecimento: uma Perspectiva Cognitiva**. Lisboa: Plátano, 2002.
- AUTH, Milton Antônio et al. Prática Educacional Dialógica em Física via Equipamentos Geradores. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 12, n. 1, p.40-46, abr. 1995.

BONI, Valdete; QUARESMA, Sílvia Jurema. Aprendendo a Entrevistar: como fazer entrevistas em Ciências Sociais. **Revista Eletrônica dos Pós-Graduandos em Sociologia Política da UFSC**, Florianópolis, v. 2, n. 1, p.68-80, jul. 2005.

BORCK, Cornelius. Electricity as a Medium of Psychic Life: Electrotechnological Adventures into Psychodiagnosis in Weimar Germany. **Science in Context**, Londres, v. 14, n. 4, p. 565-590, dez. 2001.

BRASIL. Ministério da Educação. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Brasília, DF, 1996. p. 58.

BRAVO, Bettina M.; ROCHA, Adriana L. Los Modos de Conocer de los Alumnos Acerca de la Visión y el Color: Síntesis de Resultados. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias** [on-line], v. 7, n. 3, p. 582-596, set. 2008. Disponível em: <http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen7/ART5_Vol7_N3.pdf>. Acesso em: 02 de mar. 2010.

BUSHONG, Stewart C. **Manual de Radiologia para Técnicos**. 9º ed. Houston: Elsevier Mosby, 2007.

CAMPBELL, Donald. T.; STANLEY, Julian C. **Delineamentos Experimentais e Quase-Experimentais de Pesquisa**. São Paulo: EPU, 1963.

CAPPELLETO, Eliane. O Vê de Gowin Conectando Teoria e Experimentação em Física Geral: Questões Didáticas, Metodologias e Epistemológicas Relevantes ao Processo. Porto Alegre: UFRGS, 2009. 297 p. **Dissertação (Mestrado)**- Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

CAPPELETO, Eliane; PRESTES, Michely; SANTOS, Arion de Castro Kurtz dos. Concepções dos Estudantes sobre Radiações. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 11, 2008, Curitiba. **Anais**. Curitiba: UFPR, 2008, p. 1-12.

CARNEIRO, A. A. O.; FERREIRA, A.; MORAES, E. R.; ARAUJO, D. B.; SOSAZ, M.; BAFFA, O. Biomagnetismo: Aspectos Instrumentais e Aplicações. **Revista Brasileira de Ensino de Física** [on-line], v. 22, n. 2, p. 324-338, set. 2000. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v22_324.pdf>. Acesso em: 02 de mar. 2010.

CARROLL, Robert G. Cardiovascular Pressure-Flow Relationships: What Should be Taught? **Advances in Physiology Education**, Washington, v. 25, n. 2, p. 8-14, jul. 2001.

CAVALCANTE, Vera Lúcia. **Sistema Nacional de Averiguação de Eventos Radiológicos**. Rio de Janeiro: SLC, 2000.

CHAZAN, Lilian Krakowski. É... Tá Grávida Mesmo! E Ele é Lindo! A Construção de 'Verdades' na Ultrassonografia Obstétrica. **História, Ciências, Saúde-Manguinhos**, Rio de Janeiro, v. 15, n.1, p. 99-116, mar. 2008.

CHEW, Fiona; SCHMID, Judith Mandelbaum; GAO, Sue Kun. Can Health Journalists Bridge the State-of-the-Science Gap in Mammography Guidelines? **Science Communication**, Washington, v. 27, n. 3, p. 331-351, ago. 2006.

COSTA, Luciano Gonsalves; COSTA, Ana Paula Astrath. O Ensino de Física das Radiações na Formação de Auxiliares de Enfermagem e Atendentes de Consultórios Odontológicos: Sondagem

de Concepções sobre Raios-X com Enfoque na Prevenção e Tecnologia. **Ciência & Educação** [online], v. 8, n. 2, p. 161-165, jul. 2002. Disponível em: <<http://www2.fc.unesp.br/cienciaeducacao/viewarticle.php?id=194&layout=abstract>>. Acesso em: 02 de mar. 2010.

DANCEY, Christine P.; REIDY, John. **Estatística sem Matemática para Psicologia: Usando SPSS para Windows**. 3º ed. São Paulo: ARTMED, 2007.

DEBRU, Claude. Helmholtz and the Psychophysiology of Time. **Science in Context**, Londres, v. 14, n. 3, p. 471-492, dez. 2001.

DIMENSTEIN, Renato; JR., Amaury Castro; ROSSI, Guilherme. **Guia Prático em Medicina Nuclear: a Instrumentação**. 2º ed. São Paulo: Editora Senac, 2002.

DIMENSTEIN, Renato; NETTO, Thomaz Ghilardi. **Bases Físicas e Tecnológicas Aplicadas aos Raios-X**. 2º ed. São Paulo: Editora Senac, 2005.

DORNELES, Pedro. F. T.; Araújo, Ives. S.; VEIT, Eliane. A. Simulação e Modelagem Computacionais no Auxílio à Aprendizagem Significativa de Conceitos Básicos de Eletricidade. **Revista Brasileira em Ensino de Física**, São Paulo, v. 30, n. 3, p. 1806-1117, dez. 2006.

DUARTE, Marcia; REZENDE, Flávia. Construção Discursiva na Interação Colaborativa de Estudantes com um Sistema Hiperídia de Biomecânica. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias** [on-line], v. 7, n. 2, p. 399-417, jul. 2008. Disponível em: <http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen7/ART8_Vol7_N2.pdf>. Acesso em: 02 de mar. 2010.

DURÁN, José Enrique Rodas. **Biofísica: Fundamentos e Aplicações**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2003.

DUTRA, Ítalo Modesto; FAGUNDES, Léa da Cruz; CAÑAS Alberto J. Uma Proposta de Uso dos Mapas Conceituais para um Paradigma Construtivista da Formação de Professores a Distância. In: WORKSHOP SOBRE INFORMÁTICA NA ESCOLA, 2004, Salvador. **Anais eletrônicos**. Salvador, 2004. Disponível em <http://mapasconceituais.cap.ufrgs.br/producoes/arquivos_producoes/producoes_5/mapas_prof.pdf>. Acesso em: 23 nov. 2010.

EINBERG, Robert; RESNICK, Robert. **Física Quântica: Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas**. 24º ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 1979.

FILHO, José de Pinho Alves; JACQUES, Vinicius. O Conceito de Energia: Os Livros Didáticos e as Concepções Alternativas. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 2008, Curitiba. **Anais eletrônicos**. Curitiba, 2008. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epf/xi/sys/resumos/T0109-1.pdf>>. Acesso em: 22 fev. 2010.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia da Autonomia: Saberes Necessários à Prática Educativa**. 30º ed. São Paulo: Paz e Terra, 1996.

GARCIA, Eduardo A.C. **Biofísica**. São Paulo: Sarvier, 2002.

GARDNER, Howard. **Inteligências Múltiplas: A Teoria na Prática**. Porto Alegre: Artmed, 1995.

GASPAR, Alberto. **Física**. São Paulo: Ática, 2000.

GOODMAN, Barbara E. Pulmonary and Renal Pressure-Flow Relationships: What Should be Taught? **Advances in Physiology Education**, Washington, v. 25, n. 2, p. 15-28, jul. 2001.

GÜERCI, A. M.; GRILLO, C. A. El Valor Social de La Alfabetización Científica en Radiobiología. **Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias**, Burgos, v. 3, n. 1, p. 23-32, abr. 2006.

GUIMARÃES, A. P. Aplicações da Ressonância Magnética Nuclear ao Estudo de Materiais Magnéticos. **Revista Brasileira de Ensino de Física** [on-line], São Paulo, v. 22, n. 2, p.324-338, jul. 2000. Disponível em: < http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v22_360.pdf **Erro! A referência de hiperlink não é válida.**>. Acesso em: 22 fev. 2010.

HAAGA, John et al. **Tomografia Computadorizada e Ressonância Nuclear no Corpo Humano**. 3º ed. Rio de Janeiro: Guanabara, 1996.

HEIDEMANN, Leonardo Albuquerque; Araújo, Ives Solano; VEIT, Eliane Angela. Atividades Experimentais, Computacionais e sua Integração: Crenças e Atitudes de Professores no Contexto de um Mestrado Profissional. In: XII ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 11, 2010, Águas de Lindóia. **Anais**. Águas de Lindóia, 2010, p. 1-12.

HEWITT, Paul G. **Física Conceitual**. 9º ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

HILGER, Thaís Rafaela. Representações sociais da Física Quântica. Porto Alegre: UFRGS, 2009. 102 p. **Dissertação (Mestrado)**- Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

HYDER, David Jalal. Physiological Optics and Physical Geometry. **Science in Context**, Londres, v. 14, n. 3, p. 419-456, out. 2001.

JESSE, Kenneth. Biological Half-Life of Cardiolite. **The Physics Teacher**, California, v. 46, n. 9, p. 522-525, dez. 2008.

KOCH, Hilton Augusto; RIBEIRO, Eliana Cláudia; TONOMURA, Elise Tchic. **Radiologia na Formação do Técnico Geral**. Rio de Janeiro: Revinter, 1997.

KORTEMAYER, Gerd. The Challenge of Teaching Introductory Physics to Premedical Students. **The Physics Teacher**, California, v. 45, n. 9, p. 552-557, dez. 2007.

KOZLOVA, Elena K.; CHERNYSH, Alexander M.; MATTEYS, Tatyana N. Modeling of Blood Flow as the Results of Filtration-Reabsorption Process in Capillares. **Advances in Physiology Education**, Washington, v. 23, n. 1, p. 32-39, abr. 2000.

KUEBLER, Wolfgang M.; MERTENS, Michael; PRIES, Axel R. A Two-Component Simulation Model to Teach Respiratory Mechanics. **Advances in Physiology Education**, Washington, v. 31, n. 1, p. 218-222, abr. 2007.

MACHADO, A.C.B.; PLEITEZ, V.; TIJERO, M.C. Usando a Antimatéria na Medicina Moderna. **Revista Brasileira de Ensino de Física** [online], v. 28, n. 4, p. 407-416, dez. 2006. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/060109.pdf>>. Acesso em: 02 mar. 2010.

MACLSAAC, Dan; HÄMÄLÄINEN, Ari. Physics and Technical Characteristics of Ultrasonic

Sonar Systems. **The Physics Teacher**, California, v. 40, n. 1, p. 39-46, jan. 2002.

MASSONI, Neusa. T.; Moreira, Marco Antonio. Um Exemplo de Metodologia Qualitativa na Investigação Educativa em Ciências. **Actas del PIDEC**: Textos de Apoio do Programa Internacional de Doutorado em Ensino de Ciências da Universidade de Burgos, Porto Alegre, v. 8, n. 1, p. 43-99, 2006.

MAZZOLA, Alessandro A. Ressonância Magnética: Princípios de Formação de Imagem e Aplicações em Imagem Funcional. **Revista Brasileira de Física Médica**, São Paulo, v. 3, n. 1, p. 117-129, mar. 2009.

MOREIRA, Marco Antonio. **La Teoría de los Campos Conceptuais de Vergnaud**: La Enseñanza de las Ciencias y la Investigación en el Área. Porto Alegre: Instituto de Física da UFRGS, 2004a.

MOREIRA, Marco Antonio. **A Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel**. São Paulo: EPU, 2004b.

MOREIRA, Marco Antonio. **Aprendizagem Significativa Crítica**. Porto Alegre: Instituto de Física da UFRGS, 2005.

MOREIRA, Marco Antonio. Investigación en Educación en Ciencias: Métodos Cualitativos. **Actas del PIDEC**: Textos de Apoio do Programa Internacional de Doutorado em Ensino de Ciências da Universidade de Burgos, Porto Alegre, v. 4, p. 25-53, 2002.

MOREIRA, Marco Antonio. Mapas Conceituais como Instrumentos para Promover a Diferenciação Conceitual Progressiva e a Reconciliação Integrativa. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 32, n. 4, p. 474-479, dez. 1980.

MOREIRA, Marco Antonio. Mapas Conceituais e Aprendizagem Significativa. **Cadernos do Aplicação**, Porto Alegre, v. 11, n. 2, p. 143-156, dez. 1998.

MOREIRA, Marco Antonio. **Mapas Conceituais e Diagramas V**. Porto Alegre: Instituto de Física da UFRGS, 2006.

MOREIRA, Marco Antonio. Pesquisa em Ensino: Aspectos Metodológicos. **Actas del PIDEC**: Textos de Apoio do Programa Internacional de Doutorado em Ensino de Ciências da Universidade de Burgos, Porto Alegre, v. 5, n.1, p. 101-136, 2003.

MOREIRA, Marco Antonio; ROSA, Paulo Ricardo da Silva. Uma Introdução à Pesquisa Quantitativa em Ensino. **Texto de apoio (não publicado)**, Porto Alegre, 2002.

MOREIRA, Marco Antonio; SILVEIRA, Fernando Lang da. **Instrumentos de Pesquisa em Ensino e Aprendizagem**: a Entrevista Clínica e a Validação de Testes de Papel e Lápis. Porto Alegre: EDIPUCRS, 1993.

MOSINI, Valeria. A Brief History of the Theory of Resonance and of its Interpretation. **Studies in History and Philosophy of Modern Physics**, Londres, v. 31, n. 4, p. 569-581, abr. 2000.

NAVARRO, Marcus Vinicius Teixeira et al. Controle de Riscos à Saúde em Radiodiagnóstico: uma Perspectiva Histórica. **História, Ciências, Saúde-Manguinhos**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 4, p. 1039-1047, dez. 2008.

NOVAK, Joseph D.; GOWIN, Bob. **Aprender a Aprender**. New York, 1984.

NUSSENZVEIG, Hersh Moyses. **Curso de Física Básica**. 4º ed. São Paulo: Edgar Blucher, 2002.

NYE, Mary Jo. Physical and Biological Modes of Thought in the Chemistry of Linus Pauling. **Studies in History and Philosophy of Modern Physics**, London, v. 31, n. 4, p. 475-491, nov. 2000.

OKUNO, Emico. **Radiação: Efeitos, Riscos e Benefícios**. São Paulo: Harbra, 1998.

OKUNO, Emico; CALDAS, Iberê L. **Física para Ciências Biológicas e Biomédicas**. São Paulo: HARBRA, 1982.

OKUNO, Emico; VILELA, Maria Aparecida Constantino. **Radiação Ultravioleta: Características e Efeitos**. São Paulo: Livraria da Física, 2005.

ORTEGA, Francisco. O Corpo Transparente: Visualização Médica e Cultura Popular no século XX. **História, Ciências, Saúde-Manguinhos**, Rio de Janeiro, v. 13, sup. 1, p. 89-107, out. 2006.

PARANÁ. Secretaria da Educação e Desporto. Coordenadoria Geral de Ensino. **Diretrizes Curriculares de Física**. Curitiba, PR, 2009, p.126.

PARISOTO, Mara Fernanda; GALLASSINI, Kátia Aparecida. Utilização de Jogos no Ensino da Física. Chapecó: CELER, 2008. 297 p. **Trabalho Conclusão de Curso** (Especialização Ensino de Física e Matemática).

PAUL, Prabasaj; SYMES, Laurel B. Ballistocardiography in Physics Classroom. **The Physics Teacher**, Califórnia, v. 46, n. 5, p. 300-302, mai. 2008.

PIAGET, Jean. **A Equilibração das Estruturas Cognitivas: Problema Central do Desenvolvimento**. Rio de Janeiro: Zahar, 1976.

PONTIGA, Francisco; GAYTÁN, Susana P. An Experimental Approach to the Fundamental Principles de Hemodynamics. **Advances in Physiology Education**, Washington, v. 31, n. 1, p. 165-171, mar. 2005.

PRAIN, Vaughan; Waldrip, Bruce. An Exploratory Study of Teachers' and Students' Use of Multi-modal Representations of Concepts in Primary Science. **International Journal of Science Education**, Europa, v. 28, n. 15, p. 1843-1866, jul. 2006.

RAMOS, Manoel Mattos Oliveira; TAUHATA, Luiz; PRINZIO, Maria Antonieta R.R. Di. **Grandezas e Unidades para Radiações Ionizantes: Recomendações e Definições**. Rio de Janeiro: LNMRI, 2002.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria da Educação e Desporto. Coordenadoria Geral de Ensino. **Lições do Rio Grande**. Porto Alegre, RS, 2009, p.124.

RIO GRANDE DO SUL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância Sanitária. Portaria 453 de 1º de julho de 1998. Porto Alegre. RS, 1998, p. 59.

ROBILOTTA, Manoel Roberto; BABICHAK, Cezar Cavanha. Definições e conceitos em Física. **Cadernos Cedes**, São Paulo, n. 41, p.35-45, abr. 1997.

RUIPEREZ, Leon Garzon. **Radiactividad y Meio Ambiente**. Argentina: Servicio de Publicaciones, 1978.

SANTA CATARINA. Secretaria da Educação e Desporto. Coordenadoria Geral de Ensino. **Proposta Curricular de Santa Catarina**. Florianópolis, SC, 1998, p.148.

SANTOS, José Mauro Esteves dos Santos; SILVA, Ayrton José Caubit da; ALMEIDA, Ivan Pedro Salti de. **Sistema Nacional de Averiguação de Eventos Radiológicos**. Rio de Janeiro: SLC, 2000.

SCHICKORE, Jutta. Locating Rods and Cones: Microscopic Investigations of the Retina in Mid-Nineteenth-Century Berlin and Würzburg. **Science in Context**, Londres, v. 13, n. 1, p. 137-152, abr. 2000.

SILVEIRA, Fernando Lang da. Determinando a Significância Estatística para as Diferenças entre as Médias. **Texto de apoio** [online], Porto Alegre. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/~lang/Textos/Comparacoes_em_media.pdf>. Acesso em: 17 outubro 2010.

SILVEIRA, Fernando Lang da; MOREIRA, Marco Antonio; AXT, Rolando. Validação de um Teste para Detectar se o Aluno Possui Concepções Científicas sobre Corrente Elétrica em Circuitos Simples. **Ciência e Cultura**, São Paulo, n. 41, v. 11, p. 1129-1133, nov. 1989.

SORENSEN, James A.; PHELPS, Michael E. **Physics in Nuclear**. 2º ed. Estados Unidos: W.B. Saunders Company, 1987.

SWAIN, David P. The Water-Tower Analogy of the Cardiovascular System. **Advances in Physiology Education**, Washington, v. 24, n. 1, p. 43-50, abr. 2000.

TERTULIANO, Ivan W., UGRINOWITSCH, Alessandra A.C., UGRINOWITSCH, Herbert et al. Efeitos da Frequência de Feedback na Aprendizagem do Saque do Voleibol. **Revista Portuguesa de Ciências do Desporto**, v.7, n.3, p.328-335, dez. 2007.

TODD, Gould. Como Funciona a Geração de Imagens por Ressonância Magnética. **Howstuffworks** [online], abr. 2000. Disponível em: <<http://saude.hsw.uol.com.br/ressonancia-magnetica12.htm>>. Acesso em: 24 jan. 2010.

TOIGO, Adriana Marques. Ensinando Biomecânica nas Séries Iniciais do Ensino Fundamental: um Relato de Experiência. **Experiências em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 1, n. 3, p. 58-66, dez. 2006.

TOSSATO, Claudemir Roque. A Função do Olho Humano na Óptica do Final do Século XVI. **Scientle Studia**, São Paulo, v. 3, n. 3, p. 415-441, dez. 2005.

TOULMIN, Stephen. **La Comprensión Humana: el Uso Colectivo y Evolución de los Conceptos**. Madrid: Alianza Editorial, 1977.

TREAGUST, David, F.; HARRISON, Allan G. In Search of Explanatory Frameworks: an Analysis of Richard Feynmann's lecture 'Atoms in Motion'. **International Journal of Science Education**, Europa, v. 22, n. 11, p. 1157-1170, jul. 2000.

UEHARA, Mituo; SAKANE, Kumiko K.; BERTOLOTTI, Simone A. Thermodynamic of the Hert: Relation Between Cardiac Output and Oxygem Consumptom. **American Journal of**

Physics, Estados Unidos, v. 76, n. 6, p. 567-569, maio 2008.

URHAUSEN, A.; SPERBER, J.; KINDERMANN, W. Putting your Heart into Physics. **American Journal of Physics**, Estados Unidos, v.72, n.3, p. 324-332, jun. 2004.

VALADARES, Eduardo de Campos Valadares; Moreira, Alysson Magalhães. Ensinando Física Moderna no Segundo Grau: Efeito Fotoelétrico, Laser e Emissão de Corpo Negro. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 15, n. 2, p. 121-135, ago. 1998.

VALADARES, Eduardo de Campos; ALVES, Esdras Garcia; CHAVES, Alaor. **Aplicações da Física Quântica: do Transistor à Nanotecnologia**. São Paulo: Livraria da Física, 2005.

VERGNAUD, Gerard. La Teoria de los Campos Conceptuales. **Recherches en Didactique des Mathématiques**, v. 10, n. 2, 3, p. 133-170, jul. 1990.

VYGOTSKY, Lev Semynovich. **A Formação Social da Mente: o Desenvolvimento dos Processos Psicológicos Superiores**. 7º ed. São Paulo: Martins Fontes, 2007.

WALKER, Halliday Resnick. **Fundamentos de Física**. São Paulo: LTC, 2002.

WEST, John B. Challenges in Teaching the Mechanics of Breathing to Medical and Graduate Students. **Advances in Physiology Education**, Washington, v. 32, n. 1, p. 177-184, abr. 2008.

WILLIAMS, W.S.C. **Nuclear and Particle Physics**. England: Clarendon Press, 1991.

ZEFERINO, Angélica Maria Bicudo; DOMINGUES, Rosângela Curvo Leite; AMARAL, Eliana. Feedback como estratégia de aprendizado no ensino médico. **Revista Brasileira de Educação Médica**, São Paulo, v. 31, n. 2, p. 176-179, ago. 2007.

SITES FIGURAS, SIMULAÇÕES E REPORTAGENS:

<http://dicroled.com>

<http://images01.olx.com.br>

http://ivairsouza.com/circuitos_retificadores.html

<http://lectureonline.cl.msu.edu/~mmp/applist/Spectrum/s.htm>

<http://novastecnologiassaude.blogspot.com>

<http://optometriabrasil.files.wordpress.com>

http://phet.colorado.edu/simulations/sims.php?sim=Alpha_Decay

http://radio_teleterapia.vilabol.uol.com.br/radioterapia.htm

<http://saude.hsw.uol.com.br/Medicina-nuclear2.htm>

<http://ts-dep.web.cern.ch/ts-dep/groups/lea/int/workshops/LHC.jpg>

http://wiki.stoa.usp.br/Fap0459/textos/grupo_Eneas/Waldair

<http://www.ensinodefisica.net>

<http://www.falstad.com/wavebox/>

<http://www.falstad.com/wavebox/-Interferência>

<http://www.fisica.ufpb.br/~romero/objetosaprendizagem/8EfeitoFotoeletrico/Site/Animacao.htm>

<http://www.fsc.ufsc.br/~ccf/parcerias/ntnujava/doubleSlit/doubleSlit.html>

<http://www.fsc.ufsc.br/~ccf/parcerias/ntnujava/propagation/propagation.html>

<http://www.fsc.ufsc.br/~ccf/parcerias/ntnujava/waveInterference/waveInterference.html>

<http://www.fsc.ufsc.br/~ccf/parcerias/ntnujava/waveSuperposition/waveSuperposition.html>

<http://www.pesquisadoraraujo.com.br/simulacoes.php>

<http://www.searadaciencia.ufc.br>

<http://www.ufpa.br/ccen/fisica/interativa.htm>

<http://www.walter-fendt.de/ph11e/emwave.htm>
http://www.youtube.com/watch?bTzr6Ulw_e0
<http://www.youtube.com/watch?v=isXe78uZbVQ>
http://www.youtube.com/watch?v=pGttA5_rABw
web.cena.usp.br/apostilas/Zagatto/Dosimetria.doc
www.algosobre.com.br
www.bordadodemurmurios.blogspot.com
www.brasile scola.com
www.deltapltda.com.br
www.desastrêsaereos.net
www.diaadia.pr.gov.br
www.disciplinas.ist.utl.pt
www.electronica-pt.com
www.fsc.ufsc.br
www.higieneocupacional.com.br/download/detectores-daros.pdf
www.ipen.br
www.msd-brazil.com
www.novastecnologiassaude.blogspot.com
www.prof2000.pt
www.redin.lec.ufrgs.br
www.saude.hsw.uol.com.br
www.searadaciencia.ufc.br
www.youtube.com/watch?v=YeVHTjMwVTo

APÊNDICES

APÊNDICE A- Questões qualitativas primeira aula experiência piloto

As questões abaixo são dissertativas e visam perceber o que vocês sabem sobre o assunto que será apresentado na aula de hoje.

Respondam as questões com o máximo de informações que vocês souberem sobre o assunto. Se necessário utilizem o verso para responderem.

1. O aparelho de Ultrassonografia envolve muitos conceitos de Física. Descreva aqueles que você considera importante no equipamento de Ultrassonografia. Justifique.
2. Descreva, fisicamente, o funcionamento de um equipamento de Ultrassonografia.
3. Os transdutores, no aparelho da Ultrassonografia, são formados por material piezoelétricos. Quais são as características desse tipo de material?
4. Como a informação captada pelos olhos chegam até o cérebro? Explique através do efeito fotoelétrico.
5. Quais são as três formas de interação da radiação com a matéria? Cite aplicações de cada uma delas.
6. Qual (is) relação (ões) existe(m) entre a imagem radiográfica e o Efeito Fotoelétrico?
7. Qual (is) relação (ões) existe(m) entre a imagem radiográfica e o Efeito Compton?
8. Como é utilizada a Aniquilação de Pares na Tomografia por Emissão de Pósitrons (PET)?

Agradecemos sua atenção e disponibilidade em responder o questionário. Essas informações são fundamentais para a presente pesquisa.

APÊNDICE B- Questionário conhecimentos prévios experiência piloto

QUESTIONÁRIO SOBRE ALGUNS CONCEITOS DE FÍSICA

Este questionário visa obter informações sobre o seu conhecimento prévio de alguns conceitos de Eletromagnetismo, Óptica, Física Moderna e Contemporânea. Instruções:

1. Em cada questão são apresentadas algumas proposições. Escolha somente uma alternativa, a que julgar mais adequada. As respostas não são do tipo “certo ou errado”. O teste visa medir a proximidade do seu conhecimento prévio em relação ao conhecimento científico e não se você “sabe ou não sabe”.
2. Procure não “chutar”. Se não souber responder, marque a opção “não sei”.

- 1) Quando elétrons são retirados da eletrosfera do átomo (p. ex. por uma captura eletrônica), a vacância originada é imediatamente preenchida por um elétron de orbitais superiores. Esse elétron, ao passar de um estado menos ligado para outro mais ligado (mais próximo do núcleo), libera o excesso de energia emitindo radiação eletromagnética, cuja energia é igual à diferença entre a energia dos estados inicial e final. Esse processo é chamado de produção de radiação característica.
 - a) Concordo fortemente.
 - b) Concordo.
 - c) Discordo.
 - d) Discordo fortemente.
 - e) Não sei.
- 2) Um elétron (negativo), ao passar nas proximidades de um núcleo (positivo), experimenta uma força de atração elétrica e é desviado de sua direção original. Ao variar de direção, o elétron perde energia. A energia cinética perdida pelo elétron é emitida na forma de um fóton. O processo descrito é chamado de emissão de radiação por freamento.
 - a) Concordo fortemente.
 - b) Concordo.
 - c) Discordo.
 - d) Discordo fortemente.
 - e) Não sei.
- 3) No efeito Compton, diferentemente do efeito fotoelétrico, o elétron não possui energia suficiente para se desprender do átomo, ele apenas absorve toda ou parte da energia do fóton. Quando o elétron absorve toda a energia do fóton, ele muda para uma camada mais externa. Ao retornar, o elétron emite a radiação absorvida. Quando absorve apenas parte da radiação, há duas ondas: uma decorrente da mudança de camada e outra devido ao desvio da radiação incidente, ocasionada pela incidência do fóton no elétron, conforme previsto pela conservação do momento angular.
 - a) Concordo fortemente.
 - b) Concordo.
 - c) Discordo.
 - d) Discordo fortemente.
 - e) Não sei.
- 4) Os processos de aniquilação e produção de pares surgiram da necessidade de se explicar os resultados da equação de Dirac, que tem como soluções uma energia negativa e uma energia positiva. Dirac assumiu que os níveis de energia negativa estavam todos ocupados, de modo que os elétrons de energia positiva não poderiam cair em um “buraco” da energia negativa. Esse “buraco” de energia negativa é interpretado como uma antipartícula (antimatéria), por exemplo, um pósitron. O processo inverso pode ocorrer, se um elétron de energia positiva cair em um “buraco”; nesse caso seria emitido um fóton e o elétron seria aniquilado pelo “buraco”.
 - a) Concordo fortemente.
- b) Concordo.
- c) Discordo.
- d) Discordo fortemente.
- e) Não sei.

- b) Concordo.
- c) Discordo.
- d) Discordo fortemente.
- e) Não sei.

5) Se tivermos duas bobinas, elas vão funcionar a partir do seguinte processo: corrente elétrica alternada na primeira bobina gera um campo magnético variado na segunda bobina, que, por sua vez, produz nela uma corrente elétrica alternada.

- a) Concordo fortemente.
- b) Concordo.
- c) Discordo.
- d) Discordo fortemente.
- e) Não sei.

6) Em um equipamento de Raios-X, um feixe de elétrons sai do cátodo (negativo) e parte em direção ao ânodo (positivo). A diferença de potencial entre eles (kVp) deve ser muito grande para que a energia dos elétrons seja suficiente para produzir Raios-X ao atingirem o ânodo. Para que o ânodo não derreta, ele está em constante movimento e ainda é resfriado por um óleo frio. Todo o conjunto é envolvido por uma ampola, que mantém o sistema em vácuo, evitando que haja perdas de energia para o meio.

- a) Concordo fortemente.
- b) Concordo.
- c) Discordo.
- d) Discordo fortemente.
- e) Não sei.

7) O meio de contraste, utilizado em alguns exames de tomografia computadorizada, é uma substância geralmente líquida, injetada ou ingerida pelo paciente para bloquear a radiação, possuindo densidade diferente do material a ser estudado, pois não se pode distinguir uma estrutura de outra se ambas possuírem a mesma densidade radiográfica. Já na Ressonância Magnética Nuclear, os meios de contraste alteram o campo magnético de uma parte específica do corpo.

- a) Concordo fortemente.
- b) Concordo.
- c) Discordo.
- d) Discordo fortemente.
- e) Não sei.

8) A principal função do fluoroscópico é proporcionar imagens (dinâmicas) em tempo real de estruturas anatômicas e, com isso, visualizar estruturas e líquidos internos em movimento.

- a) Concordo fortemente.
- b) Concordo.
- c) Discordo.
- d) Discordo fortemente.
- e) Não sei.

9) No intensificador, a imagem é produzida de acordo com a seguinte sequência: fótons de Raios-X são

- transformados em fótons de luz, que geram corrente elétrica e esta, imagem.
- Concordo fortemente.
 - Concordo.
 - Discordo.
 - Discordo fortemente.
 - Não sei.
- 10) A fluoroscopia trabalha com doses de radiação menores do que os demais equipamentos de Raios-X. Contudo, as doses de radiação que chegam aos pacientes são maiores devido ao maior tempo de exposição necessário.
- Concordo fortemente.
 - Concordo.
 - Discordo.
 - Discordo fortemente.
 - Não sei.
- 11) Quando se aumenta o valor do kVp (diferença de voltagem entre o cátodo e o ânodo no equipamento de Raios-X), aumenta-se também a energia dos Raios-X e, conseqüentemente, a capacidade de penetração da radiação no paciente, afetando com isso o contraste da imagem. Para valores baixos de kVp, os fótons não possuem energia suficiente para atravessar o paciente, sendo absorvidos, o que requer uma maior dose de radiação. Portanto, mantido o mesmo valor para a corrente elétrica (medida em miliampères), quanto menor o valor de kVp, mais clara será a imagem.
- Concordo fortemente.
 - Concordo.
 - Discordo.
 - Discordo fortemente.
 - Não sei.
- 12) Os Raios-X chegam inicialmente ao écran, uma película que, em contato com os Raios-X, produz luz que impressiona o filme onde a imagem é produzida. O filme é protegido pelo chassi radiográfico (feito de chumbo), que impede que o filme seja sensibilizado por outras radiações.
- Concordo fortemente.
 - Concordo.
 - Discordo.
 - Discordo fortemente.
 - Não sei.
- 13) Se o tecido orgânico tiver menor densidade, a imagem será mais escura e, portanto, terá maior densidade radiográfica. Os fótons que são atenuados ou espalhados atingirão o écran com menor intensidade em função da espessura do paciente e da densidade do tecido, produzindo assim uma imagem com diferentes níveis de cinza.
- Concordo fortemente.
 - Concordo.
 - Discordo.
 - Discordo fortemente.
 - Não sei.
- 14) O contraste é definido pela diferença entre a densidade Óptica dos objetos. Os componentes que podem ser radiografados são músculos, fluidos, tecido adiposo, gases e ossos, sendo que os três primeiros possuem densidade similares e, por isso, possuem pouco contraste na imagem radiográfica.
- Concordo fortemente.
 - Concordo.
 - Discordo.
 - Discordo fortemente.
 - Não sei.
- 15) A radioterapia é um método de tratamento que consiste na destruição de células cancerígenas, em especial na fase de multiplicação celular, utilizando radiações ionizantes eletromagnéticas (Raios-X e raios gama) e radiações corpusculares (partículas alfa e beta), que são de elevada frequência e, conseqüentemente, mais energéticas. A radioterapia é dividida em dois tipos: teleterapia (externa) e braquiterapia (interna).
- Concordo fortemente.
 - Concordo.
 - Discordo.
 - Discordo fortemente.
 - Não sei.
- 16) Aceleradores são túneis circulares que servem para acelerar partículas até que elas atinjam energias muito elevadas e possam emitir, além de Raios-X, feixes de elétrons e nêutrons com várias energias. Um exemplo de acelerador é o ciclotron e um dos mais conhecidos ciclotrons da atualidade é o LHC (Grande Colisor de Hádrons). Os aceleradores não possuem material radioativo no seu interior.
- Concordo fortemente.
 - Concordo.
 - Discordo.
 - Discordo fortemente.
 - Não sei.
- 17) Um detector a gás é constituído de um tubo cheio de gás, em que existe um eletrodo ao longo do eixo central. Se for criada uma diferença de potencial entre o eletrodo central e a parede, de maneira que o eletrodo seja positivo e a parede negativa, então o eletrodo atrairá os elétrons produzidos por ionização dentro do tubo. Os elétrons formarão um sinal elétrico, como um pulso de elétrons ou uma corrente contínua. O sinal elétrico é amplificado e medido. Sua intensidade é proporcional à intensidade da radiação que o causou.
- Concordo fortemente.
 - Concordo.
 - Discordo.
 - Discordo fortemente.
 - Não sei.
- 18) Os detectores de cintilação são formados por alguns materiais que emitem luz imediatamente depois de absorver um fóton de Raios-X. A quantidade de luz emitida é proporcional à quantidade de energia absorvida pelo material.
- Concordo fortemente.
 - Concordo.
 - Discordo.
 - Discordo fortemente.
 - Não sei.
- 19) Os dosímetros termoluminescentes são constituídos de um material que, ao ser submetido ao calor, libera a energia excedente (gerada, p. ex., pelo contato com radiação). Essa energia emitida é medida e seu valor indica a quantidade de radiação a que o dosímetro foi exposto.
- Concordo fortemente.
 - Concordo.
 - Discordo.
 - Discordo fortemente.
 - Não sei.
- 20) No processo de luminescência estimulada opticamente, a irradiação do óxido de alumínio estimula alguns elétrons a um estado excitado. Durante o processo, uma luz laser estimula estes elétrons, fazendo com que

voltem ao estado original, com a consequente emissão de luz. A intensidade da luz é proporcional à dose de radiação recebida.

- a) Concordo fortemente.
 b) Concordo.
 c) Discordo.
 d) Discordo fortemente.
 e) Não sei.
- 21) Os detectores de estado sólido são formados por um material à base de fósforo que cintila (emite luz) pela passagem da radiação. A luz incide no núcleo do detector e emite elétrons (efeito fotoelétrico), dando origem a uma corrente elétrica que é proporcional ao fóton (radiação) incidente.
- a) Concordo fortemente.
 b) Concordo.
 c) Discordo.
 d) Discordo fortemente.
 e) Não sei.
- 22) No dosímetro de filme, a radiação produz alterações na densidade do filme revelado. Desta forma, pode-se quantificar a exposição da radiação, pois quanto maior for a intensidade da radiação, maior será o enegrecimento da imagem.
- a) Concordo fortemente.
 b) Concordo.
 c) Discordo.
 d) Discordo fortemente.
 e) Não sei.
- 23) Na tomografia computadorizada helicoidal, ao contrário da tomografia computadorizada, o emissor de radiação e os detectores fazem uma volta completa de 360° ao redor do paciente. Para isso, os cabos de fibra Óptica foram substituídos por anéis deslizantes. Uma superfície é um anel liso e a outra é um anel com contatos eletrônicos que rastreiam as informações do anel liso. Essas informações geralmente são emitidas por radiofrequência.
- a) Concordo fortemente.
 b) Concordo.
 c) Discordo.
 d) Discordo fortemente.
 e) Não sei.
- 24) A Ressonância Magnética, também chamada de Ressonância Magnética Nuclear, é um exame moderno diferente da Radiografia e da Tomografia Computadorizada, pois não utiliza radiação ionizante (Raios-X) e, sim, um forte campo magnético e ondas eletromagnéticas com frequência de rádio que permitem a formação de imagens no aparelho.
- a) Concordo fortemente.
 b) Concordo.
 c) Discordo.
 d) Discordo fortemente.
 e) Não sei.
- 25) A Ressonância Magnética Nuclear faz uso de campos magnéticos e radiofrequência. Na ausência de um campo magnético externo, a orientação dos spins nos tecidos é aleatória. Quando o magneto principal aplica um campo magnético, o vetor momento magnético se alinha com o campo (estado de equilíbrio). Ao se aplicar sobre os spins uma radiofrequência, eles ganham energia e mudam de orientação (estado fora de equilíbrio). Cessando o estímulo, os spins retornaram ao alinhamento original, liberando a energia sob a

forma de ondas de radiofrequência, que são captadas pelas antenas receptoras.

- a) Concordo fortemente.
 b) Concordo.
 c) Discordo.
 d) Discordo fortemente.
 e) Não sei.
- 26) A Medicina Nuclear consiste na administração de radiofármaco. Um radiofármaco incorpora dois componentes: um radioisótopo, ou seja, uma substância com propriedades físicas adequadas ao procedimento desejado (partícula emissora de radiação beta, para terapêutica, ou partícula emissora de radiação gama, para diagnóstico) e uma molécula orgânica com fixação preferencial em determinado tecido ou órgão.
- a) Concordo fortemente.
 b) Concordo.
 c) Discordo.
 d) Discordo fortemente.
 e) Não sei.
- 27) Os radioisótopos usados na Medicina nuclear decaem em questão de dias, horas ou até mesmo minutos, têm níveis de radiação menores que os Raios-X e que as tomografias computadorizadas e são eliminados pela urina ou pelas fezes.
- a) Concordo fortemente.
 b) Concordo.
 c) Discordo.
 d) Discordo fortemente.
 e) Não sei.
- 28) Na Tomografia por Emissão de Pósitrons (PET), utiliza-se um radioisótopo emissor de pósitrons. Ao se chocarem, o pósitron e o elétron aniquilam-se, emitindo dois raios gamas.
- a) Concordo fortemente.
 b) Concordo.
 c) Discordo.
 d) Discordo fortemente.
 e) Não sei.
- 29) Na tomografia PET há a emissão de dois raios gama enquanto que na tomografia SPECT ocorre a emissão um único raio gama.
- a) Concordo fortemente.
 b) Concordo.
 c) Discordo.
 d) Discordo fortemente.
 e) Não sei.

Caso queira justificar alguma resposta, utilize o espaço abaixo.

Agradecemos sua atenção e disponibilidade em responder o questionário. Essas informações são fundamentais para o desenvolvimento das aulas sobre Física aplicada à Medicina que estaremos iniciando logo em seguida.

APÊNDICE C- Pré e pós-teste experiência piloto

Atenção: Não é necessário identificação.

Assinale apenas uma alternativa para cada questão, observando a seguinte escala:

C = Concordo; NS = Não sei; D = Discordo

	C	NS	
1. A Ultrassonografia faz mal para a saúde.			
2. Os Raios-X possuem mais energia que os raios gama.			
3. Os Raios-X são formados de duas maneiras: característico e de freamento.			
4. A produção de Raios-X característicos ocorre quando um elétron recebe energia, mudando para uma camada mais externa, quando ele volta para seu estado energético inicial ele libera essa energia através de uma onda eletromagnética que pode ser ou não Raios-X, isso vai depender do material.			
5. O Raios-X característico é utilizado em todos os exames menos na mamografia.			
6. A produção de Raios-X por freamento ocorre quando um elétron energético, ao se aproximar do átomo é desviado de sua órbita devido à atração do núcleo, esse freamento libera energia em forma de uma onda eletromagnética.			
7. A produção de Raios-X por freamento é utilizada em exames de mamografia.			
8. O efeito fotoelétrico é um dos responsáveis para levar as informações do olho até o córtex visual (no cérebro).			
9. O efeito fotoelétrico é a emissão de elétrons por um material, geralmente metálico, quando exposto a uma radiação eletromagnética (como a luz) de frequência suficientemente alta para arrancar o elétron do material.			
10. A frequência necessária para ejetar elétrons depende do material.			
11. O efeito Compton ocorre quando um elétron muda para uma camada mais energética e ao voltar para seu estado de origem (menos energético) libera a energia excedente em forma de radiação.			
12. A aniquilação de pares ocorre quando uma matéria e sua antimatéria, por exemplo, os elétrons e os pósitrons, se encontram. Esse encontro faz com que eles se aniquilem, através da relação de Einstein: $E=mc^2$, suas massas originais aparecem, então, como energia radiante, ou radiação; o inverso também ocorre, mas denomina-se produção de pares.			
13. A antimatéria possui as mesmas características da matéria, como é o caso dos prótons e dos elétrons.			
14. Sob determinada pressão mecânica alguns materiais emitem descarga elétrica, o que se chama de efeito piezoelétrico e se os cristais são estimulados por um sinal elétrico produzem deformações mecânicas, o que é chamado de efeito piezoelétrico inverso.			
15. As diferentes estruturas do corpo humano refletem as ondas sonoras (ecos) que são captadas pelos cristais do transdutor e transformadas novamente em sinais elétricos.			
16. Cada amplitude de eco corresponde a uma determinada tonalidade de cinza, que varia dentro de uma faixa entre o preto e o branco e que é denominada de escala de cinza. Uma reflexão muito forte corresponde a uma imagem tendendo ao branco, enquanto a ausência de reflexão é visualizada como uma área preta.			
17. Uma forma de analisar as estruturas em movimento, na Ultrassonografia, faz uso do efeito Doppler.			
18. A radiação ionizante pode trazer ações diretas (dano direto no DNA) e indiretas (produção de radicais livres).			
19. O fóton é outro nome que se dá à luz.			
20. A Meia Vida é o tempo de vida de cada radionuclídeo (material que emite radiação e que é usado na tomografia).			
21. A Vida Média é o tempo médio para que metade dos átomos de um elemento seja transformada em radiação.			
22. O decaimento radioativo ocorre quando há a emissão de radiação (corpúscular ou ondulatória), tendendo a deixar o átomo estável.			
23. Num equipamento de Raios-X o ânodo é responsável para expulsar os elétrons de modo que eles produzam Raios-X.			
24. Áreas, nos filmes, que são expostas a mais radiação ficam mais escuras e as áreas expostas a menos radiação aparecem mais claras, dessa forma materiais duros, como ossos, aparecem em branco e materiais mais macios aparecem em preto ou cinza.			
25. Os materiais mais duros absorvem a radiação ou a espalham.			
26. A maior tarefa do gerador é fornecer uma voltagem extremamente alta para produzir Raios-X com suficiente energia e adequada quantidade de radiação.			
27. Na radiografia de tecidos leves (como é o caso da mamografia), são explorados os tecidos adiposos e musculares que possuem densidades e números atômicos similares, por isso a técnica utilizada na mamografia é diferente dos demais exames que utilizam Raios-X.			

28. Para maximizar o efeito fotoelétrico e, portanto melhorar a absorção devem-se usar kVp (diferença de voltagem entre o cátodo e o anodo) baixos.			
29. A absorção é inversamente proporcional à densidade de massa tanto no efeito fotoelétrico quanto no efeito Compton.			
30. O grau de absorção é determinado pela densidade do material e pelo número atômico efetivo.			
31. A absorção causada por diferença no número atômico é diretamente proporcional para interações de Compton, mas proporcional ao cubo do número atômico para interações fotoelétricas, ou seja, a absorção fotoelétrica predomina sobre a dispersão Compton com Raios-X de baixa energia.			
32. O kVp é a diferença de voltagem entre o anodo e o cátodo e mA é a abreviação de miliampere e é a unidade da corrente elétrica.			
33. Quando utilizado o sinal analógico à informação é convertida para bits, enquanto na eletrônica digital a informação é tratada sem essa conversão.			
34. Os meios de contrastes são substâncias utilizadas para facilitar ou dificultar a passagem dos Raios-X.			
35. Na Ressonância Magnética Nuclear (RMN) a função dos meios de contraste é mudar o campo magnético no local onde será aplicado o exame.			
36. A principal função do fluoroscópico é proporcionar imagens dinamicamente em tempo real de estruturas anatômicas e com isso visualizar estruturas e líquidos internos em movimento.			
37. A quantidade de radiação que chega ao paciente é muito maior no aparelho de fluoroscopia em relação aos aparelhos de Raios-X.			
38. É o kVp que determina a velocidade do feixe de elétrons dentro da ampola, quanto maior for o kVp, maior será a capacidade de penetração dos Raios-X e, portanto, mais perigosa será a radiação.			
39. No intensificador a imagem é produzida seguindo a seguinte sequência: fótons de Raios-X, que são transformados em fótons de luz e, em seguida, corrente eletrônica e finalmente imagem.			
40. Quando aumenta-se o valor do kVp aumenta-se também a energia dos Raios-X e conseqüentemente a capacidade de penetração da radiação no paciente afetando com isso o contraste da imagem.			
41. Para valores baixos de kVp os fótons não possuem energia suficiente para atravessar o paciente sendo absorvidas, resultando numa maior dose de radiação no paciente.			
42. Quanto menor o valor de kVp mais clara será a imagem se permanecer o mesmo valor para miliampere (mA).			
43. Os Raios-X chegam inicialmente ao écran que em contato com os Raios-X produzem luz, essa luz impressiona o filme onde é produzida a imagem.			
44. O filme é protegido pelo chassi radiográfico, que impede que a lâmina fique em contato com outras radiações sendo sensibilizado por elas.			
45. A radioterapia é um método de tratamento que consiste na destruição de células cancerígenas, principalmente na fase de multiplicação celular, utilizando radiações ionizantes eletromagnéticas (Raios-X e raios gama) e radiações corpusculares (partículas alfa e beta).			
46. Alguns materiais emitem luz imediatamente depois de absorver um fóton de Raios-X. A quantidade de luz emitida é proporcional à quantidade de energia absorvida pelo material. Os aparelhos de detecção que utilizam desse princípio são os denominados detectores de cintilação.			
47. Se de um fóton de Raios-X de 50 keV de energia apenas 20 keV forem absorvidas, os 30 keV restantes foram espalhados devido ao efeito Compton.			
48. A dosimetria de termoluminescência funciona do seguinte modo: utiliza-se um dosímetro que fica em contato com a radiação, dentro do dosímetro há um material termoluminescente, depois do uso do dosímetro por algum tempo é retirado esse material termoluminescente e colocado sobre uma prancheta que aumenta a temperatura, esse material libera luz, a intensidade emitida depende do material e da quantidade de radiação a que foi submetido.			
49. Na luminescência estimulada opticamente funciona do seguinte modo: a irradiação do óxido de alumínio estimula alguns elétrons a um estado excitado. Durante o processo uma luz laser estimula estes elétrons provocando que voltem ao estado original com a emissão de luz. A intensidade de luz é proporcional à dose de radiação recebida.			
50. Os detectores de estado sólido são formados por um material a base de fósforo que emite luz (cintilação) pela passagem da radiação, que por sua vez incide no núcleo do detector que por efeito fotoelétrico emite elétrons, dando origem a uma corrente elétrica no terminal do detector, que é proporcional ao fóton de radiação de entrada.			
51. Nos dosímetros de filmes a radiação produz alterações na densidade Óptica do filme revelado. Desta forma pode-se quantificar a exposição da radiação, pois quanto maior for a intensidade da radiação maior será o enegrecimento da imagem.			
52. A tomografia computadorizada (TC) tem como principal vantagem, em relação a exames radiológicos convencionais, a não sobreposição de imagens de estruturas anatômicas e a diminuição da radiação dispersa.			
53. A diferença entre TC e TC helicoidal é que nesta os detectores e os emissores de Raios-X fazem uma volta de 360° em torno do paciente, diminuindo os problemas decorrentes de movimento do paciente.			
54. A TC de múltiplos cortes tem como função analisar a mesma anatomia mais rápido ou analisar mais anatomia no mesmo tempo.			
55. O exame de Ressonância Magnética Nuclear (RMN) não utiliza de radiação ionizante e, portanto pode ser utilizado em grávidas e crianças.			
56. A palavra ressonância na RM refere-se à capacidade de prótons teciduais receberem e devolverem energia através de ondas de radiofrequência, emitidas e captadas através de antenas. Como são os prótons			

que fazem essa função geralmente o exame de RM denomina-se Ressonância Magnética Nuclear.			
57. Na ausência de um campo magnético externo, a orientação dos spins nos tecidos é aleatória.			
58. Ao ser aplicado um campo magnético fornecido pelo magneto principal, os spins se alinham de acordo com ele (estado de energia de equilíbrio).			
59. Ao se aplicar sobre os spins uma radiofrequência, os spins ganham energia e, portanto ficam fora de equilíbrio, mudando de orientação vetorial. Cessando o estímulo, os spins retornaram ao alinhamento original, liberando a energia sob a forma de ondas de radiofrequência, as quais são captadas pelas antenas receptoras.			
60. Quanto maior a concentração de prótons de hidrogênio em um segmento estimulado, mais intenso será o sinal de ressonância, aparecendo na imagem com cores mais próximas do branco.			
61. As imagens na RM variam de preto a branco, passando por escala de cinza. Se há poucos prótons de hidrogênio a imagem se aproximará de preto.			
62. As partículas elementares são as menores partículas que constituem a matéria.			
63. O Modelo Padrão é um modelo que organiza as partículas elementares e suas interações.			
64. Os elétrons, os prótons e os nêutrons são as menores partículas que existem.			
65. Os radioisótopos emitem radiação eletromagnética (gama) e/ou corpusculares (beta).			
66. Na PET (Tomografia por Emissão de Pósitron) há a emissão de um pósitron pelo radioisótopo. Esse pósitron se aniquila com um elétron, emitindo dois raios gama em sentidos opostos que são detectados pelos detectores no aparelho.			
67. Há poucas clínicas com PET porque elas precisam estar próximas a um acelerador de partículas que produza os radioisótopos de meia vida curta usados nessa técnica.			
68. As PETs e TCs da mesma área são frequentemente lidos em simultâneo para correlacionar informações fisiológicas com alterações morfológicas, a esses aparelhos denomina-se de PET/CT.			
69. A PET/CT sobrepõe às imagens metabólicas (PET) às imagens anatômicas (CT), produzindo assim um terceiro tipo de imagem.			
70. A SPECT (Tomografia Computadorizada por Emissão de Fóton Único) é uma técnica similar à PET, mas as substâncias radioativas usadas na SPECT possuem tempos de decaimento mais longos, e emitem raios gama simples ao invés de duplos.			
71. Na PET há a emissão de pósitron já na SPECT há a emissão de fóton.			
72. Os exames SPECT e PET são de grande utilidade na avaliação funcional de vários órgãos, embora não apresentem a alta definição dos exames radiológicos convencionais. Por outro lado são exames mais sensíveis do que esses últimos podendo detectar mais facilmente distúrbios funcionais.			

Caso queira justificar alguma resposta, utilize o espaço abaixo.

Agradecemos sua atenção e disponibilidade em responder o questionário. Essas informações são fundamentais para a nossa pesquisa.

APÊNDICE D – Questionário qualitativo aplicado nos cursos

As questões abaixo são dissertativas e visam perceber o que vocês sabem sobre o assunto que será apresentado na aula de hoje.

Responda as questões com o máximo de informações que vocês souberem sobre o assunto. Se necessário utilizem o verso para responderem.

1. O aparelho de Ultrassonografia envolve muitos conceitos de Física. Descreva aqueles que você considera importante no equipamento de Ultrassonografia. Justifique.
2. Descreva, fisicamente, o funcionamento de um equipamento de Ultrassonografia.
3. Os transdutores, no aparelho da Ultrassonografia, são formados por material piezoelétricos. Quais são as características desse tipo de material?
4. Como a informação captada pelos olhos chega até o cérebro? Explique através do efeito fotoelétrico.
5. Quais são as três formas de interação da radiação com a matéria? Cite aplicações de cada uma delas.
6. Qual (is) relação (ões) existe(m) entre a imagem radiográfica e o Efeito Fotoelétrico?
7. Qual (is) relação (ões) existe(m) entre a imagem radiográfica e o Efeito Compton?
8. Como é utilizada a Aniquilação de Pares na Tomografia por Emissão de Póstrons (PET)?
9. Como são produzidas as radiações?

Agradecemos sua atenção e disponibilidade em responder o questionário. Essas informações são fundamentais para a nossa pesquisa.

APÊNDICE E - Questionário conhecimentos prévios aplicado nos cursos

QUESTIONÁRIO SOBRE ALGUNS CONCEITOS DE FÍSICA

Este questionário visa obter informações sobre o seu conhecimento prévio de alguns conceitos de Eletromagnetismo, Óptica, Física Moderna e Contemporânea. Instruções:

Em cada questão são apresentadas algumas proposições. Escolha somente uma alternativa, a que julgar mais adequada. As respostas não são do tipo “certo ou errado”. O teste visa medir a proximidade do seu conhecimento prévio em relação ao conhecimento científico e não se você “sabe ou não sabe”.

Procure não “chutar”. Se não souber responder, marque a opção “não sei”.

1.No seu entender, o ultrassom:

- a) é uma radiação ionizante.
- b) é uma onda sonora com frequência abaixo das audíveis pelos seres humanos.
- c) é prejudicial à saúde.
- d) se manifesta por produzir alterações no meio em que está se propagando.
- e) não sei.

2.O aparelho de ultrassom

- a) possui uma sonda composta por cristais que apresentam somente efeito piezoeletrico.
- b) transforma corrente elétrica em energia elétrica.
- c) transforma energia mecânica (ondas de ultrassom) em corrente elétrica.
- d) utiliza gel para aumentar a intensidade do ultrassom.
- e) não sei.

3.Quando elétrons são retirados da eletrosfera do átomo (p. ex. por uma captura eletrônica), a vacância originada é imediatamente preenchida por um elétron de orbitais inferiores. Esse elétron, ao passar de um estado mais ligado para outro menos ligado (mais afastado do núcleo), libera o excesso de energia emitindo radiação eletromagnética, cuja energia é igual à diferença entre a energia dos estados inicial e final. Esse processo é chamado de produção de radiação característica.

- a) Concordo.
- b) Discordo.
- c) Não sei.

4.Um elétron (negativo), ao passar nas proximidades de um núcleo (positivo), experimenta uma força de atração elétrica e é desviado de sua direção original. Ao variar de direção, o elétron perde energia cinética. A energia cinética perdida pelo elétron é emitida na forma de um fóton. O processo descrito é chamado de emissão de radiação por freamento.

- a) Concordo.
- b) Discordo.
- c) Não sei.

5.O efeito fotoelétrico possui várias aplicações, como, por exemplo, levar as informações que os olhos captam até o cérebro, mais especificamente ao córtex visual. O efeito fotoelétrico é a capacidade da luz de, ao incidir sobre um material, geralmente um metal, arrancar elétrons. As ondas eletromagnéticas são compostas por fótons (pacotes de energia) que, ao incidirem sobre um elétron, podem dar a ele energia suficiente para se desprender do átomo (efeito fotoelétrico).

- a) Concordo.
- b) Discordo.
- c) Não sei.

6.No efeito Compton, diferentemente do efeito fotoelétrico, o elétron não possui energia suficiente para se desprender do átomo, ele apenas absorve toda ou parte da energia do fóton. Quando o elétron absorve toda a energia do fóton, ele muda para uma camada mais externa. Ao retornar, o elétron emite a radiação absorvida. Quando absorve apenas parte da radiação, há duas ondas: uma decorrente da mudança de camada e outra devido ao desvio da radiação incidente, ocasionada pela incidência do fóton no elétron, conforme previsto pela conservação do momento angular.

- a) Concordo.
- b) Discordo.
- c) Não sei.

7.Os processos de aniquilação e produção de pares surgiram da necessidade de se explicar os resultados da equação de Dirac, que tem como soluções uma energia negativa e uma energia positiva. Dirac assumiu que os níveis de energia negativa estavam todos ocupados, de modo que os elétrons de energia positiva não poderiam cair em um “buraco” da energia negativa. Esse “buraco” de energia negativa é interpretado como uma antipartícula (antimatéria), por exemplo, um pósitron. O processo inverso pode ocorrer, se um elétron de energia positiva cair em um “buraco”; nesse caso seria emitido um fóton e o elétron seria aniquilado pelo “buraco”.

- a) Concordo.
- b) Discordo.
- c) Não sei.

8.Se tivermos duas bobinas, elas podem funcionar a partir do seguinte processo: corrente elétrica alternada na primeira bobina gera um campo magnético variado na segunda bobina, que, por sua vez, produz nela uma corrente elétrica alternada.

- a) Concordo.
- b) Discordo.
- c) Não sei.

9. Em relação aos Raios-X é correto afirmar que

- a) é um tipo de radiação eletromagnética ionizante. X
- b) necessitam de um meio material para se propagar, não se propagam no vácuo.
- c) são produzidos quando elétrons de baixa energia são subitamente desacelerados.
- d) podem ser bloqueados por chumbo e a espessura não dependerá da energia dos Raios-X.
- e) não sei.

10. No intensificador, a imagem é produzida de acordo com a seguinte sequência: fótons de luz são

- transformados em fótons Raios-X, que geram corrente elétrica, e esta, gera imagem.
- a) Concordo.
b) Discordo.
c) Não sei.
11. A fluoroscopia trabalha com doses de radiação maiores do que os demais equipamentos de Raios-X, dessa forma, embora o tempo de exposição seja o mesmo, as doses de radiação que chegam aos pacientes são maiores na fluoroscopia.
- a) Concordo.
b) Discordo.
c) Não sei.
12. Quando se aumenta o valor do kVp (diferença de voltagem entre o cátodo e o ânodo no equipamento de Raios-X), aumenta-se também a energia dos Raios-X e, conseqüentemente, a capacidade de penetração da radiação no paciente, afetando com isso o contraste da imagem. Para valores baixos de kVp, os fótons não possuem energia suficiente para atravessar o paciente, sendo absorvidos, o que requer uma maior dose de radiação. Portanto, mantido o mesmo valor para a corrente elétrica (medida em miliampères), quanto menor o valor de kVp, mais clara será a imagem, para exames de Raios-X convencional.
- a) Concordo.
b) Discordo.
c) Não sei.
13. Os Raios-X chegam inicialmente ao écran, uma película que, em contato com os Raios-X, produz luz que impressiona o filme onde a imagem é produzida. O filme é protegido pelo chassi radiográfico, que impede que o filme seja sensibilizado por outras radiações.
- a) Concordo.
b) Discordo.
c) Não sei.
14. Se um tecido orgânico tiver baixa densidade, a imagem será mais escura em exames de Raios-X convencional e, portanto, terá alta densidade radiográfica. Os fótons que são atenuados ou espalhados atingirão o écran com alta intensidade em função da espessura do paciente e da densidade do tecido, produzindo assim uma imagem com diferentes níveis de cinza.
- a) Concordo.
b) Discordo.
c) Não sei.
15. O contraste, de uma imagem radiológica, é definido pela diferença entre a densidade Óptica dos objetos. Os componentes que podem ser radiografados são músculos, fluidos, tecido adiposo, gases e ossos, sendo que os três primeiros possuem densidades similares e, por isso, possuem pouco contraste na imagem radiográfica.
- a) Concordo.
b) Discordo.
c) Não sei.
16. A radioterapia é um método de tratamento que consiste na destruição de células cancerígenas, em especial na fase de multiplicação celular, utilizando radiações ionizantes eletromagnéticas (Raios-X e raios gama) e radiações corpusculares (partículas alfa e beta), que são de elevada frequência e, conseqüentemente, mais energéticas. A radioterapia é dividida em dois tipos: teleterapia (externa) e braquiterapia (interna).
- a) Concordo.
b) Discordo.
c) Não sei.
17. Aceleradores são túneis circulares que servem para acelerar partículas até que elas atinjam energias muito elevadas e possam emitir, além de Raios-X, feixes de elétrons e nêutrons com várias energias. Um exemplo de acelerador é o ciclotron e um dos mais conhecidos ciclotrons da atualidade é o LHC (Grande Colisor de Hádrons). Os aceleradores não possuem material radioativo no seu interior.
- a) Concordo.
b) Discordo.
c) Não sei.
18. Um detector a gás é constituído de um tubo cheio de gás, em que existe um eletrodo ao longo do eixo central. Se for criada uma diferença de potencial entre o eletrodo central e a parede, de maneira que o eletrodo seja positivo e a parede negativa, então o eletrodo atrairá os elétrons produzidos por ionização dentro do tubo. Os elétrons formarão um sinal elétrico, como um pulso de elétrons ou uma corrente contínua. O sinal elétrico é amplificado e medido. Sua intensidade é proporcional à intensidade da radiação que o causou.
- a) Concordo.
b) Discordo.
c) Não sei.
19. Os detectores de cintilação são formados por alguns materiais que emitem luz depois de algumas horas de terem absorvido um fóton de Raios-X. A quantidade de luz emitida é inversamente proporcional à quantidade de energia absorvida pelo material.
- a) Concordo.
b) Discordo.
c) Não sei.
20. Os dosímetros termoluminescentes são constituídos de um material que, ao ser submetido ao calor, libera a energia excedente (gerada, p. ex., pelo contato com radiação). Essa energia emitida é medida e seu valor indica a quantidade de radiação a que o dosímetro foi exposto.
- a) Concordo.
b) Discordo.
c) Não sei.
21. No processo de luminescência estimulada opticamente, a irradiação do óxido de alumínio estimula alguns elétrons a um estado excitado. Durante o processo, uma luz laser estimula estes elétrons, fazendo com que voltem ao estado original, com a conseqüente emissão de luz. A intensidade da luz é proporcional à dose de radiação recebida.
- a) Concordo.
b) Discordo.
c) Não sei.
22. Os detectores de estado sólido são formados por um material à base de fósforo que cintila (emite luz) pela passagem da radiação. A luz incide no núcleo do detector e emite elétrons (efeito fotoelétrico), dando origem a uma corrente elétrica que é inversamente proporcional ao fóton (radiação) incidente.
- a) Concordo.
b) Discordo.

c) Não sei.

23. No dosímetro de filme, a radiação produz alterações na densidade do filme revelado. Desta forma, pode-se quantificar a exposição da radiação, pois quanto menor for a intensidade da radiação, maior será o enegrecimento da imagem.

- a) Concordo.
- b) Discordo.
- c) Não sei.

24. Na tomografia computadorizada helicoidal, ao contrário da tomografia computadorizada, o emissor de radiação e os detectores fazem uma volta completa de 360° ao redor do paciente. Para isso, os cabos de fibra Óptica foram substituídos por anéis deslizantes. Uma superfície, do aparelho, é um anel liso e a outra é um anel com contatos eletrônicos que rastreiam as informações do anel liso. Essas informações geralmente são emitidas por radiofrequência.

- a) Concordo.
- b) Discordo.
- c) Não sei.

25. A Ressonância Magnética, também chamada de Ressonância Magnética Nuclear, é um exame moderno que utiliza radiação ionizante, raios gama, que são produzidos no núcleo, por isso o nome nuclear.

- a) Concordo.
- b) Discordo.
- c) Não sei.

26. A Ressonância Magnética Nuclear faz uso de campos magnéticos e radiofrequência. Na ausência de um campo magnético externo, a orientação dos spins nos tecidos é aleatória. Quando o magneto principal aplica um campo magnético, o vetor momento magnético se alinha com o campo (estado de equilíbrio). Ao se aplicar sobre os spins uma radiofrequência, eles ganham energia e mudam de orientação (estado fora de equilíbrio). Cessando o estímulo, os spins retornam ao alinhamento original, liberando a energia sob a forma de ondas de radiofrequência, que são captadas pelas antenas receptoras.

- a) Concordo.
- b) Discordo.
- c) Não sei.

27. O Modelo Padrão, que organiza as partículas elementares e suas interações, desempenha um papel análogo à tabela periódica para os elementos químicos.

- a) Concordo.
- b) Discordo.
- c) Não sei.

28. Dois elementos são chamados de isótopos se possuem igual número de elétrons e diferentes números de massa, quer dizer, apresentam diferente número de nêutrons.

a) Concordo.

b) Discordo.

c) Não sei.

29. A Medicina Nuclear consiste na administração de radiofármaco. Um radiofármaco incorpora dois componentes: um radioisótopo (partícula emissora de radiação beta, alfa e gama) e uma molécula orgânica com fixação preferencial em determinado tecido ou órgão.

a) Concordo.

b) Discordo.

c) Não sei.

30. Os radioisótopos usados na Medicina nuclear decaem em questão de dias, horas ou até mesmo minutos, têm níveis de radiação maiores do que os Raios-X e do que as tomografias computadorizadas e são eliminados pela urina ou pelas fezes.

a) Concordo.

b) Discordo.

c) Não sei.

31. Na Tomografia por Emissão de Pósitrons (PET), utiliza-se um radioisótopo emissor de pósitrons. Ao se chocarem, o pósitron e o elétron aniquilam-se, emitindo dois raios gamas.

a) Concordo.

b) Discordo.

c) Não sei.

32. Na tomografia PET há a emissão de dois raios gama enquanto que na SPECT ocorre a emissão um único raio gama.

a) Concordo.

b) Discordo.

c) Não sei.

Caso queira justificar alguma resposta, utilize o espaço abaixo.

Agradecemos sua atenção e disponibilidade em responder o questionário. Essas informações são fundamentais para o desenvolvimento das aulas sobre Física aplicada à Medicina que estaremos iniciando logo em seguida.

APÊNDICE F- Pré e pós-teste aplicado nos cursos

Atenção: Não é necessário identificação.

Assinale apenas uma alternativa para cada questão, observando a seguinte escala:

C = Concordo; NS = Não sei; D = Discordo

	C	NS	D
1. A Ultrassonografia faz mal para a saúde.			
2. Os Raios-X sempre possuem mais energia que os raios gama.			
3. A produção de Raios-X por freamento ocorre quando um elétron energético, ao se aproximar de um átomo é desviado de sua órbita devido à atração do núcleo; esse freamento libera energia em forma de uma onda eletromagnética.			
4. O efeito fotoelétrico é um dos responsáveis para levar as informações do olho até o córtex visual (no cérebro).			
5. O efeito fotoelétrico é a emissão de elétrons por um material quando exposto a uma radiação eletromagnética (como a luz) de frequência suficientemente alta para arrancar o elétron do material.			
6. A frequência necessária para ejetar elétrons de um material depende da natureza desse.			
7. O efeito Compton ocorre quando um elétron muda para uma camada mais energética e ao voltar para seu estado de origem (menos energético) libera a energia excedente em forma de radiação.			
8. A aniquilação de pares ocorre quando uma matéria e sua antimatéria, por exemplo, os elétrons e os prótons, se encontram.			
9. A antimatéria possui as mesmas características da matéria, como é o caso dos prótons e dos elétrons.			
10. Sob determinada pressão mecânica alguns materiais emitem corrente elétrica.			
11. Alguns materiais quando estimulados por um sinal elétrico produzem deformações mecânicas.			
12. Uma forma de analisar as estruturas em movimento, na Ultrassonografia, faz uso do efeito Doppler.			
13. A radiação ionizante pode trazer ações indiretas (produção de radicais livres).			
14. O fóton é outro nome que se dá à luz.			
15. A Meia Vida é o tempo de vida de cada radionuclídeo.			
16. O decaimento radioativo ocorre quando há a emissão de radiação (corpúscular ou ondulatória), tendendo a deixar o átomo estável.			
17. Áreas, nos filmes, que são expostas a menos radiação ficam mais escuras e as áreas expostas a mais radiação aparecem mais claras.			
18. Os materiais mais duros absorvem menos a radiação.			
19. A maior tarefa do gerador é fornecer uma voltagem alta para produzir Raios-X com suficiente energia e adequada quantidade de radiação.			
20. O grau de absorção é determinado somente pelo número atômico do material.			
21. A absorção fotoelétrica predomina sobre a dispersão Compton com Raios-X de baixa energia.			
22. Quando utilizado o sinal analógico a informação é convertida para bits.			
23. Os meios de contrastes são materiais que emitem radiação.			
24. Na Ressonância Magnética Nuclear (RMN) a função dos meios de contraste é mudar o campo magnético no local onde será aplicado o exame.			
25. A principal função do fluoroscópico é proporcionar imagens em tempo real de estruturas anatômicas.			
26. É a kVp (voltagem entre o ânodo e o cátodo) que determina a quantidade de fótons emitidos pelo equipamento de Raios-X			
27. É a corrente elétrica que determina a energia dos Raios-X.			
28. No intensificador a imagem é produzida seguindo a seguinte sequência: fótons de Raios-X que são transformados em fótons de luz e, em seguida, corrente elétrica e, finalmente, em imagem.			
29. Para valores baixos de kVp há maior absorção de radiação pelo paciente.			
30. Quanto menor for o valor de kVp mais escura será a imagem se permanecer o mesmo valor em miliampéres (mA).			

31. Os Raios-X chegam inicialmente ao écran que em contato com os Raios-X produzem luz, essa luz impressiona o filme onde é produzida a imagem.			
32. A radioterapia é um método de tratamento que consiste na destruição de células cancerígenas.			
33. A radioterapia utiliza apenas Raios-X.			
34. Nos dosímetros de filmes, a radiação produz alterações na densidade Óptica do filme revelado.			
35. A tomografia computadorizada (TC) tem como principal vantagem, em relação a exames radiológicos convencionais, a não sobreposição de imagens de estruturas anatômicas.			
36. O exame de Ressonância Magnética (RM) utiliza radiação ionizante.			
37. A RM utiliza a capacidade dos prótons teciduais receberem e devolverem energia através de ondas de radiofrequência.			
38. Na ausência de um campo magnético externo, a orientação dos spins nos tecidos é organizada.			
39. Ao ser aplicado um campo magnético fornecido pelo magneto principal, os spins se alinham de acordo com ele.			
40. Quanto maior a concentração do elemento hidrogênio em um segmento estimulado, mais fraco será o sinal de ressonância.			
41. As partículas elementares são as menores partículas que constituem a matéria.			
42. Os elétrons, os prótons e os nêutrons são as menores partículas que existem.			
43. Os radioisótopos emitem somente radiação eletromagnética (gama).			
44. Na PET (Tomografia por Emissão de Pósitron) há a emissão de um pósitron pelo radioisótopo.			
45. Na PET um pósitron se aniquila com um elétron emitindo Raios-X.			
46. A PET/CT sobrepõe às imagens metabólicas (PET) às imagens anatômicas (CT).			
47. A SPECT (Tomografia Computadorizada por Emissão de Fóton Único) há a emissão de raios gama duplos.			
48. Na PET há a emissão de pósitron já na SPECT há a emissão de fóton.			

Caso queira justificar alguma resposta, utilize o espaço abaixo.

Agradecemos sua atenção e disponibilidade em responder o questionário. Essas informações são fundamentais para a nossa pesquisa.

APÊNDICE G- Análise das aulas

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE FÍSICA

CURSO: APLICAÇÕES DOS CONTEÚDOS DE ELETROMAGNETISMO, ÓPTICA, FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NA MEDICINA

Semestre: 2010/1

Data:

Ementa: tipos de ondas, estrutura atômica, radiação, espectro eletromagnético, radiação ionizante e não ionizante, produção de Raios-X (característico, Bremsstrahlung), radioatividade, três tipos principais de radiação ionizante (alfa, beta, gama), interação da radiação com a matéria, efeito Compton, efeito fotoelétrico, aniquilação e produção de pares, relação entre matéria e energia, características das ondas, cristais piezoelétricos, efeito Doppler, isótopos e radioisótopos, unidades de medida das radiações, meia vida, corrente elétrica, resistência elétrica, carga, voltagem, potência, gerador, retificador, meios de contraste, sinal analógico e digital, transformador, ânodo, cátodo, filtro, blindagem, ressonância, campo magnético, meia vida e radioatividade.

Aplicações: Ultrassonografia, exposição natural e acidentes nucleares, funcionamento do olho humano e alguns defeitos da visão (astigmatismo, miopia, hipermetropia), funcionamento da radiografia convencional e da mamografia, fluoroscopia, fluoroscopia digital, imagem radiográfica, teleterapia, braquiterapia, tomografia computadorizada (TM), tomografia computadorizada helicoidal, Ressonância Magnética Nuclear (RMN), detectores de radiação, Medicina Nuclear, PET, SPECT.

Caro (a) aluno:

Peço que responda com sinceridade as questões abaixo, pois assim estará contribuindo com a qualificação do meu trabalho. Quando responder que “não” ou “às vezes” peço que justifique, na coluna justificção, de forma mais detalhada e específica possível, caso queira justificar quando assinalar “sim” não há problema. Use o verso da folha se necessário. Não é necessário se identificar. MUITO OBRIGADA.

I- O material entregue durante o curso

	Sim	Não	Às vezes	Justificação
1. Possui metodologias/recursos adequados para a compreensão dos conteúdos?				
2. Explica com clareza os conteúdos?				
3. Possui uma linguagem clara e objetiva?				
4. Os conteúdos do curso (ou parte deles) já eram de seu conhecimento?				
5. Você teve dificuldades de compreensão (anteriormente ou durante o curso) sobre o conteúdo apresentado?				
6. Os exemplos auxiliaram na compreensão dos conteúdos?				
7. Os exercícios auxiliaram na compreensão dos conteúdos?				
8. As várias atividades diferenciadas, tais como jogos e atividades experimentais, lhe auxiliaram na compreensão do conteúdo?				
9. A dimensão do material entregue durante o curso foi satisfatória?				
10. Os conteúdos estão em uma ordem boa?				
11. A aparência dos materiais entregues durante o curso estavam boas?				
12. As imagens presentes nos materiais entregues durante o curso auxiliaram na compreensão do conteúdo?				
13. Você acha possível aplicar esse material no Ensino Médio?				

II- Quanto às atividades desenvolvidas (jogos, atividades experimentais, simulação computacional, modelagem, colagem, dentre outros):

	im	ão	s vezes	J ustificação
14. Foram dinâmicas agradáveis?				
15. Oportunizaram que você entendesse bem o conteúdo?				
16. Foram detalhadas com clareza?				

III- Cite duas atividades que você mais gostou de realizar. Por quê?

IV- Cite duas atividades que você não gostou de realizar. Por quê?

V- Quais das atividades proporcionaram a você melhor compreensão dos conteúdos? Justifique.

VI- Você teve dificuldades de compreensão sobre algum dos conteúdos abordados no curso? Teve-se, cite quais deles e no que você apresentou dificuldade.

VII- Qual sua opinião sobre a estratégia utilizada na aula? Segundo você, a estratégia auxiliou no seu aprendizado? Cite sugestões, críticas referentes à estratégia utilizada.

VIII- Cite sugestões, críticas referentes ao material utilizado no curso?

IX- Se você quiser deixar mais alguma sugestão, crítica pode aproveitar o espaço abaixo.

APÊNDICE I - Roteiro Entrevista quarta aplicação: aluno Marcelo

Esclarecimentos de equívocos apresentados nos mapas conceituais e nas situações-problema:

1. Onde se forma a imagem no osso se chama filme e não Raios-X.
2. Os Raios-X não emitem fótons eles são formados por fótons.
3. A radiação não encontra fótons, mas sim os elétrons.
4. Quando os fótons de Raios-X encontram o elétron do átomo ele não apenas muda-o de camada, mas ejeta-o.
5. Nem sempre o número de prótons é proporcional ao número de elétrons.
6. “O material que é mais denso vai possuir uma imagem radiológica mais clara”. Esta afirmação pode ser verdadeira ou não, pois depende de qual exame é feito.
7. Os Raios-X são mais absorvidos se interagem com materiais mais densos.
8. “Os Raios-X são menos perigosos do que os raios gama”. Nem sempre isso é verdadeiro, pois os Raios-X possuem um espectro mais amplo do que os raios gama, podendo ser menos energético, com igual energia ou mais energético.
9. As cápsulas usadas na braquiterapia são levadas até as células cancerígenas por um tubo revestido por chumbo e não é tirada a capa dentro do corpo da pessoa.

Questões:

10. Por que a voltagem não ajuda a identificar dois tecidos com densidades semelhantes?
11. Por que se for alterado a densidade do tecido consegue-se distinguir tecidos diferentes? Qual relação da densidade com a formação da imagem?
12. Se for colocado, na região onde tem o câncer, uma substância que absorve mais radiação, a radiação ionizante vai ter mais probabilidade de destruir as células cancerígenas?
13. A radiação, na teleterapia, precisa possuir mais energia que na braquiterapia?

APÊNDICE J - Roteiro Entrevista quarta aplicação: aluna Morgana

Esclarecimentos de equívocos apresentados nos mapas conceituais e nas situações-problema:

1. Os Raios-X não são refletidos são reemitidos.
2. O contraste deve ser medido em função de algo, não posso dizer que tal tecido possui mais ou menos contraste.
3. A imagem, para ser mais clara ou mais escura, dependerá do tipo de exame que é realizado.
4. Apenas olhar para a imagem, depois de fazer o exame, não ajuda a distinguir tecidos com densidades semelhantes.
5. Como a radiação gama é muito intensa ela tem alta probabilidade de romper a membrana celular.

Questões:

6. O que são átomos estáveis?
7. Porque a radiação alfa e beta possuem pouca capacidade de penetração ao contrário da radiação gama e dos Raios-X? Relacione isto aos dois tipos de radioterapia.
8. A radiação alfa possui energia suficiente para romper a membrana celular?
9. Se a radiação fosse emitida pelos olhos, ela também seria refletida e absorvida pelos corpos, do mesmo modo que a luz emitida por uma fonte externa. Você concorda com esta afirmação?
10. Do mesmo modo de quando a radiação é emitida por um corpo externo, se a radiação fosse emitida pelos olhos há corpos que não são vistos sob algumas condições específicas. Você concorda com esta afirmação?
11. Como funciona os anéis deslizantes?

APÊNDICE K - Roteiro Entrevista quarta aplicação: aluna Janaína

Esclarecimentos de equívocos apresentados nos mapas conceituais e nas situações-problema:

1. Os Raios-X não são refletidos são reemitidos.
2. O contraste deve ser medido em função de algo, não se pode dizer que tal tecido possui mais ou menos contraste.
3. Como a radiação gama é muito intensa ela tem alta probabilidade de romper a membrana celular.
4. Se a radiação fosse emitida pelos olhos, ela também seria refletida e absorvida pelos corpos, do mesmo modo que a luz emitida por uma fonte externa.
5. Do mesmo modo de quando a radiação é emitida por um corpo externo, se a radiação fosse emitida pelos olhos, há corpos que não são vistos sob algumas condições específicas.

Questões:

1. O que são átomos estáveis?
2. Por que a imagem, para ser mais clara ou mais escura, depende do tipo de exame que é realizado?
3. Como pode-se fazer para distinguir dois tecidos de densidades semelhantes?
4. Porque a radiação alfa e beta possuem pouca capacidade de penetração ao contrário da radiação gama e dos Raios-X? Relacione isto aos dois tipos de radioterapia.
5. Qual relação existe entre ter mais moléculas (mais gás) para ionizar e a detecção de radiações por um detector de radiações ionizantes?
6. Como o sinal elétrico pode ser medido?
7. A radiação alfa pode possuir energia suficiente para romper a membrana celular?
8. Como funciona os anéis deslizantes?

APÊNDICE L - Roteiro Entrevista quarta aplicação: aluna Marta

Esclarecimentos de equívocos apresentados nos mapas conceituais e nas situações-problema:

1. O efeito fotoelétrico é diretamente relacionado à absorção. Se há mais absorção há mais efeito fotoelétrico.
2. No tungstênio é produzido Raios-X por freamento e não por arrancar elétrons.
3. “O que é mais denso vai ficar mais claro”. Esta afirmação pode ser verdadeira ou não, depende de qual exame é feito.
4. Os Raios-X são mais absorvidos se por onde passam encontram materiais mais densos.
5. “Os Raios-X são menos perigosos do que os raios gama”. Nem sempre isso é verdadeiro, pois os Raios-X possuem um espectro mais amplo do que os raios gama, podendo ser menos energéticos, com igual energia ou mais energéticos.
6. As cápsulas usadas na braquiterapia são levadas até as células cancerígenas por um tubo revestido por chumbo e não é tirada a capa dentro do corpo da pessoa.
7. A radiação, na teleterapia, precisa possuir mais energia que na braquiterapia.

Questões:

1. Por que se alteramos a densidade do tecido conseguimos distinguir tecidos diferentes? Qual relação da densidade com a formação da imagem?
2. Se colocarmos, na região onde há um câncer, uma substância que absorve mais radiação, a radiação gama vai ter mais probabilidade de destruir as células?
3. O que significa dizer que a teleterapia age no todo?
4. Se for colocado uma substância mais densa, essa destrói mais facilmente as células cancerígenas?
5. Relacione a quantidade de elétrons ao número atômico. Explique por que utiliza-se chumbo e não outros tipos de materiais.
6. Por que o filtro deixa passar apenas energias mais altas?
7. Por que na mamografia utiliza-se Raios-X característico e no aparelho de Raios-X convencional radiação de freamento?
8. Como tela-película transforma Raios-X em luz?
9. Como o chassi protege o filme da luz?
10. Como o diodo "une" os pulsos elétricos?

APÊNDICE M - Material de apoio

M.1. Aulas 1 e 2

M.1.1 Esquema de trabalho

Concepções alternativas- segundo Aiziczon e Cudmani (2007) as pessoas:

- não discriminam onda sonora de percepção acústica;
- confundem o som com uma onda ou fenômeno físico e o som como audição;
- relacionam equivocadamente a intensidade e a dor e a intensidade e a frequência para o ouvido humano;
- confundem onda e vibração e ruído e som.

Organizador Prévio:

Objetivo do organizador: propiciar uma interação entre conceitos novos com os já existentes na estrutura cognitiva dos alunos, buscando uma aprendizagem significativa, mais especificamente, utilizar o conceito de energia térmica para ancorar os conhecimentos referentes a energia dos Raios-X.

Descrição do organizador prévio: estoura-se, em conjunto com os alunos, pipocas. Depois tenta-se estourar pipoca através de ondas de celular. Para fazer isto colocam-se três celulares ao redor dos grãos de pipoca e liga-se simultaneamente para eles. Procura-se, através desta atividade, estimular os alunos para que eles percebam a relação entre a energia fornecida pelo fogo e a energia fornecida pela radiação do celular à pipoca, buscando perceber as diferenças e semelhanças entre ambas. Pode-se discutir também quando as radiações fazem bem ou mal a saúde, que fatores influenciam para isso, os diferentes tipos de radiação, o que as caracterizam, como são produzidas. Portanto, os alunos do curso, em conjunto com a pesquisadora, devem debater, brevemente, sobre o tema, para ser introduzido os conceitos que envolvem radiações, que serão utilizados ao longo de todo o curso.

Uma informação: segundo Gaspar (2000), as ondas de celular têm 3 ou 4 frequências que podem ser $8,5 \cdot 10^8$, $9 \cdot 10^8$, $1,8 \cdot 10^9$ e $1,9 \cdot 10^9$ Hz, enquanto que o infravermelho está na faixa de 10^{12} a 10^{14} Hz, como a frequência e a energia são diretamente proporcionais, pode-se evidenciar que a energia do infravermelho é maior. Para que a pipoca estoure é necessário fornecer uma energia suficiente, a energia do celular é insuficiente para estourar a pipoca, justificando o porquê de ser possível estourar pipocas através da transferência de energia térmica de uma chama e de não ser possível fazer isso com as ondas do celular. Pode-se ver a relação entre energia e frequência na Figura 81.

Situação-problema: se você fosse técnico em radiologia e soubesse que:

- o chumbo possui um número atômico (Z) elevado (82), em relação a maioria dos elementos da tabela periódica;
- o efeito fotoelétrico é o maior responsável pela absorção da radiação e é proporcional a Z^3 .

Com base nas afirmações acima, explique para um paciente, por que é utilizado placa de chumbo para as pessoas se protegerem dos Raios-X?

Assunto: tipos de ondas; estrutura atômica; radiação e espectro eletromagnético; radiação ionizante e não ionizante; radioatividade; três tipos principais de radiação ionizante: alfa, beta (pósitron), gama; interação da radiação com a matéria: efeito Compton, efeito fotoelétrico, aniquilação e produção de pares; relação entre matéria e energia; características das ondas; cristais piezoelétricos; efeito Doppler; Ultrassonografia; produção de Raios-X (característico e Bremsstrahlung); isótopos e radioisótopos.

Conceitos envolvidos:

Ultrassonografia: ondas longitudinais, ondas de ultrassom, ondas eletromagnéticas, ondas mecânicas, energia, frequência, comprimento de onda, campo magnético, campo elétrico, elétron, polarização, próton (número atômico), absorção, corrente elétrica, camadas eletrônicas, molécula, polarização, campo magnético variado, eletrosfera, densidade, impedância acústica, velocidade, pressão, força, área, reflexão, refração e fóton.

Produção de radiação: ondas eletromagnéticas, energia, frequência, comprimento, elétron, próton (número atômico), nêutron, ionização, atração, repulsão, força nuclear forte, fraca e elétrica, pósitron, matéria e antimatéria, radiação, absorção, fóton, radioatividade, camadas eletrônicas, momentum, massa, velocidade, núcleo, eletrosfera, partícula, corrente elétrica, voltagem e aniquilação de pares.

Interação da radiação com a matéria: ondas eletromagnéticas, energia, frequência, comprimento, elétron, próton (número atômico), ionização, pósitron, matéria e antimatéria, radiação, absorção, espalhamento, emissão de radiação, corrente elétrica, voltagem, fóton, camadas eletrônicas, momentum, massa, velocidade, eletrosfera, densidade, trabalho, energia cinética, aniquilação e produção de pares, efeito fotoelétrico e Compton.

Aplicação: Ultrassonografia.

Atividades: inicialmente, solicita-se aos alunos que respondam a uma situação-problema que deve ser entregue à pesquisadora. Em seguida, realiza-se uma aula expositiva, com projetor multimídia, na qual os alunos preenchem um quadro com informações. Essa aula expositiva será intercalada com simulações computacionais, colagem e coleta de dados. Posteriormente, serão realizadas atividades experimentais distribuídas em quatro grupos, cada um dos quais realizará as quatro atividades, analisando-as. Estas atividades experimentais estão detalhadas na subseção M. 1.4 Atividade 2: Atividades Experimentais. Em seguida, debate-se algumas questões com todos os alunos e, por último, haverá uma situação-problema a ser respondida individualmente e que será entregue por eles.

Fornece-se aos alunos os textos de apoio que se encontram na seção M.1.3.

Objetivos específicos: auxiliar os alunos a compreenderem significativamente: 1º) a produção de radiação Nuclear (alfa, beta e gama) e dos Raios-X (Característico, Bremsstrahlung); 2º) o funcionamento da Ultrassonografia; 3º) interação da radiação com a matéria, a partir dos assuntos propostos para a aula, através de materiais alternativos.

Metodologias: aula expositiva-dialogada, atividades experimentais, colagem painel sobre radiação eletromagnética e aplicações, simulações computacionais, coleta de dados e exercícios.

Testes para buscar indícios de aprendizagem significativa: situação-problema para ser respondida antes e após a aula.

A Física está dividida em dois campos: a Física clássica, da qual alguns precursores foram Newton, Galileu, e a Física Moderna cujos fundadores foram, dentre outros, Einstein, Planck e de Broglie.

Embora a maioria dos equipamentos utilizados na área da saúde sejam baseados nos conhecimentos oriundos da Física Moderna, é indispensável, o estudo de tais equipamentos, partindo da Física Clássica, o que propõem-se para a primeira parte do presente material.

M.1.2 Atividade 1. Apresentação em projetor multimídia e complementação dos desenhos abaixo

Síntese: nessa atividade sugere-se apresentar no projetor multimídia os seguintes assuntos: tipos de ondas; características das ondas mecânicas; eco; efeito Doppler; ondas ultrassônicas; cristais piezoelétricos; Ultrassonografia; o que é radiação; estrutura atômica; radiação; espectro eletromagnético; tipos de radiação do espectro; radiação ionizante e não ionizante; três tipos principais de radiação ionizante: alfa, beta (pósitron), gama; interação da radiação com a matéria. Enquanto isso os alunos completarão, com suas próprias palavras, as lacunas próximas as figuras abaixo, de modo a terem um resumo do assunto com eles e, dessa forma, pensarem mais sobre o que está sendo apresentado. Tal atividade possui como objetivo principal tornar o aluno mais ativo, pois para ele conseguir resumir o que está sendo apresentado precisará compreender e para isso precisará participar mais das aulas. Essa atividade será intercalada com simulações computacionais, captação de dados e confecção de painel.

As explicações das figuras encontram-se na seção M.1.3 Texto de apoio e a apresentação no projetor multimídia na seção APÊNDICE N- CD com material exposto em aula.

TIPOS DE ONDAS E SUAS CARACTERÍSTICAS

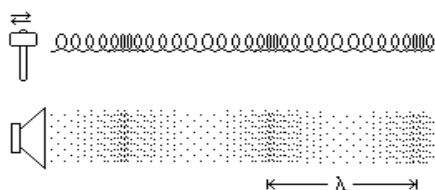


Figura 43: propagação de onda longitudinal.
Fonte: <http://www.searadaciencia.ufc.br>



Figura 44: propagação de onda transversal.
Fonte: <http://www.searadaciencia.ufc.br>

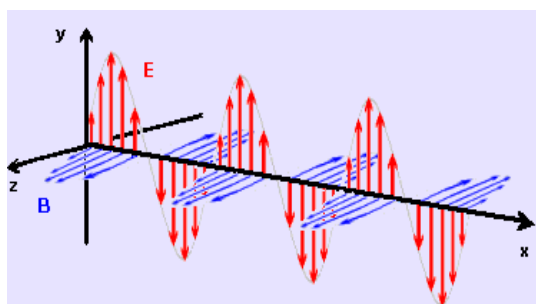


Figura 45: propagação de onda eletromagnética.
Fonte: <http://www.searadaciencia.ufc.br>

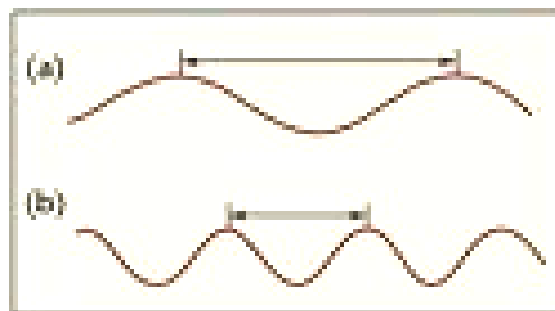


Figura 46: características das ondas.
Fonte: <http://www.searadaciencia.ufc.br>

M.1.3 Texto de apoio

M.1.3.1 Ultrassonografia

As ondas ultrassônicas são ondas mecânicas longitudinais, cuja as frequências estão acima da faixa de audibilidade dos seres humanos. As ondas mecânicas são produzidas por qualquer fonte vibratória, por exemplo, quando uma pessoa fala, ela move a boca, fazendo uma determinada força em uma área o que é chamado de pressão. Conforme Maclsaac (2002), as ondas mecânicas, dentre elas as ultrassônicas, se manifestam por produzirem alterações momentâneas no meio em que estão se propagando através de variação de pressão. Sendo uma onda mecânica necessita de um meio material para se propagar.

Segundo Garcia (2002), se a frequência da vibração da onda sonora for:

Menor do que 20 Hz, as ondas são denominadas infrassônicas;

Maior do que 20000 Hz, as ondas são denominadas ultrassônicas;

Entre 20 Hz e 20000Hz, são ondas que produzem sons audíveis para os seres humanos.

De acordo com Carneiro (2000), a Ultrassonografia é um método de diagnóstico por imagem que utiliza ondas de ultrassom, que, como visto nos parágrafos anteriores, são ondas sonoras com frequências acima das audíveis pelos seres humanos, mas audíveis por muitos animais, tais como cachorros, morcegos e golfinhos.

Foi em 1880 que Jacques e Pierre Curie descreveram as propriedades que determinados cristais naturais (quartzo e turmalina) possuem de, sob uma determinada pressão, emitirem corrente elétrica. Essa propriedade foi denominada de efeito piezoelétrico.

Esses cristais também têm a característica, de se estimulados por uma corrente elétrica, produzirem pulsos de ultrassom. Este é o que foi chamado de efeito piezoelétrico inverso, isto é, eletricidade gerando pressão.

M.1.3.1.1 Propriedades do ultrassom

Algumas propriedades físicas e formas de interação das ondas ultrassônicas com a matéria são similares, por exemplo, às das ondas luminosas, como é o caso da reflexão, refração, interferência, difração, espalhamento e absorção de energia.

Com exceção da interferência, que pode aumentar ou diminuir a intensidade do feixe de ondas, as outras interações reduzem a intensidade do feixe, ou seja, a onda é atenuada.

Segundo Durán (2003), quando o ultrassom é utilizado para diagnóstico em Medicina, geralmente é observada a reflexão dessas ondas na superfície que separa dois meios de impedância acústica Z_1 e Z_2 diferentes.

Conforme Garcia (2002), a impedância acústica depende da densidade do material (ρ) e da velocidade da onda ultrassônica (v), sendo calculada pela equação (4):

$$Z = \rho v \quad (4)$$

Quando a impedância dos dois meios são similares, quase toda a intensidade incidente é transmitida.

Outro fato que ocorre quando uma onda ultrassônica atravessa um meio homogêneo, como um tecido, é o decréscimo de sua intensidade com a distância. Na prática esse decréscimo, que é chamado de atenuação, é causado principalmente pelo espalhamento da onda sonora e por sua absorção.

Na absorção, a energia sonora é convertida em calor, essa é a propriedade usada em fisioterapia.

Segundo Garcia (2002) a potência ultrassônica usada para o tratamento varia entre

0,5 W/cm² e 5 W/cm². Acima de 2 W/cm² os efeitos lesivos são acentuados e, por isso, a técnica de aplicação exige que a posição do transdutor seja constantemente mudada.

A penetração dos ultrassons nos tecidos do corpo humano varia com o inverso da frequência das ondas ultrassônicas, ou seja, a atenuação do ultrassom aumenta com a frequência, razão pela qual existe um limite máximo na frequência a ser empregada clinicamente.

A Figura 66 mostra as ondas refletidas e transmitidas quando uma onda incide em uma superfície que separa dois meios fazendo um ângulo de 90° com o meio.



Figura 66: onda ultrassônica interagindo com a matéria.
Fonte: Durán, 2003.

A medida em que o som se propaga nos tecidos, parte dele é refletido de volta ao aparelho e parte é absorvida, com conseqüente atenuação do feixe sonoro.

Segundo Chazan (2007), quanto maior for a frequência do ultrassom, menor será sua penetração e melhor será a resolução da imagem.

A onda refletida na interface entre um tecido e outro do corpo humano retorna através do meio incidente com a mesma velocidade com que se aproximou da interface. Essa onda refletida, no caso do som, chama-se eco. A onda transmitida continua a se propagar após a interface, mas com velocidade característica do segundo meio. O ângulo de incidência e de reflexão são iguais, e vale a lei de Snell, como no caso da Óptica geométrica.

M.1.3.1.2. Aparelho de ultrassom

Segundo Okuno (1982), o transdutor ou sonda é o componente do equipamento que entra em contato com o paciente. Seu principal elemento é formado por cristais que apresentam os efeitos piezoelétrico e piezoelétrico inverso. Conforme pode-se ver na Figura 67.

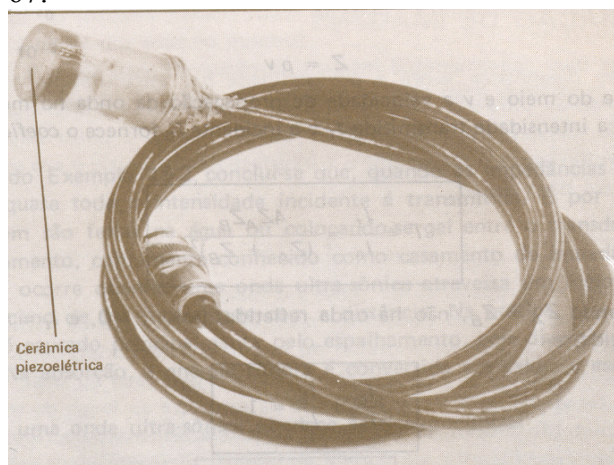


Figura 67: transdutor.
Fonte: Okuno (1982).

Cada transdutor possui uma frequência de ressonância natural, tal que quanto menor for a espessura do material, maior será a sua frequência de vibração, pois há menos massa, facilitando o movimento dos mesmos.

A Figura 49, mostra um material piezoelétrico, ao qual se aplica uma diferença de potencial. Esta surge devido a uma corrente elétrica alternada que, devido à indução

eletromagnética, gera um campo magnético também alternado. Como no material piezoelétrico os átomos são polarizados, ou seja, os prótons estão em um extremo e os elétrons estão em outro, se há um campo variado, esse campo atrairá os elétrons em um determinado tempo e depois os repeliram. Devido a essa atração e repulsão, o material piezoelétrico muda de dimensão e essa variação emite ondas ultrassônicas, de forma análoga ao que ocorre quando é variado o movimento das dimensões da boca de uma pessoa que fala e é emitido ondas sonoras.

Parte dessas ondas ultrassônicas são refletidas e, assim como o som, produzem variação na pressão momentânea por onde passam. Quando se encontram com o material piezoelétrico, devido a essa pressão, alteram as dimensões do material. Como o material é polarizado, essa variação na dimensão gera um campo magnético variado que, devido à indução eletromagnética, gera uma corrente elétrica variada.

A intensidade da corrente elétrica é proporcional à intensidade da onda ultrassônica refletida, pois se há uma onda ultrassônica mais intensa haverá mais variação nas dimensões do material piezoelétrico e, por sua vez, haverá mais variação na corrente elétrica.

A corrente elétrica é acelerada pelo tubo de televisão devido a alta voltagem deste. A corrente elétrica incide na tela, gerando as imagens, as quais são geradas porque a tela é composta de fósforo. Os elétrons, ao incidir sobre o fósforo, fornecem energia ao elétron que muda de camada (para uma mais externa). Quando retorna para uma mais interna, libera a energia excedente na forma de luz¹⁹ e, dessa forma, pode-se ver a imagem no monitor.

A potência de uma onda ultrassônica poderá ser:

- entre 0,5 W/ cm² e 5W/ cm², para aplicações clínicas. Acima de 2 W/cm² os efeitos lesivos são acentuados e, por isso, a técnica de aplicação exige que a posição do transdutor seja constantemente mudada.

- menores que 0,5 W/cm² para exames.

As diferentes estruturas do corpo humano refletem as ondas sonoras (ecos) que são captadas pelos mesmos cristais do transdutor e transformadas novamente em sinais elétricos.

Segundo Garcia (2002), após cada transmissão, os ecos que retornam são processados pelo equipamento, para transformar os sinais elétricos em imagem, a qual será projetada em um monitor de televisão. Conforme pode-se observar na Figura 50.

M.1.3.1.3 Imagens do ultrassom

Cada amplitude de eco corresponde a uma determinada faixa que varia entre o preto e o branco e que é denominada de escala de cinza, conforme pode-se observar na Tabela 40.

Segundo Koch, Ribeiro e Tonomura (1997) uma reflexão forte corresponde a uma imagem tendendo ao branco, enquanto a ausência de reflexão é visualizada como uma área preta.

Tabela 40: variação da ecogenicidade nos tecidos biológicos.

Fonte: Koch, Ribeiro e Tonomura (1997).

Termo	Cor	Produção de eco
Ecogênico, Hiperecogênico ou hiperecócico.	Branca	Ecos Intensos
Hipoecogênico	Níveis de Cinza	Ecos de Moderada e Baixa Intensidade
Anecócico	Preta	Não há eco

A maior parte dos tecidos biológicos transmite bem as ondas sonoras. O ar, o osso e

¹⁹ sempre que surgir a palavra luz, esta se refere ao espectro das ondas eletromagnéticas visível para o ser humano.

as estruturas calcificadas possuem densidade muito diferente dos tecidos moles (tecidos que possuem baixa densidade), não transmitindo bem o som, ou seja, a maioria das ondas de ultrassom são refletidas.

O líquido deixa passar a maioria das ondas de ultrassom, não produzindo reflexões ou ecos (imagem preta) no seu interior. Por tanto, pode-se utilizar um gel para fazer o exame, pois ele causa pouca reflexão se comparado aos demais materiais constituintes do corpo humano e é utilizado para aumentar a aderência entre o transdutor e o corpo. O gel é útil para eliminar o ar entre ambos, aumentando a transmissão dos sinais ultrassônicos ao interior do corpo e do eco de volta ao detector. Sendo assim pode-se classificar as estruturas examinadas de acordo com o grau de reflexão que produzem.

Segundo Okuno (1982), a informação diagnóstica sobre a profundidade das estruturas no corpo pode ser obtida enviando um pulso de ultrassom através do corpo e medindo o intervalo de tempo (Δt), entre o instante de emissão do pulso e da recepção do eco.

Como o pulso percorre duas vezes o mesmo caminho, pois sai do transdutor e volta até ele, divide-se a distância encontrada por 2. Pode-se calcular a distância da interface que produziu o eco pela equação 5:

$$d = \frac{v\Delta t}{2} \quad (5)$$

onde v é a velocidade de propagação do pulso no meio e d é a distância percorrida pela onda de ultrassom até ser refletida.

Okuno (1982) divide as formas de como o pulso resultante da reflexão do som pode ser mostrado em um tubo de Raios catódicos²⁰ em três tipos: varredura A, B e M.

Na Figura 68 (a) pode-se ver a varredura A de diagnose ultrassônica. Neste há o registro das amplitudes do eco. O eixo horizontal representa o tempo t e o eixo vertical a intensidade do sinal. O primeiro eco recebido é originado da parede abdominal, o segundo e o terceiro, respectivamente, da parede anterior e posterior do órgão e o quarto provém da vértebra.

O eco proveniente da vértebra é bastante intenso porque o osso reflete uma fração grande de energia das ondas ultrassônicas, principalmente em comparação aos outros tecidos de pequena densidade.

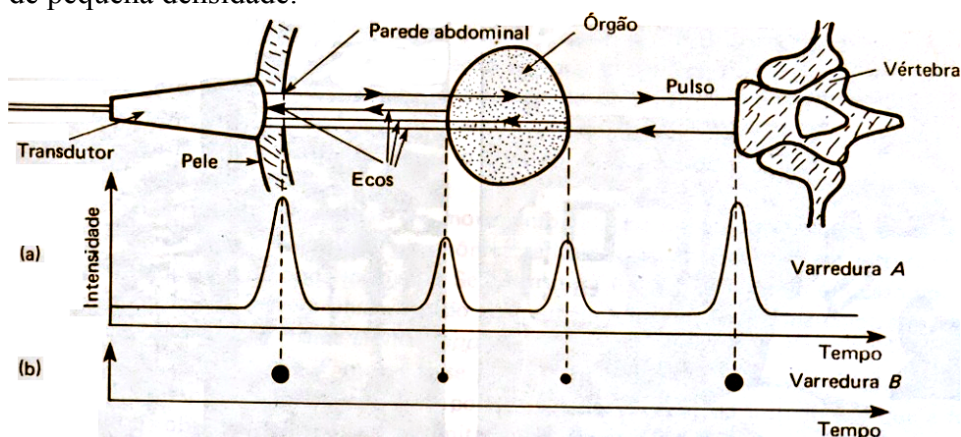


Figura 68: formação de imagens ultrassônicas pelas varreduras A (a) e B (b).

Fonte: Okuno (1982).

A varredura B na Figura 68 (b) possui o mesmo princípio de funcionamento que a varredura A, entretanto, nesse caso, cada eco é representado por um ponto brilhante na tela. A

²⁰ Os tubos de Raios Catódicos são tubos onde os elétrons saem de uma parte negativa chamada anodo e colidem no cátodo. Os elétrons são acelerados devido a uma diferença de potencial existente entre o cátodo e o anodo.

intensidade do brilho nos pontos, no modo B, corresponde à altura dos ecos no modo A.

A varredura B é usada para formação de uma imagem bidimensional. A posição e o brilho do eco são armazenados na memória do sistema até completar o movimento do transdutor acima do objeto, então a imagem é mostrada nas coordenadas x e y da tela do osciloscópio²¹. Por esse método pode-se obter informações sobre estruturas internas do corpo.

A varredura M serve para detectar estruturas que se movem. O transdutor é estacionário e os ecos aparecem como pontos brilhantes na tela em função do tempo.

Essa varredura é a mais usual, pois permite visualizar a forma do objeto estudado. Nessa técnica, o monitor precisa armazenar a informação da posição dos pontos, afim de que, para cada posição nova do feixe incidente, novos pontos apareçam no visor e, assim, se forme a imagem do órgão estudado.

A Figura 69 mostra esquematicamente como se forma a imagem de um órgão na varredura M. Nela está representado um órgão que possui quatro interfaces acústicas. O feixe de ultrassom atravessa o órgão seguindo várias direções (A, B, C e D). Isso é obtido ao mover o transdutor. Na posição A, o transdutor está colocado de tal forma que o feixe de ultrassom esta praticamente horizontal ao órgão analisado.

Cada estrutura refletora corresponde a um eco e cada um destes corresponde a um ponto brilhante na tela do monitor. Em seguida, a posição do transdutor é modificada e, varrendo-se o ângulo formado entre as posições A e B, novos pontos aparecem na tela. Movendo-se o transdutor para outras posições, pode-se construir a imagem do órgão na tela (C e D).

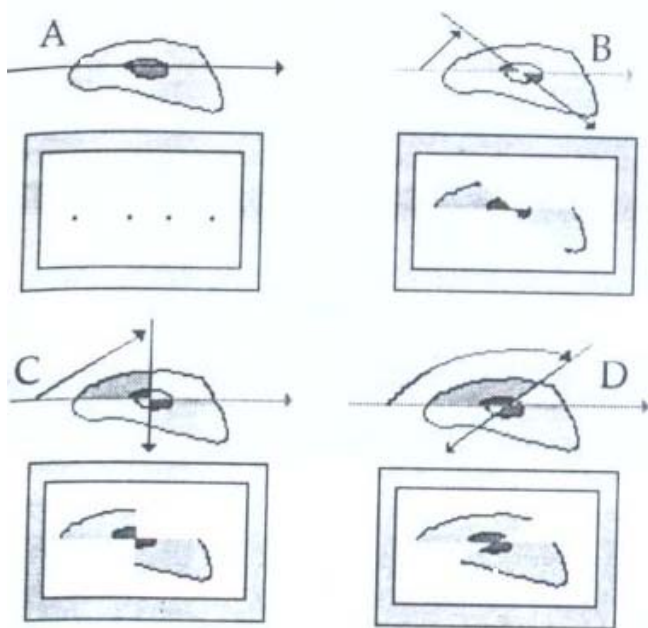


Figura 69: esquema da varredura M.
Fonte: Garcia (2002).

Outra forma de analisar as estruturas em movimento é através do efeito Doppler.

A frequência de uma onda ultrassônica refletida na interface de uma estrutura estacionária é igual a frequência da onda incidente. Se a estrutura for móvel, haverá uma variação na frequência da onda refletida em relação à onda incidente devido ao efeito Doppler.

Observem a Figura 48. Segundo Walker (2002), a medida que uma fonte sonora ligada aproxima-se do ouvinte, a frequência aumenta e, conseqüentemente, o comprimento de

²¹ O osciloscópio é um instrumento de medida eletrônico, que cria um gráfico bidimensional da tensão em função do tempo.

onda ouvida por ele diminui. Mas à medida que a fonte sonora se afasta do observador, o comprimento de onda aumenta e, conseqüentemente, a frequência ouvida pelo observador diminui.

O comprimento da onda que chega ao ouvinte estacionário, quando a fonte se aproxima do observador é dada pela equação 6:

$$\lambda_1' = \lambda - v_F f^{-1} = \frac{v}{f} - \frac{v_F}{f} \quad (6)$$

onde v é a velocidade de propagação da onda emitida pela fonte; v_F é a velocidade da fonte sonora; e f é a frequência da onda emitida pela fonte. Portanto, a frequência f'_1 correspondente ao som ouvido será:

$$f'_1 = f \left(\frac{v}{v - v_F} \right) \quad (7)$$

Se a fonte se afastar do observador, o comprimento da onda que chegará até ele será maior e, conseqüentemente, a frequência diminuirá, sendo calculada pela equação 8.

$$f''_1 = f \left(\frac{v}{v + v_F} \right) \quad (8)$$

Se há uma fonte de onda estacionária e o corpo estiver parado em relação a ela, a onda chegará até ele com velocidade v e receberá $v\Delta t/\lambda$ (quantidade de ondas) durante o intervalo de tempo Δt . Entretanto, se ele estiver se movendo em direção à fonte com velocidade v_0 , ele receberá $v_0\Delta t/\lambda$ ondas adicionais durante o mesmo intervalo de tempo Δt . Portanto, a frequência do som que ele ouve é o número de ondas recebidas por unidade de tempo, ou seja:

$$f'_2 = \frac{v\Delta t/\lambda + v_0\Delta t/\lambda}{\Delta t} = \frac{v + v_0}{\lambda} \quad (9)$$

Substituindo λ por v/f a equação (9) fica:

$$f'_2 = f \left(\frac{v + v_0}{v} \right)$$

Que pode-se escrever como:

$$f'_2 = f \left(1 + \frac{v_0}{v} \right) \quad (10)$$

Sendo assim, o som ouvido pelo observador terá uma frequência maior do que a emitida pela fonte, isso ocorre para todas as ondas.

Se o observador se afastar da fonte estacionária, ouvirá o som com uma frequência menor do que a emitida pela fonte, tal frequência é calculada pela equação (11).

$$(11)$$

$$f''_2 = f \left(1 - \frac{v_0}{v} \right)$$

O uso do efeito Doppler para examinar as partes do corpo que se movem é chamada de técnica Doppler de diagnóstico de ultrassom. Pode-se, por exemplo, utilizar essa técnica para saber a velocidade do fluxo sanguíneo, conforme Figura 70.

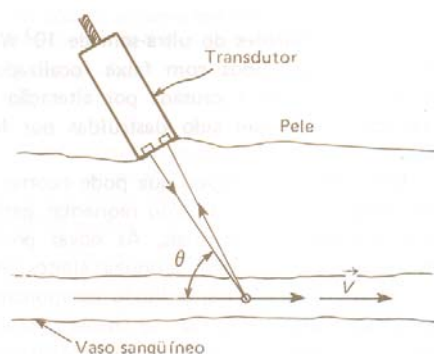


Figura 70: esquema de como medir a velocidade do sangue a partir da técnica Doppler.
Fonte: Okuno, 1982.

Segundo Okuno (1982), para se medir a velocidade \vec{V} do sangue, uma onda ultrassônica é emitida por um transdutor estacionário que chega a células vermelhas do sangue que se afastam da fonte.

A frequência f''_2 que chega às células é ligeiramente menor do que a transmitida pelo transdutor, devido a processos de absorção e ao movimento das hemácias, que estão se afastando da fonte.

A onda que atinge a hemácia é refletida e detectada pelo transdutor receptor. Dessa vez, é a fonte que se afasta do receptor estacionário. Novamente, a frequência f''_1 do som que volta ao transdutor será menor que o f''_2 do emitido.

A diferença Δf entre as frequências do ultrassom emitido e recebido pode ser deduzida pelas fórmulas (8) e (11), considerando, conforme pode-se ver na Figura 70, que há um ângulo θ entre a direção de movimento do sangue e a do ultrassom, e que a velocidade v do ultrassom é muito maior que a velocidade V do sangue, o que resulta na equação (12).

$$\Delta f = \frac{2fV \cos \theta}{v} \quad (12)$$

Onde f é a frequência inicial do ultrassom, $V \cos \theta$ é a componente da velocidade do sangue na direção do ultrassom.

Dessa forma, medindo Δf e θ e conhecendo f e v , pode-se determinar a velocidade do sangue V , o que permite detectar, por exemplo, o bloqueio de vasos sanguíneos.

Mas qual é a velocidade normal do sangue nas nossas veias?

A velocidade do sangue nos vasos varia dependendo do diâmetro do vaso sanguíneo: quanto maior o diâmetro de um vaso, menor será a velocidade do sangue para um mesmo fluxo (teoria de Bernoulli).

Segundo Garcia (2002), nos exames pré-natais, a técnica Doppler é usada para detectar movimentos do coração, localizar a placenta, monitorar a vida fetal, quando se deve evitar exames que utilizem Raios-X.

De acordo com Okuno (1982), o ultrassom pode ser utilizado na fisioterapia, tendo

em vista que o ultrassom, ao ser absorvido, é transformado em calor, quanto maior a frequência maior será esse efeito. Nos ossos e nas articulações, essa temperatura pode chegar a 44°.

Este aumento de temperatura é perigoso, podendo causar danos em tecidos e órgãos. Por isso, como no tratamento radioterápico, o feixe não deve ter direção única, e é por isso que a posição do transdutor é constantemente variada. Também é necessário o movimento contínuo para observar a imagem no interior do corpo.

M.1.3.1.4 Vantagens e desvantagens dos exames que funcionam a partir do ultrassom

Segundo Okuno (1982), Garcia (2002), Durán (2003), Koch, Ribeiro e Tonomura (1997), Chazan (2007) e Maclsaac (2002) a Ultrassonografia apresenta as seguintes vantagens e desvantagens:

- obter mais informações sobre as partes com baixa densidade (se comparado a densidade dos ossos), do que em outros exames;
- não usa radiação ionizante;
- fornece imagens em tempo real, ao contrário da Tomografia Computadorizada (TC) que também analisa as partes com baixa densidade (se comparado a densidade dos ossos);
- maior flexibilidade na escolha de planos de corte;
- maior sensibilidade na detecção de pequenas quantidades de líquido intracavitário;
- baixo custo se comparado aos outros exames;
- não permite analisar a função de órgãos;
- o ultrassom pode deslocar, distorcer, e/ou reorientar partículas intercelulares, ou mesmo células em relação as suas configurações normais;
- surgimento de cavidades ou bolhas no meio líquido contendo quantidades variáveis de gás ou vapor. O colapso dessas bolhas libera energia que pode romper as ligações moleculares, provocando a produção de radicais livres H e OH altamente reativos e, como consequência, causar mudanças químicas. No entanto, até o momento não foi comprovado o surgimento de doenças devido a exposição a ondas de ultrassom.

M.1.3.2 Radiação Característica

Segundo Dimenstein (2002), quando retira-se elétrons da eletrosfera do átomo, a vacância originada pelo elétron é imediatamente preenchida por algum elétron de orbitais superiores. Ao passar de um estado menos ligado para outro mais ligado (por estar mais interno na estrutura eletrônica), o excesso de energia do elétron é liberado através de radiação eletromagnética, cuja energia é igual à diferença de energia entre o estado inicial e o final. Tal radiação eletromagnética é característica de cada material (Figura 64).

De acordo com Sorenson (1987), a denominação "característico" explica-se em função de os fótons emitidos, por transição, serem mono energéticos e revelarem detalhes da estrutura eletrônica do elemento químico. Assim, sua energia e intensidade relativa permitem a identificação do elemento de origem, pois cada elemento possui energia de ligação diferente. Sendo assim, quando o elétron passa de um nível mais energético para outro menos energético, a radiação liberada informa qual é o material que esta emitindo radiação.

A radiação característica é, portanto, dependente dos níveis de energia da eletrosfera e, dessa forma, seu espectro de distribuição de energia é discreto. Quando o elétron decai de um nível mais energético para um menos energético libera a diferença, na forma de um fóton, que pode ser ou não de Raios-X, dependendo da energia do fóton emitido. Como, em um átomo, há níveis de energia, então, só poderá haver determinadas energias emitidas, ou seja, a radiação característica é discreta.

Segundo Bushong (2007) como a emissão de radiação característica é um fenômeno que ocorre com energias de ligação dos diversos níveis da eletrosfera as energias de emissão da radiação característica variam de alguns eletrovolts a milhares de eletrovolts.

M.1.3.3 A radiação característica no equipamento de Raios-X

Quando os elétrons provenientes do cátodo incidem no ânodo, conforme será visto na seção M.2.3.8.1 O Equipamento de Raios-X, o(s) elétron(s) incidente(s) pode(m) ejetar elétron(s) do orbital. A órbita do elétron ejetado depende da energia do elétron incidente e dos níveis de energia dos átomos do ânodo. A lacuna deixada por esse(s) elétron(ns) será preenchida por elétron(ns) mais externos que liberará a energia excedente através de fótons que poderão ser Raios-X ou não.

Segundo Bushong (2007), a produção de Raios-X por freamento, só ocorre em materiais de número atômico elevado (como o caso do tungstênio). Nestes materiais a energia necessária para ejetar um elétron de uma camada mais interna é elevada, então quando o elétron de uma camada superior decai ele emite radiação suficientemente energética para que seja Raios-X. A ligação de um elétron na camada K de um átomo de tungstênio situa-se ao redor de 70 keV, portanto um elétron incidente deve possuir energia maior que 70 keV para ejetar os elétrons de sua órbita nessa camada.

Segundo Dimenstein (2002), após o elétron incidente utilizar 70 keV de sua energia para ejetar o elétron da camada K, a energia restante será compartilhada entre os dois elétrons. Nessa situação, ambos os elétrons deixam o átomo e, portanto, o tungstênio fica ionizado.

Nesse estado instável, o elétron da camada K será rapidamente substituído por um elétron da camada L. Como o elétron da camada L tem energia maior que o elétron da camada K o elétron liberará o excesso de sua energia. A energia cedida pelo elétron da camada L é irradiada com um único fóton de Raios-X.

Para o tungstênio, a energia do fóton ejetado da camada L para a K, é de aproximadamente 59 keV, a qual independe da energia do elétron energético incidente.

Quando a vacância da camada K é substituída por um elétron da camada L, fica uma vacância em L que é substituída por um elétron da camada M, ficando novamente uma vacância em M que é substituído por um elétron da camada N e, assim sucessivamente, gerando, dessa forma, uma reação em cadeia. É por isso que na produção de Raios-X característica há vários picos de energia emitidos (discreto).

A escolha do material utilizado para a produção de Raios-X característico deve levar em conta que a energia máxima emitida deve ser a mínima possível para diminuir os riscos para o paciente e deve ter energia suficiente para atravessar o corpo, ou seja, para ocorrer o mínimo de efeito fotoelétrico. Essa energia dependerá da espessura e da densidade da parte do corpo a ser analisada.

Segundo Garcia (2002), a radiação característica é pouco utilizada, exceto em mamografias. Na mamografia, há filtros que apenas deixam passar fótons mais energéticos, absorvendo os menos energéticos, que seriam absorvidos pelo paciente, o que aumentaria a dose absorvida por ele.

Utiliza-se a radiação característica na mamografia porque a mama possui tecidos com densidades similares, dessa forma, os tecidos absorvem a radiação com energias parecidas. Caso fosse utilizada a produção de radiação de freamento, a faixa de energia emitida seria maior (contínua). Assim, as energias que não fossem utilizadas para fazer a imagem prejudicariam o paciente, através do aumento de dose (tempo de exposição vezes número de fótons emitidos), e através da energia dos fótons (quanto maior energia, maior a probabilidade de ocorrer efeitos determinísticos).

M.1.3.4 Raios-X Freamento (Bremsstrahlung)

Segundo Dimenstein (2002), quando um elétron passa próximo ao núcleo, a carga positiva deste age sobre a carga negativa do elétron. Então o elétron interagem com o núcleo e com isso é desviado de sua direção original. Assim, o elétron perde energia cinética quando varia de direção. A energia cinética perdida pelo elétron é emitida diretamente na forma de um fóton, conforme pode-se observar na Figura 65.

A radiação produzida dessa forma é denominada radiação de freamento (Bremsstrahlung).

M.1.3.5 Radioatividade

De acordo com Ortega (2006), a radioatividade é um fenômeno natural ou artificial, pelo qual algumas substâncias ou elementos químicos, chamados radioativos, são capazes de emitir radiações.

Desse modo, a emissão de partículas alfa e beta pelos átomos instáveis muda seu número atômico, transformando-os em outros elementos. O processo de desintegração nuclear só termina com a formação de átomos estáveis. O urânio-238, por exemplo, sofre decaimento até formar o elemento chumbo-206.

M.1.3.6 Núcleo Atômico

Segundo Guerci (2006), no núcleo de um átomo existem forças nucleares que mantêm os prótons e nêutrons ligados. Estas forças devem ser suficientemente grandes para contrabalancear as repulsões elétricas decorrentes da carga positiva dos prótons.

O núcleo atômico de um elemento químico com instabilidade nuclear sofre decaimento radioativo liberando radiação, que pode ser partícula alfa (α), partícula beta menos (β^-) ou beta mais (β^+) e radiação ondulatória gama (γ). Fazendo este decaimento o núcleo atômico se torna mais estável que de início.

M. 1.3.7 “Tipos” de Radiação Nuclear

Segundo Sorenson (1987), radiação nuclear é um tipo de radiação originada no núcleo de determinados átomos de elementos químicos que não estão estáveis.

As radiações nucleares podem ser de vários tipos. As que serão aqui apresentadas são: partículas alfa (α), partículas beta (β) e radiação gama (γ).

M.1.3.7.1 Partículas alfa (α)

Núcleos atômicos instáveis, geralmente, de elevada massa atômica, emitem radiação alfa, que é constituída por dois prótons e dois nêutrons. Cada partícula alfa tem número de massa igual a 4, dessa forma, a cada partícula alfa emitida por um núcleo instável, a sua massa diminui de 4 unidades.

Estas partículas liberadas possuem elevado número de massa²², por isso possuem baixa capacidade de penetração se comparados a radiação gama e de Raios-X, pois são freadas mecanicamente quando encontram outros materiais.

M. 1.3.7.2 Partículas beta (β^- , β^+)

Outra forma de um núcleo atômico se estabilizar é quando existe mais nêutrons do que de prótons. Nesse caso poderá ocorrer a transformação de um nêutron em um próton. Para esta transformação ocorrer é necessário que ocorra a liberação de uma subpartícula carregada negativamente (elétron), também conhecida como beta menos (β^-). Esta partícula não é chamada de elétron para impedir que ocorra uma confusão com o elétron da eletrosfera.

²² Se comparado a radiação beta (massa do elétron) e as radiações ondulatórias (que não possuem massa).

Por outro lado, quando o número de nêutrons for insuficiente para estabilizar a quantidade de prótons presentes no núcleo atômico, poderá ocorrer a transformação de um próton em um nêutron. Para esta transformação ocorrer, será necessária a liberação de uma subpartícula positiva do núcleo atômico. Será emitida uma partícula beta positiva (β^+) também, conhecida, como pósitron (antimatéria do elétron).

As partículas beta possuem capacidade de penetração superior ao das partículas alfa. A sua capacidade de penetração superior é devido ao fato das partículas betas possuírem massa muito inferior à da partícula alfa. A sua capacidade de ionização também é considerável, no entanto, menor que o das partículas alfa, visto que a quantidade de cargas das partículas beta é inferior ao das partículas alfa.

M. 1.3.7.3 Radiação gama (γ)

A radiação gama é emitida por um núcleo atômico, depois que este emite outros tipos de radiação, por exemplo, radiação alfa e beta. A liberação de radiação gama é uma forma encontrada pelo núcleo para se estabilizar quando ocorre a liberação de alguma partícula nuclear, pois com esta emissão de partícula, ainda pode restar energia em excesso no núcleo atômico, que deve ser liberada para o núcleo se tornar estável. A forma encontrada pelo núcleo para liberar esta energia é a partir de radiação gama, que é uma onda eletromagnética.

Os raios gama também podem surgir da aniquilação de um par de antipartículas (elétron-pósitron, próton-antipróton, etc.), da ruptura espontânea ou artificial dos núcleos dos átomos de urânio e plutônio e em algumas outras reações nucleares. Esta radiação é altamente penetrante nos tecidos biológicos, por não possuir massa e apresentar alta energia se comparada as demais radiações nucleares e dessa forma, não pode ser mecanicamente freada. Como ela possui maior capacidade de penetração em tecidos biológicos, há maior probabilidade de ocorrer danos a pessoas expostas à radiação gama, do que se expostas as radiações alfa e beta.

M. 1.4 Atividade 2: Atividades Experimentais

Síntese: serão realizadas quatro atividades experimentais. A sala será dividida em quatro grupos, todos deverão estudar o funcionamento de todos os experimentos, utilizando inclusive as simulações computacionais citadas no final de cada atividade, respondendo as questões que estão ao final das atividades experimentais.

Nestas atividades experimentais os alunos devem utilizar o método PIE (Predizer, Interagir e Explicar), no qual, segundo Dornelles (2008), os alunos, antes de realizarem a atividade experimental, devem escrever o que acham que vai acontecer durante seu desenvolvimento/funcionamento. Logo após, eles interagem com a atividade experimental e confrontam o visto/ocorrido com o previsto, buscando explicar o funcionamento da atividade.

MODELO DE OBSERVAÇÃO DAS ATIVIDADES EXPERIMENTAIS.

1. Nome da atividade experimental:
2. Conceitos que podem ser estudados:
3. O que acontece na atividade experimental?
4. Explique o observado com base no que foi estudado.
5. Expressões matemáticas envolvidas.
6. Importância desse conhecimento para a compreensão da formação de imagem (pesquisa).
7. Confecção diagrama seguindo o sistema da Figura 71 e da Figura 72.

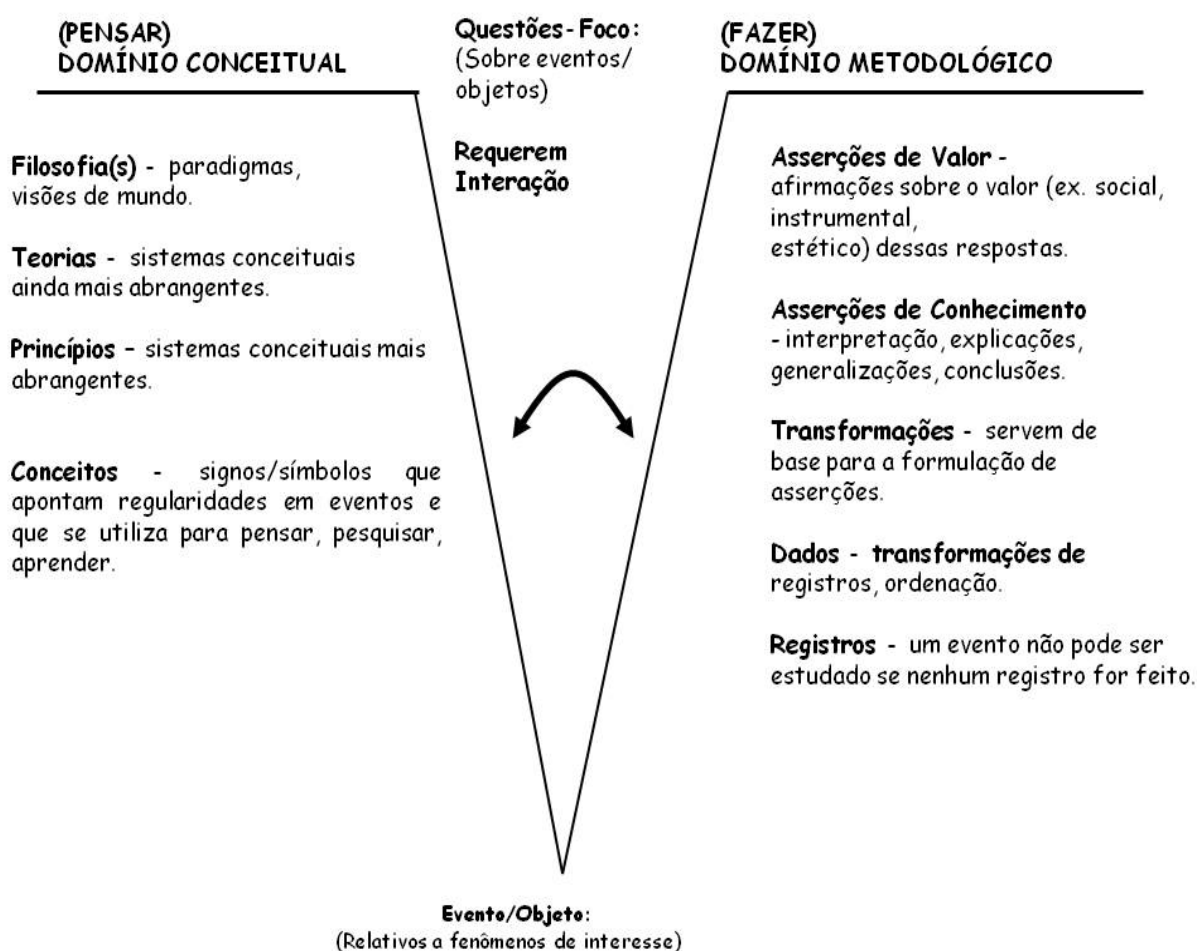


Figura 71: apresentação esquemática do diagrama Vê.
Fonte: Capelletto (2009).

M.1.4.1 “Mola Maluca” e corda.

Atividades para serem feitas a partir da observação dos movimentos da “mola maluca” e de uma corda.

- **Perguntas**

a) Vocês perceberam alguma diferença entre as oscilações da mola e da corda?

b) As oscilações precisam de meio material para se propagar?

c) Cite exemplos de ondas que se comportam de forma semelhante ao ocorrido na mola maluca e na corda.

- **Simulações características das ondas**

<http://www.fsc.ufsc.br/~ccf/parcerias/ntnujava/waveSuperposition/waveSuperposition.html>-interferência

<http://www.fsc.ufsc.br/~ccf/parcerias/ntnujava/propagation/propagation.html> -Refração e reflexão

<http://www.fsc.ufsc.br/~ccf/parcerias/ntnujava/waveInterference/waveInterference.html> Interferência

<http://www.fsc.ufsc.br/~ccf/parcerias/ntnujava/doubleSlit/doubleSlit.html> - Difração

<http://www.ufpa.br/ccen/fisica/interativa.htm>

<http://www.falstad.com/wavebox/>-Interferência

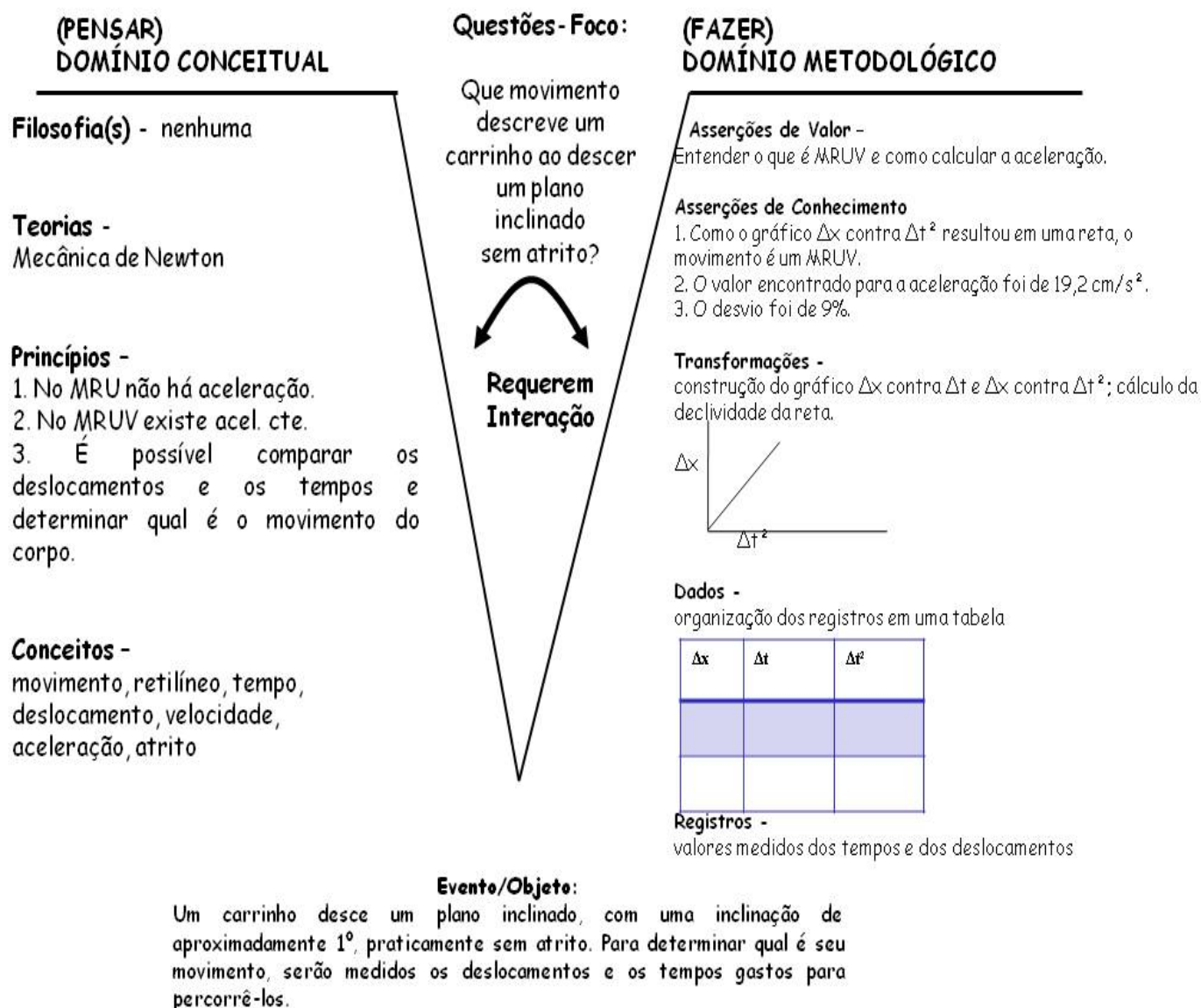


Figura 72: diagrama Vê para um experimento de cinemática.
Fonte: Capelletto (2009).

• Exercícios

1. A rádio USP opera na frequência de 93,7 megahertz. Considerando-se que a velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas na atmosfera é igual a 300.000 km/s , o comprimento de onda emitida pela rádio USP é:
 2. Desenhe uma onda e coloque suas partes.
 3. Leia a charge da Figura 73 e responda corretamente a questão abaixo justificando sua resposta.

O som pode ser caracterizado pela altura, intensidade e timbre. Ao se analisar os textos e imagens que representam o “diálogo” entre Hagar e Helga, percebe-se que o autor da tira de humor procurou diferenciar as falas dos dois personagens:

- (a) pelo timbre.
- (b) pela altura.
- (c) pela intensidade.



Figura 73: charge características do som.

Fonte: <http://www.ensinodefisica.net>.

4.



Figura 74: charge sobre ressonância.

Fonte: <http://www.ensinodefisica.net>.

- Explique, a partir da teoria ondulatória, a situação representada na Figura 74.
- Muitas pessoas adoram cantar no banheiro. Alguns banhistas cantores dizem que suas vozes ficam diferentes. Você concorda com essa afirmação?
- Você vê relação entre o que aconteceu na tirinha e a opinião dos banhistas cantores? Explique.
- Cebolinha e Cascão adoram brincar produzindo eco.

TURMA DA MÔNICA





Figura 75: eco cascão.

Fonte: www.ensinodefisica.net.

Mas pelas tirinhas, **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e Figura 75 acima parece que eles não compreendem como ocorre o fenômeno.

Escreva abaixo o que você diria para o Cebolinha e o Cascão a respeito de como o eco é produzido.

6) Para que um ser humano consiga distinguir dois sons que chegam aos seus ouvidos, é necessário um intervalo de tempo mínimo de 0,1 s.

Observando a Figura 76 e considerando que a velocidade do som no fio do “brinquedo” seja igual ao da propagação no ar (340 m/s), determine a distância mínima entre o Cascão e a superfície refletora da gruta.



Figura 76: eco.

Fonte: <http://www.ensinodefisica.net>.

- Coloque aqui as fórmulas que você utilizou nesta atividade experimental.

M.1.4.2 Cor dos objetos

Atividades para serem feitas a partir da observação da *cor dos objetos*.

Coloca-se na frente de objetos papéis celofanes de cores diferentes e observa-se o que ocorre com a cor do objeto que apresenta-se inicialmente iluminado por luz branca.

- Perguntas para serem respondidas a partir da atividade experimental

- As cores dependem do que? As cores dos objetos são sempre as mesmas? Nesse sentido há alguma lógica Física para haver preconceito racial?
- Cite três fatores físicos que influenciam na visão?
- O que faz com que os seres humanos vejam as cores?
- O que é efeito fotoelétrico?

- Simulações.

<http://www.fisica.ufpb.br/~romero/objetosaprendizagem/8EfeitoFotoeletrico/Site/Animacao.htm>

- **Exercícios**



Figura 77: charge sobre a cor dos objetos.
Fonte: www.ensinodefisica.net.

Conforme pode-se ver na Figura 77, Mafalda ficou encantada com a cor e a forma de uma pedra que encontrou, mas Manolito não teve a mesma reação.

a) Suponha que a pedra que Mafalda está mostrando para Manolito seja azul quando iluminada pela luz do Sol. Ela apresentará a mesma cor se a Mafalda iluminá-la com luz verde? Explique.

- **Coloque aqui as fórmulas que você utilizou nesta atividade experimental.**

M.1.4.3 Telefone

Atividades para serem feitas a partir da observação do que acontece com o toque do celular quando ele é envolvido por vários materiais diferentes.

- **Perguntas**

- O que aconteceu quando o celular estava fora do papel laminado e alguém ligou para ele?
- O que aconteceu quando o celular estava dentro do papel laminado e alguém ligou para ele?
- Como acontece a emissão e recepção das ondas do telefone celular?

- **Simulação**

<http://lectureonline.cl.msu.edu/~mmp/applist/Spectrum/s.htm> Espectro

- **Exercício**

- Como, em alguns presídios, eles impossibilitam o funcionamento de celulares?
- Por que quando uma pessoa vai ser exposta a Raios-X, eles utilizam uma placa de chumbo?
- As ondas de celular são mecânicas ou eletromagnéticas? Por quê?
- As ondas de celular podem nos causar doenças? Justifique com base em conceitos físicos. Por que não se pode ver essa radiação?
- Por que em aviões deve-se desligar os aparelhos celulares? Com base nisso, por que nas salas onde se faz tratamento com base radiológica não entra radiação?
- O que acontece se for colocado um celular dentro de um copo que possui apenas ar e alguém ligar para ele? Justifique sua resposta.
- Faça a leitura da história em quadrinhos da Figura 78:

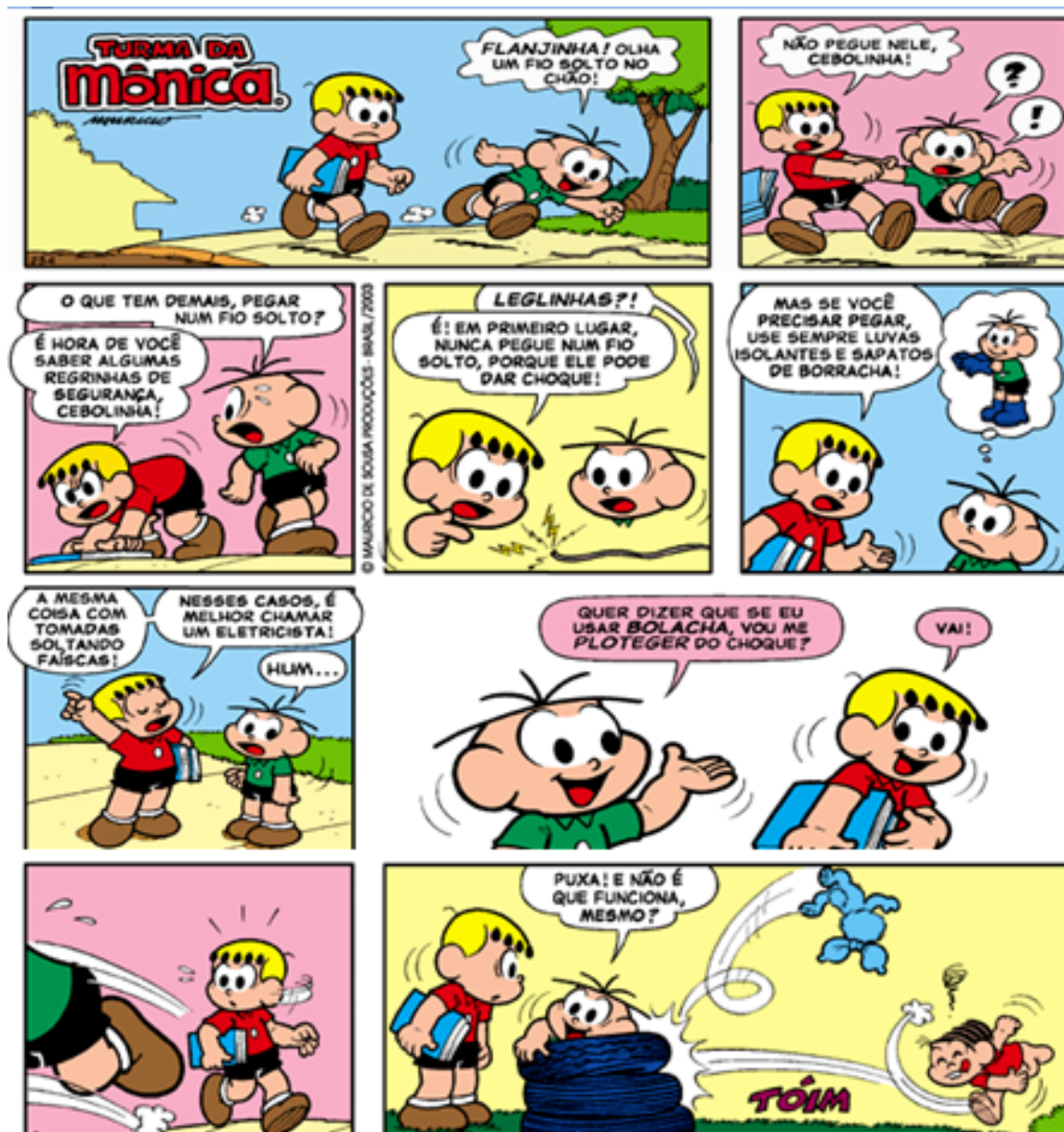


Figura 78: choque elétrico e mecânico.
Fonte: www.ensinodefisica.net.

Você deve ter percebido que, enquanto Franjinha está se referindo a um fenômeno elétrico, Cebolinha se protege de um choque mecânico (colisão).

A partir disso responda:

- Diga, com suas palavras, o que você entende por choque elétrico.
- Se a outra extremidade do fio estivesse ligada a uma rede elétrica, as regras de segurança do Franjinha protegeriam o Cebolinha? Apresente uma justificativa para sua resposta.
- Franjinha alerta Cebolinha para outra situação: tomada elétrica saindo faíscas. Normalmente, quando isto acontece, as pessoas dizem que a tomada está em curto-circuito. Tente fazer um esquema do circuito elétrico de uma lâmpada em curto.

M.1.4.4 Temperatura dos corpos

Atividades para serem feitas a partir da observação do aumento da temperatura dos objetos.

Nessa atividade experimental há a necessidade de três pratos com cores diferentes

(por exemplo, preto, branco e vermelho) e de uma lâmpada acesa que fique posicionada de forma equidistante dos pratos. Pode-se também ter termômetros para medir a temperatura dos pratos ou através do tato identificar qual dos pratos ficou mais quente depois de um determinado período.

- **Perguntas**

- Qual dos pratos ficou mais quente? Justifique.
- Explique a atividade experimental com base na conservação da energia.
- Qual fenômeno natural, semelhante a esse, é explicado pela radiação?
- A lâmpada necessita ficar encostada nos pratos? Se a resposta for negativa, então como a luz da lâmpada chega aos pratos? Que tipo de transmissão de temperatura é esta?
- Se não existisse esse tipo de transmissão de energia térmica, como seria o céu à noite, em relação às estrelas?
- Que tipo de onda é esta? Ela precisa de meio material para se propagar?

Simulação:

<http://www.walter-fendt.de/ph11e/emwave.htm> Ondas eletromagnéticas

- **Exercício**

• Imaginem que vocês possuem o seguinte problema: vocês precisam destruir células cancerígenas de um paciente e estão em um hospital equipado para tanto. a) Qual o tipo de radiação que se deve utilizar? Por quê? Justifique através de explicações físicas. b) Quais os procedimentos de segurança que vocês teriam que fazer?

• No dia-a-dia, conceitos físicos são usados de maneira errada. Será que os personagens da tirinha da Figura 79 estão usando os conceitos de maneira correta?

Se você acha que sim, justifique. Mas se achar que não, reescreva a frase de maneira correta usando o espaço em branco.



Figura 79: charge de calor X temperatura.
Fonte: <http://www.ensinodefisica.net>.

Identifique, na Figura 80, o tipo de processo que permite o aquecimento do Haroldo;



Figura 80: processo de aquecimento.

Fonte: <http://www.ensinodefisica.net>.

- Coloque aqui as fórmulas que você utilizou nesta atividade experimental.

M.1.5 Atividade 3: colagem espectro eletromagnético.

Síntese: A turma será dividida em 11 grupos. A Figura 81 será dividida em 11 partes e cada grupo deverá explicar uma dessas partes, buscando identificar as características de cada uma, encontrando as diferenças e semelhanças de cada forma de radiação. Os grupos deverão montar as partes formando novamente a Figura 81.

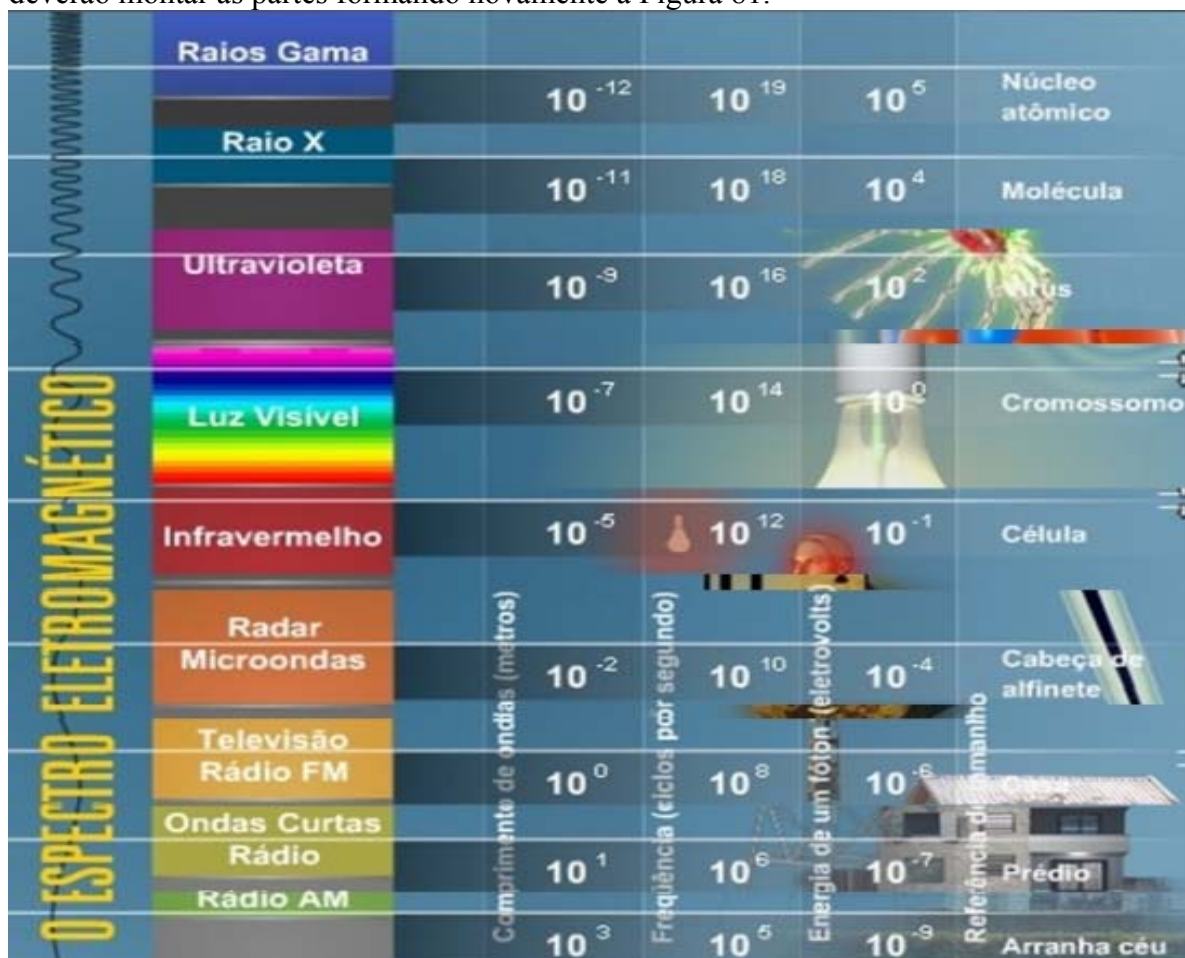


Figura 81: espectro eletromagnético e suas características.

Fonte: www.redin.lec.ufrgs.br.

M.1.6 Atividade 4: exercícios.

a) A rádio USP opera na frequência de 93,7 mega-hertz. Considerando-se que a velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas na atmosfera é igual a 300000 Km/s, o comprimento de onda emitida pela rádio USP é:

b) Desenhe uma onda e coloque suas partes.

c) Sabe-se que quanto maior é a frequência de uma onda, maior será sua energia. As radiações ionizantes ao se encontrarem com as células transformam parte de sua energia em calor, rompendo a membrana celular.

Sabe-se que a energia dos fótons pode ser calculada pela equação (13).

(13)

$$E = hf$$

Onde f é a frequência e h é a constante de Planck e vale $6,63 \times 10^{-34} \text{ J x s}$.

Com base na relação das frequências apresentadas anteriormente, calcule a energia dos Raios-X, do infravermelho e do azul e coloque em ordem crescente de periculosidade.

d) O que é efeito fotoelétrico? Mencione três aplicações?

e) Quais são os tipos de interação da radiação com a matéria? Explique-os.

f) O que é radiação?

g) Quais são os tipos de radiação? Explique-os.

h) Como o elétron perde energia quando ele está excitado?

i) O que são Raios-X?

j) Como é produzido os Raios-X (freamento e característico)?

k) O que é radiação ionizante e não ionizante?

i) O que é espectro eletromagnético?

j) O que é radioatividade? E radioisótopos?

k) Utilize seus conhecimentos de Óptica e anatomia para explicar o funcionamento do olho humano.

l) Como ocorre o efeito Doppler? Cite exemplos de sua aplicação: a) na Medicina, b) na astronomia, c) no trânsito.

m) Explique o funcionamento de um equipamento de Ultrassonografia.

n) a) O que é o eco? b) Qual a importância do eco na Ultrassonografia? c) Quais algumas outras aplicações para o eco são possíveis?

M.2 Aulas 3 e 4

M.2.1 Esquema de trabalho

Concepções alternativas: Segundo Watts apud Filho e Jacques (2008), a energia é vista como uma ideia muito geral de combustível associada a aplicações tecnológicas que visam proporcionar conforto ao homem.

A energia é vista também como algo que não está armazenado em um sistema, sendo que aparece na interação com ele. Alguns objetos possuem energia e são recarregáveis, enquanto outros possuem energia e gastam o que têm. A energia é um fluido que se transfere de um sistema a outro.

Organizador Prévio:

Descrição do organizador prévio: foi utilizado um pequeno filme de apenas um minuto, que traz imagens de um homem desde a infância até metade de sua vida

(<http://www.youtube.com/watch?v=isXe78uZbVQ>). Para fazer a negociação de significados propostas por Vergnaud (1990) e por Toulmin (1977), depois dos alunos assistirem o filme indaga-os sobre o significado utilizado normalmente para a expressão meia vida. Qual foi a meia vida de vocês até o momento?

Depois será apresentado a eles uma tabela sobre a expectativa de vida entre os povos contido no site: http://pt.wikipedia.org/wiki/Anexo:Lista_de_pa%C3%ADses_por_esperan%C3%A7a_m%C3%A9dia_de_vida_%C3%A0_nascen%C3%A7a. Será utilizado esta tabela para mostrar aos alunos as semelhanças entre expectativa de vida entre as nações e meia vida dos elementos químicos.

Após essa atividade eles deverão buscar no dicionário o significado de “meia” e “vida” e a pesquisadora então poderá começar a explicar o sentido de meia vida para a Física.

A interação cognitiva deverá ocorrer quando o aluno perceber as diferenças e semelhanças entre meia vida, no sentido usual da expressão, e o sentido de meia vida para a Física, assinalando as suas semelhanças e diferenças.

Situação-problema: se vocês possuíssem o seguinte problema: vocês precisam destruir células cancerígenas de um paciente, estão em um hospital equipado para tanto. a) Qual tipo de radiação deve-se utilizar? Por quê? Justifique através de explicações físicas. b) Quais os procedimentos de segurança que seriam necessários?

Assunto: interação da radiação com a matéria, unidades de medida das radiações, meia vida, exposição natural e acidentes nucleares, funcionamento de um equipamento de Raios-X convencional e da mamografia.

Conceitos envolvidos no mamógrafo e no aparelho de Raios-X convencional: cátodo, anodo, energia, voltagem, corrente elétrica, frenagem, número atômico, elétron, diodo, retificador, onda, campo magnético, onda eletromagnética, voltagem, ponto de fusão, velocidade, camada eletrônica, fótons, absorção, frequência, comprimento de onda, conservação de energia, transformação de energia, energia, número atômico (próton), densidade.

Aplicação: funcionamento da radiografia convencional e da mamografia.

Atividades: inicialmente será resolvido, em duplas, a situação-problema que será entregue pelos alunos a pesquisadora, para que esta possa avaliar os conhecimentos prévios e os invariantes operatórios que os alunos possuem. Depois será feita uma aula expositiva-dialogada pela pesquisadora. Posteriormente os alunos serão divididos em oito grupos que estudarão um dos textos que amplia o que foi exposto na parte da aula expositiva. No final do texto há algumas questões que os alunos serão estimulados a responderem. Posteriormente, haverá uma apresentação (incluindo mapa-conceitual) e montagem de duas imagens com as partes principais: 1) do equipamento de Raios-X; 2) do mamógrafo. Em seguida, será feita uma discussão dos resultados encontrados pelos grupos. Por último, em duplas, é solicitado aos alunos que eles respondam novamente a situação-problema, a qual deverá ser entregue para que o professor busque indícios de aprendizagem significativa, preferencialmente a discussão entre os alunos deve ser gravada em áudio. Se a escola possui laboratório de informática um procedimento para tal é gravar a discussão de dois alunos em torno da situação-problema através do programa computacional *Audacity*. Utiliza-se tais gravações para buscar invariantes operatórios, indícios de aprendizagem significativa e equívocos que os alunos apresentam buscando intervir para com eles.

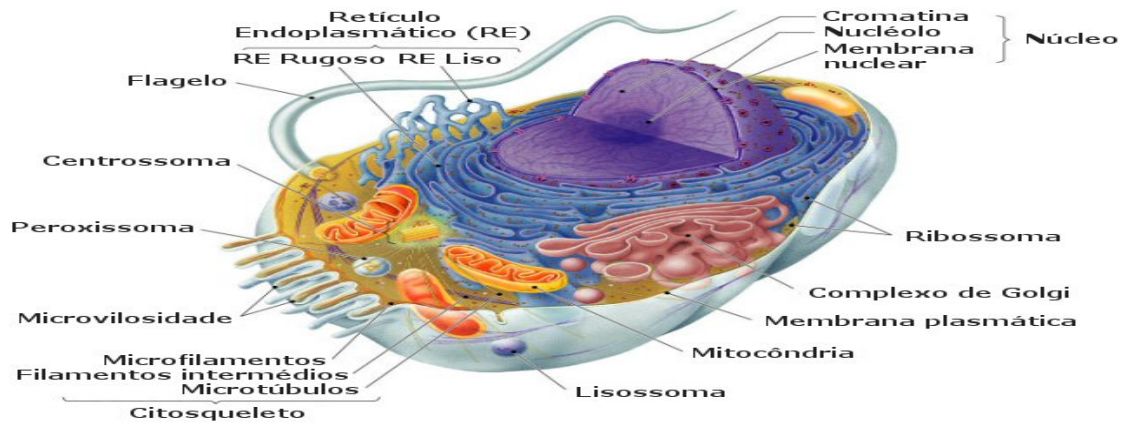


Figura 85: partes de uma célula animal.
 Fonte: Ruiperez, 1978.

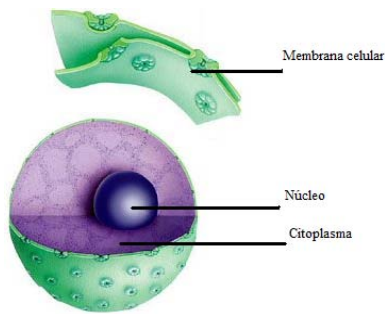


Figura 86: núcleo de uma célula.
 Fonte: Ruiperez, 1978.

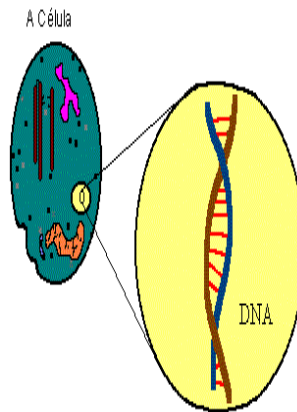


Figura 87: DNA.
 Fonte: Ruiperez, 1978.

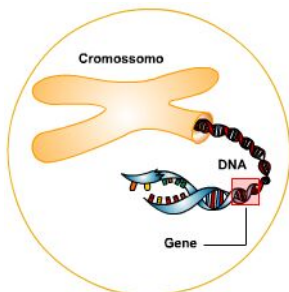


Figura 88: cromossomos.
 Fonte: Ruiperez, 1978.

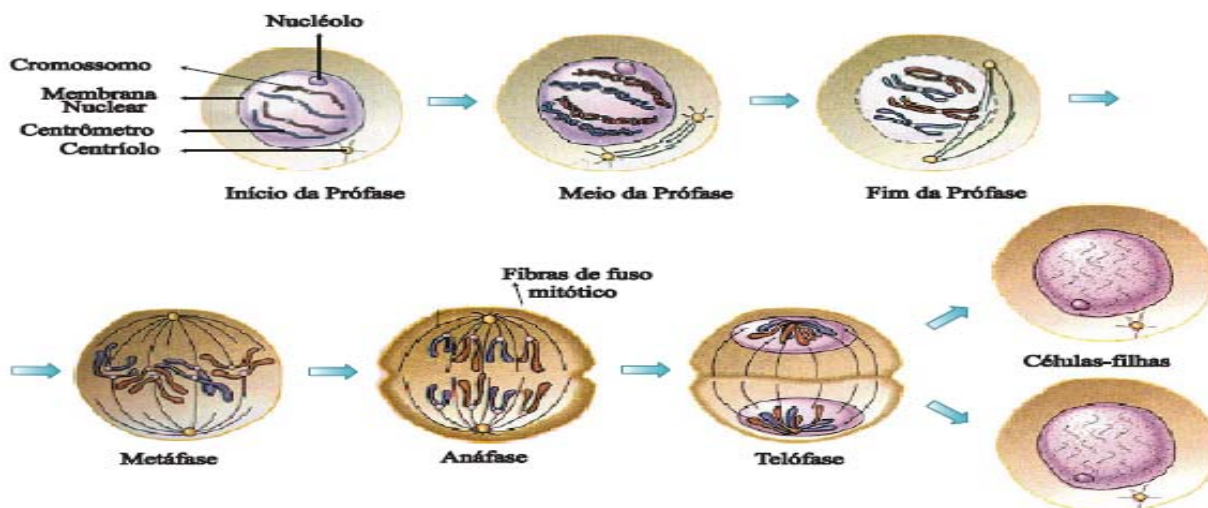


Figura 89: reprodução celular.
 Fonte: Ruiperez, 1978.



Figura 90: célula normal.
 Fonte: Ruiperez, 1978.

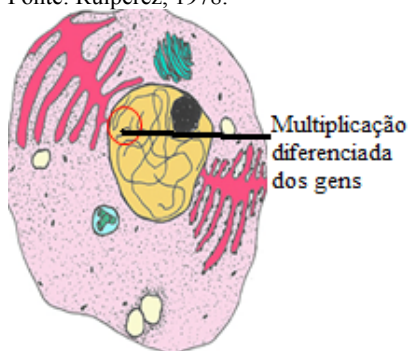
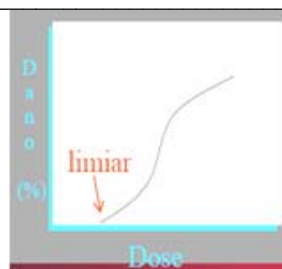


Figura 91: célula cancerígena.
 Fonte: adaptado de Ruiperez, 1978.



a gravidade do efeito aumenta com o aumento da dose.

Figura 92: efeitos determinísticos.
 Fonte: www.ipen.br



não existe um limiar de dose. O dano é proporcional a dose.

Figura 93: efeito estocástico.
 Fonte: www.ipen.br

M.2.3 Atividade 2. Estudo em grupo

Síntese: a turma será dividida em oito grupos. Cada grupo estudará um dos textos, resolverá as questões que aparecem ao término da leitura e, por fim, apresentarão sobre o assunto que leram, em 15 minutos, de forma criativa no final da aula. Os grupos que receberão/escolherão o texto referente ao equipamento de Raios-X e à mamografia devem fazer um painel contendo as partes do equipamento e a explicação de cada uma delas.

M.2.3.1 Grupo 1: Efeito Fotoelétrico

O efeito fotoelétrico é, segundo Hewitt (2002), a emissão de elétrons por um material exposto a uma radiação eletromagnética (como a luz), que possui frequência suficiente para arrancar/extrair elétrons do átomo. Esta frequência depende do material.

De acordo com o modelo de Bohr os elétrons que giram em volta do núcleo são ali mantidos por forças de atração. Se a estes for oferecida energia suficiente, eles abandonarão as suas órbitas.

O efeito fotoelétrico implica que se faça incidir um feixe de radiação com energia, pelo menos igual à energia de remoção dos elétrons do metal, provocando a sua saída das órbitas: sem energia cinética (se a energia da radiação for igual à energia de remoção-função trabalho), ou com energia cinética, se a energia da radiação exceder à energia de remoção do elétron.

A luz é composta por “pacotes de energia” denominados fótons. Esses pacotes de energia dependem da frequência das ondas, quanto maior é a frequência maior a energia associada a ela.

Sendo assim, para arrancar/extrair um elétron de um átomo não se deve alterar a intensidade (o aumento da intensidade apenas varia a quantidade de elétrons emitidos), pois é a frequência que vai determinar se os elétrons vão ser ou não ejetados. Depois de se atingir a energia mínima para arrancar os elétrons, a energia excedente (caso haja) será utilizada para dar-lhes energia cinética.

A explicação satisfatória para esse efeito foi feita em 1905, por Albert Einstein, a qual, em 1921, conferiu ao cientista o prêmio Nobel da Física.

De acordo com Hewitt (2002), se for analisado o efeito fotoelétrico quantitativamente, será obtido a equação (14):

Energia do fóton = Energia necessária para remover um elétron (função trabalho) + Energia Cinética do elétron emitido.

Algebricamente:

$$hf = \Phi + E_{cmax} \quad (14)$$

Onde:

- h é a constante de Planck;
- f é a frequência do fóton incidente;
- $\Phi = h f_0$ é a função trabalho, ou energia mínima exigida para remover um elétron de sua ligação atômica;
- E_{cmax} = energia cinética do elétron emitido que é descrita pela equação 15.

(15)

$$E_{cmax} = \frac{1}{2}mv_m^2$$

Onde:

- f_0 é a frequência mínima para o efeito fotoelétrico ocorrer;
- m é a massa de repouso do elétron expelido;
- v_m é a velocidade dos elétrons expelidos.

Se a energia do fóton (hf) não é maior que a função trabalho (Φ), nenhum elétron será emitido. A função trabalho é frequentemente designada por W .

Quando o elétron ejetado é de um nível menos energético, o átomo permanece com uma lacuna nesse nível apenas por alguns instantes, pois elétrons de níveis superiores de energia vão para este nível menos energético. Quando um elétron vai para um nível menos energético, ele libera energia na forma de um fóton, que dependendo do material pode ser ou não de Raios-X. A quantidade de energia liberada é característica de cada elemento sendo chamada, por este motivo, de radiação característica.

De acordo com Dimenstein (2005), a probabilidade de ocorrer uma reação fotoelétrica está relacionada a três fatores:

a) o fóton incidente deve ter energia suficiente para superar a energia de ligação do elétron;

b) a energia deve ser um pouco maior do que a energia de ligação. Se a energia for muito maior, a probabilidade de ocorrer efeito fotoelétrico será reduzida. A probabilidade de ocorrer o efeito fotoelétrico é inversamente proporcional a energia ao cubo (E^3);

c) a probabilidade de um elétron ser envolvido em uma reação fotoelétrica cresce com o aumento do número atômico (Z), sendo diretamente proporcional a Z^3 .

O efeito Compton também diminui com o aumento da energia do fóton, mas menos rapidamente que a absorção fotoelétrica e é relativamente independente do número atômico acima de 100 keV, já que o efeito fotoelétrico ocorre apenas para elétrons presos no átomo e o efeito Compton ocorre também para elétrons livres.

Devido ao efeito fotoelétrico, dentre outros fatores, tornou-se possível o cinema falado e a televisão. Os aparelhos fotoelétricos permitiram construir equipamentos capazes de produzir peças sem intervenção humana.

Tudo isto, inicialmente, tornou-se possível devido à invenção de aparelhos especiais, chamados células fotoelétricas, nas quais a energia da luz controla a energia da corrente elétrica ou se transforma em corrente elétrica. Hoje equipamentos tais como os fotodiodos vem substituindo as células fotoelétricas.

Antes de explicar o que é uma célula fotoelétrica, é importante explicar o que é um semicondutor e sua importância nos diodos, leds, retificadores e transistores.

Os semicondutores são materiais geralmente feitos de Silício, nos quais uma parte deles é dopado com materiais que possuem mais elétrons do que prótons (n) e outra parte é dopado com material que possui mais prótons do que elétrons (p). Como esses materiais estão em contato, há uma migração de elétrons de n para p, então em n formar-se-ão íons positivos e em p, íons negativos. Esses íons (positivos e negativos) impedirão que os elétrons passem de n para p, a não ser que haja uma diferença de potencial entre eles, conforme pode-se ver na Figura 99.

Quando liga-se uma pilha a esse sistema, se o pólo positivo da pilha estiver ligado ao positivo do transistor, haverá corrente elétrica, caso a pilha esteja orientada no sentido contrário, não haverá. Isso ocorre devido a que as cargas positivas são repelidas pelas positivas e atraídas pelas negativas, rompendo a barreira de potencial gerada pelos íons, gerando corrente elétrica, conforme pode-se observar na Figura 100. A esse sistema chama-se de diodo. O diodo tem a propriedade de deixar passar a corrente elétrica apenas em um sentido, transformando corrente alternada em contínua. Portanto, os diodos são retificadores de corrente elétrica.

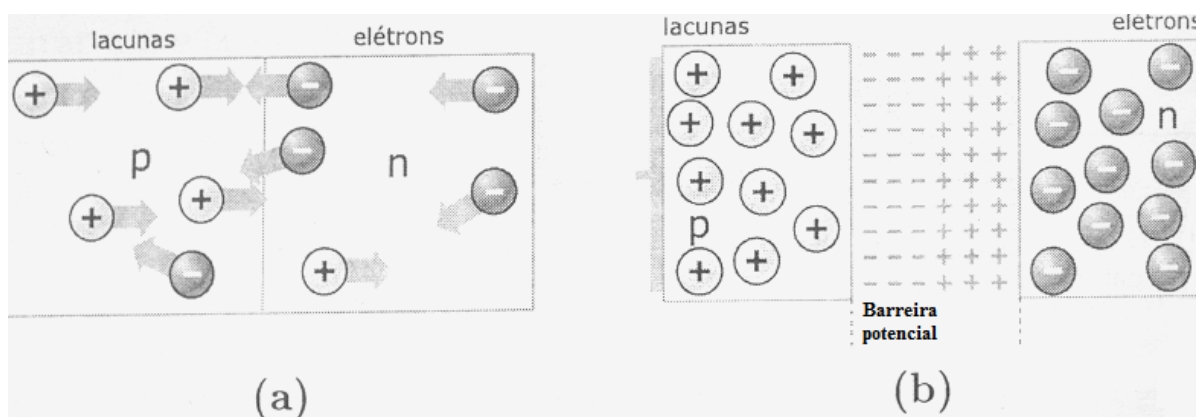


Figura 99: a) formação de uma junção pn com transferência de elétrons do lado n para o lado p e de lacunas do lado p para o n; b) situação de equilíbrio com a formação de barreiras associadas a impurezas ionizadas que detém o avanço de portadores livres de um lado da junção para outro.

Fonte: Valadares (2005).

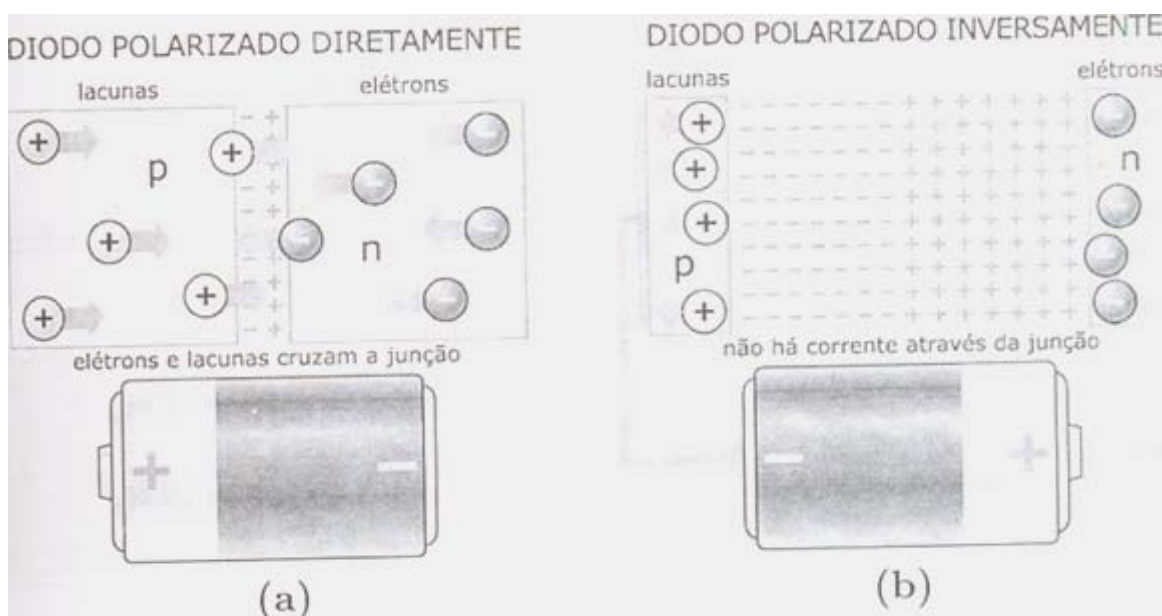


Figura 100: a) diodo polarizado diretamente: barreiras diminuídas; b) diodo polarizado inversamente: barreiras aumentadas.

Segundo Valadares (2005), os leds são diodos emissores de luz e funcionam de forma análoga aos outros diodos. A única diferença é a de que o aniquilamento de elétrons e lacunas (falta de elétrons) gera luz. Neste caso o elétron possui energia cinética antes de ser absorvido e essa energia é transformada em energia potencial (devido à interação elétron-próton), mas ainda há energia, que é liberada em fótons de luz. Nos demais diodos não há a energia excedente.

Agora será explicado sobre um amplificador de corrente, os transistores.

Os materiais utilizados na fabricação do transistor são principalmente o Silício (Si) e o Germânio (Ge), que são maus condutores, ou seja, dificultam a passagem de corrente elétrica, principalmente quando se ligam a outro átomo de Si ou Germânio, respectivamente, fazendo uma ligação covalente. Assim, seguindo a regra do octeto, ou seja, que um átomo é estável quando possui oito elétrons na última camada (exceto o hidrogênio que se estabiliza com dois elétrons), estes elementos são isolantes, pois não há elétrons livres.

Para o Silício, por exemplo, tornar-se um semicondutor é efetuada a dopagem desse material. Para isso insere-se átomos selecionados (conhecidos como impurezas) que transformam a estrutura eletrônica, introduzindo-se entre as ligações dos átomos de Silício, tirando ou doando elétrons aos átomos. Gera-se, a partir disso, o Silício P (positivo), na qual há falta de elétrons ou N (negativo), no qual há excesso de elétrons. Se a impureza tiver um elétron a mais, um elétron fica sobrando na estrutura. Se possuir um elétron a menos, fica faltando um elétron, o que produz uma lacuna (que funciona como se fosse um buraco móvel na estrutura cristalina). Como resultado forma-se um semicondutor.

O transistor é montado justapondo-se uma camada P, uma N e outra P, criando-se um transistor do tipo PNP. O transistor do tipo NPN é obtido de modo similar. A camada do centro é denominada base, e as outras duas são o emissor e o coletor.

Quando há um transistor do tipo PNP, ao ser colocado corrente na base (N), esta será “somada” com os elétrons livres de N aumentando, dessa forma, a intensidade do sinal. Como na base há mais elétrons há o rompimento da barreira de potencial possibilitando o movimento dos elétrons²³.

Agora, serão utilizados os conhecimentos de transistores para compreender o funcionamento de uma célula fotoelétrica. O funcionamento dos diodos será utilizado nos geradores de Raios-X.

De acordo com Hewitt (2002), a célula fotoelétrica consta de um balão de vidro cuja superfície interna está revestida, em parte, por uma camada fina de metal. Através da parte transparente do balão, a luz penetra no interior dela, ejetando elétrons dessa parte metálica que se denomina cátodo.

No centro encontra-se o ânodo que é utilizado para captar elétrons. O ânodo liga-se ao pólo positivo de uma pilha.

As células fotoelétricas reagem à luz e até aos raios infravermelhos.

Na Figura 101 há um esquema do funcionamento de um circuito eletrônico encontrados nos postes de luz públicos. O resistor de sulfite de cádmio é a célula fotoelétrica. A luz do Sol ao incidir sobre ela ejeta elétrons, devido ao efeito fotoelétrico, esses elétrons geram uma corrente elétrica que passam por um transistor que a amplifica, este através da indução magnética gera na bobina um campo magnético que atrai a lâmina metálica abrindo o circuito. Quando não incide mais radiação sobre a célula fotoelétrica, deixa de existir campo magnético na bobina, fazendo com que o circuito se feche, então a fonte de energia elétrica liga a lâmpada.

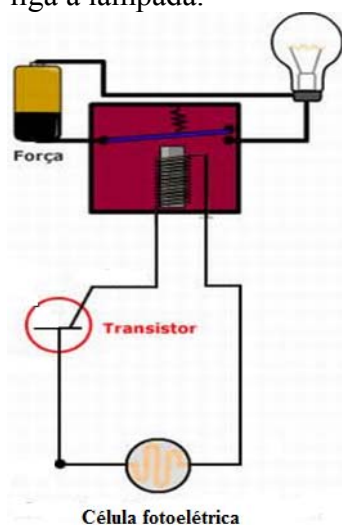


Figura 101: funcionamento de um circuito eletrônico encontrados nos postes de luz públicos.
Fonte: www.algosobre.com.br.

²³ Para maior aprofundamento ver Valadares (2005) e Gaspar (2002).

M.2.3.1.1 Fóton X Quantum

O fóton é formado por um quantum de energia. A partícula luminosa chama-se de fóton e a energia constituinte chama-se quantum.

Segundo Nussenzveig (2002), a energia de um fóton é em média de 4×10^{-19} joules. No entanto, se há uma lâmpada comum acesa com filamento incandescente de 100 W de potência, ela emite cerca de $2,5 \times 10^{20}$ fótons por segundo, o que faz com que a quantidade de energia transmitida seja significativa.

De acordo com Gaspar (2000), a energia de um fóton é calculada através da relação $E = hf$, onde h é a constante de Planck, que vale $6,63 \times 10^{-34}$ Js, e f é a frequência de oscilação da onda eletromagnética.

A emissão de um fóton pode ocorrer durante a transição de um elétron de um átomo entre dois estados energéticos diferentes. Quando o elétron recebe energia passa de uma camada mais interna para uma mais externa do átomo, quando ele retorna para seu estado original emite a energia correspondente a esta diferença sob a forma de um fóton.

Os fótons são partículas elementares que possuem a velocidade da luz. A massa deles existe apenas quando se movem com esta velocidade, sua massa teórica de repouso é igual a zero, pois de acordo com a Teoria da Relatividade Restrita²⁴, uma partícula que possui massa de repouso deveria ter uma massa infinita ao atingir a velocidade da luz, o que, pelo menos por enquanto, considera-se impossível.

Questões:

1. Explique a partir do efeito fotoelétrico como funcionam o acendimento automático das lâmpadas.
2. Como é utilizado o efeito fotoelétrico na radiologia?
3. Explique a equação (14).
4. Se a função trabalho do elétron for igual a energia dos fótons, o que acontecerá aos elétrons?
5. Represente através de desenho o efeito fotoelétrico e explique-o.
6. Quais conceitos físicos estão envolvidos na seção M.2.3.1 Grupo 1: Efeito Fotoelétrico?
7. Há alguma palavra, na seção M.2.3.1 Grupo 1: Efeito Fotoelétrico, que não foi compreendida? Se há escreva abaixo.
8. Faça um mapa conceitual com os principais pontos do que foi estudado na seção M.2.3.1 Grupo 1: Efeito Fotoelétrico.

M.2.3.2. Grupo 2: Efeito Compton

Segundo Costa (2002), o efeito Compton foi observado por Arthur Holly Compton em 1923, pelo qual ele recebeu o Prêmio Nobel da Física em 1927.

Efeito Compton ou o Espalhamento de Compton, de acordo com Dimenstein (2005), é a diminuição de energia (aumento de comprimento de onda) de um fóton de Raios-X ou de Raios gama, quando ele interage com a matéria (Figura 58). É o principal responsável por quase toda radiação espalhada encontrada em radiodiagnóstico.

A interação entre a alta energia dos fótons, em relação aos elétrons, resulta no elétron recebendo parte da energia dos fótons, fazendo-o recuar, e um fóton contendo a energia

²⁴ Há dois postulados sobre a Teoria da Relatividade Restrita: 1º) as leis físicas são as mesmas para todos os observadores em quaisquer sistemas de referenciais inerciais; 2º) a velocidade da luz no vácuo tem o mesmo valor para todos os observadores, qualquer que seja seu movimento ou movimento da fonte. Para maiores informações sobre a Teoria da Relatividade Restrita consultar GASPARG (2000).

restante sendo emitida numa direção diferente da original, para a conservação do momentum total do sistema fóton-elétron. Se o fóton ainda possui energia suficiente, o processo pode ser repetido.

O efeito Compton é importante porque demonstra que a luz não pode ser explicada meramente como um fenômeno ondulatório. Tal informação era fornecida pela teoria clássica de Maxwell, a qual afirmava que, sob a ação do campo eletromagnético incidente, as cargas elétricas, que compõem a matéria, entram em movimento oscilatório de frequência igual a do campo através de ressonância. As cargas então passam a atuar como emissores que produzem radiação de frequência igual a do seu próprio movimento. A característica essencial deste processo é, então, que as frequências e, portanto, os comprimentos de onda da radiação incidente e da radiação espalhada deveriam ser iguais, o que não ocorre.

A luz deve agir como se ela consistisse de partículas como condição para explicar o espalhamento de Compton. O experimento de Compton convenceu físicos de que a luz pode agir como uma corrente de partículas cuja energia é proporcional à frequência e não a intensidade.

Segundo Dimenstein (2005), o espalhamento de Compton ocorre em todos os materiais e predominantemente com fótons de energia entre 0.5 e 3.5 MeV.

O próprio Compton desenvolveu a teoria do espalhamento de Raios-X pela matéria, baseando-se nas seguintes hipóteses:

- o espalhamento Compton pode ser interpretado como uma colisão entre um fóton de Raios-X e um elétron livre do material alvo. Uma parte da energia é absorvida pelo elétron sendo transformada na energia cinética do mesmo e outra parte continua a se propagar sob forma de uma onda com menos energia que a primeira;

- como a energia de um fóton de Raios-X é muito maior que as energias cinéticas e potenciais de um elétron na matéria, pode-se desprezar estas energias e considerar o elétron como livre e inicialmente em repouso;

- a energia e o momentum linear são conservados na colisão.

De acordo com Koch, Ribeiro e Tonomura (1997), a probabilidade de uma interação Compton depende do número total de elétrons do absorvedor e não depende do número atômico. Depende do número de elétrons, pois quanto maior for a quantidade de elétrons maior será a probabilidade do fóton da radiação incidente encontrar um elétron, gerando o efeito Compton. O número atômico (número de prótons) é geralmente igual ao número de elétrons, a não ser em casos em que o átomo seja ionizado, ou seja, onde é ejetado (íon positivo) ou fornecido ao átomo elétrons (íon negativo). Para ocorrer o efeito Compton não influencia o número de prótons, mas apenas o número de elétrons.

Segundo o mesmo autor o número de reações diminui significativamente com o crescimento da energia do fóton, de modo que a probabilidade de um fóton de mais alta energia atravessar o corpo humano é maior que um fóton de baixa energia. Isso ocorre, pois com energias menores que 0,5 MeV há maior probabilidade de ocorrer o efeito fotoelétrico, que é o principal responsável pela absorção da radiação e entre 0,5 MeV e 7 MeV há maior probabilidade de ocorrer o efeito Compton, pois toda a energia não é absorvida pelos elétrons, mas uma parte é desviada da sua trajetória originando o efeito Compton.

Questões:

1. Represente através de desenho o efeito Compton e explique-o.
2. Quais diferenças e semelhanças existem entre o efeito Compton e o efeito fotoelétrico?
3. Se ocorre o efeito Compton, explique o que acontece com os átomos que ficam em contato com os Raios-X.

4. Quais relações existem entre o efeito Compton, a ionização e as consequências que resultam da exposição às radiações ionizantes, como os Raios-X?

5. Por que é utilizada uma placa de chumbo nos exames de radiologia? Explique com base no efeito Compton e fotoelétrico, relacionando com o número atômico do chumbo.

6. Quais conceitos físicos estão envolvidos na seção M.2.3.2. Grupo 2: Efeito Compton?

7. Há alguma palavra na seção M.2.3.2. Grupo 2: Efeito Compton que não foi compreendida? Se há escreva abaixo.

8. Faça um mapa conceitual com os principais pontos do que foi estudado na seção M.2.3.2. Grupo 2: Efeito Compton.

M.2.3.3 Grupo 3: Produção de Pares

De acordo com Williams (1991), produção de pares surge de um processo de interação eletromagnética do fóton com o campo eletromagnético do núcleo do átomo. Dessa interação, resulta que o fóton se transforma em um par de partículas elétron/pósitron. Chama-se materialização de energia a este processo, uma vez que se produzem partículas materiais a partir de radiação eletromagnética.

O pósitron é semelhante ao elétron, a única diferença refere-se a que ambos possuem carga e momentum com sinais opostos.

Nesse processo, a energia do fóton é convertida na massa do elétron e do pósitron e na energia cinética de ambos.

Segundo Einsberg (1979), relativisticamente há:

$$hf = (m_0c^2 + K_-) + (m_0c^2 + K_+) = K_- + K_+ + 2m_0c^2$$

onde hf é a energia do fóton, como já foi visto na seção M.2.3.1 Grupo 1: Efeito Fotoelétrico; m_0 é a massa de repouso do elétron e do pósitron; K_- e K_+ são respectivamente a energia cinética do elétron e do pósitron; c é a velocidade da luz e equivale a 3×10^8 m/s.

Para ocorrer a produção de pares, a energia de recuo do núcleo deve ser desprezível, pois toda a radiação deve ser convertida na massa e na energia do pósitron e do elétron. Portanto, quanto maior o número atômico (Z) maior será a probabilidade de ocorrer a produção de pares que é proporcional a Z^2 .

Devido ao pósitron possuir carga positiva ele é mais acelerado do que o elétron que é freado pelo núcleo, pois neste há prótons que possuem carga positiva freando o elétron através da força elétrica.

Pela lei da conservação da massa-energia, a produção de pares apenas ocorrerá se o fóton tiver uma energia superior a 1,02 MeV que é o dobro da energia equivalente à massa de um elétron em repouso. Portanto, a criação de pares ocorre para altas energias.

A energia cinética do par elétron/pósitron será tanto maior quanto maior for o excesso de energia do fóton em relação a 1,02 MeV. Além disso, este processo somente ocorre na presença de matéria, dado que é necessária uma troca de quantidade de momentum com um núcleo pesado para que se conserve a energia e a quantidade de momentum.

Sintetizando: a produção de par ocorre quando um fóton de alta energia, por exemplo, um fóton de raio gama, interage com um núcleo atômico, permitindo que a radiação seja transformada em um elétron e um pósitron. Como o momentum do fóton no estado inicial deve ser absorvido por algo, a produção de par não pode ocorrer no espaço vazio a partir de um único fóton, dessa forma, o núcleo é necessário para se conservar tanto o momentum como a energia. Pode-se fazer uma analogia ao que ocorre em uma mesa de sinuca, para haver a transferência de momentum deve haver a interação do conjunto mão-taco com a bola, o momentum do taco não se transformará no momentum de outro objeto se não existir matéria.

M.2.3.3.1 Aniquilação de pares

De acordo com Machado (2006), a aniquilação de pares ocorre quando uma partícula encontra a sua antipartícula e, na interação, ambas se transformam em radiação eletromagnética. Na aniquilação do par elétron-pósitron um elétron encontra com um pósitron e ambos transformam-se em radiação gama com uma energia mínima de 1,02 MeV.

Segundo Williams (1991), a aniquilação e produção de pares surgiram da necessidade de se explicar a equação de Dirac. Esta equação tem como solução uma energia negativa e uma energia positiva. Na Mecânica Clássica poderia considerar a energia negativa como não Física, pois as variáveis dinâmicas são contínuas. Entretanto, com as equações de Dirac isso não foi possível, pois mesmo retirando as energias negativas, ao serem realizadas colisões, por exemplo, com uma barreira de potencial, as soluções de energia negativa são produzidas novamente.

Essa solução de energia negativa implicaria que o átomo de hidrogênio não seria estável, ou seja, nada impediria o elétron de cair para níveis de menor energia até colapsar no núcleo atômico. Para evitar isso Dirac assumiu que os níveis de energia negativa estavam todos ocupados, dessa forma, os elétrons de energia positiva não poderiam mais cair em um “buraco” de energia negativa.

Esse “buraco” de energia negativa pode ser interpretado como uma antipartícula, no caso um pósitron. Se um elétron de energia positiva cair num “buraco” há a emissão de um fóton e o elétron é aniquilado pelo “buraco”.

A aplicação da aniquilação de pares ocorre na Medicina Nuclear (seção M.5.4.1 Texto 1: Medicina Nuclear), que utiliza emissores de pósitrons. Pode-se observar a aniquilação de pares na Figura 59.

Questões:

1. Represente através de desenho a produção e aniquilação de pares explicando-os detalhadamente.
2. Quais relações existem entre a produção de pares, a ionização e as consequências que resultam da exposição às radiações ionizantes, como os Raios-X?
3. O que significa MeV?
4. Quais conceitos físicos estão envolvidos na seção M.2.3.3 Grupo 3: Produção de Pares?
5. Há alguma palavra no texto da seção M.2.3.3 Grupo 3: Produção de Pares que não foi compreendida? Se há escreva abaixo.
6. Faça um mapa conceitual como os principais pontos do estudado no texto da seção M.2.3.3 Grupo 3: Produção de Pares.

M.2.3.4. Grupo 4: Escala do Tempo do Dano da Radiação

Tabela 41: efeitos danosos da radiação no organismo.

Fonte: www.ipen.br.

Estágio	Tempo	Ação	Efeito
Físico	$<10^{-14}$ s	Deposição de energia na água.	Excitação dos compostos e absorção de luz.
Físico- químico	10^{-14} s á 10^{-12} s	Quebra das ligações: S-H, O-H, N-H e C-H. Transferência de íons. Radiólise da água. Formação de H_2O_2 . S é enxofre; H é hidrogênio; O é oxigênio; N é nitrogênio; C é carbono e H_2O_2 (Peróxido de hidrogênio, mais conhecido como água oxigenada).	Começa o dano químico. Radicais livres começam a reagir com os radicais metabólicos normais.

Químico	10^{-12} á 10^{-7} s	Continua a reação dos radicais livres da água com biomoléculas. Quebra das ligações C-C e C-N. Radicais secundários. Produtos estáveis começam a aparecer. Continua formação de produtos tóxicos.	Começa o dano ao ácido ribonucléico (RNA) e ao ácido desoxirribonucléico (DNA). Enzimas são inativadas e ativadas. Dano nas biomoléculas.
Químico-biológico	10^{-7} á 10s	Radicais secundários.	Muitas reações bioquímicas são interrompidas. Começa reparo do DNA
Biológico	10s á 10 horas	A maioria das reações primárias é completada. Reações secundárias continuam.	Mitose das células é diminuída. Reações bioquímicas bloqueadas. Rompimento da membrana celular. Começa o efeito biológico.

Questões:

1. A partir da Tabela 41 responda: o que são efeitos químicos, biológicos, físicos e orgânicos?
2. O que é radiólise da água?
3. O que são radicais livres?
4. Quais são as formas de proteção para evitar os efeitos danosos da radiação a saúde?
5. Cite exemplos de tratamentos quando a radiação atingiu os efeitos biológicos.
6. Quais os conceitos físicos que estão envolvidos na seção M.2.3.4. Grupo 4: Escala do Tempo do Dano da Radiação?
7. Há alguma palavra na seção M.2.3.4. Grupo 4: Escala do Tempo do Dano da Radiação que não foi compreendida? Se há alguma, escreva abaixo.
8. Faça um mapa conceitual com os principais pontos do estudado na seção M.2.3.4. Grupo 4: Escala do Tempo do Dano da Radiação.

M.2.3.5. Grupo 5: Unidades de Medidas das Radiações e suas Relações²⁵

A grandeza utilizada para medir a quantidade de transformações que ocorrem em uma fonte radioativa, dando origem aos diversos tipos de radiação, é a **atividade** ou **radioatividade**. A unidade da atividade mais usada é o Curie (Ci). Este é a atividade de uma quantidade de substância radioativa, na qual ocorrem $3,7 \times 10^{10}$ desintegrações /segundo, ou seja, 1Ci é igual a $3,7 \times 10^{10}$ desintegrações/segundo. Hoje, no Sistema Internacional de Medidas, utiliza-se, como unidade de medida para a atividade o Becquerel, um Becquerel é equivalente a $2,7 \cdot 10^{-11}$ Curie. Em outras palavras, a atividade é o quociente dN/dt , de uma quantidade de núcleos radioativos num estado de energia particular, onde dN é o valor esperado do número de transições nucleares espontâneas desse estado de energia no intervalo de tempo dt , ou seja:

$$A = \frac{dN}{dt} \quad (16)$$

A **Meia Vida** é o tempo médio para que metade dos átomos de um elemento decaiam, ou seja, emitam radiação. Pode ser calculado pela expressão matemática: $T_{1/2} = (\ln 2)/\lambda$, onde λ é a constante de decaimento, que depende de cada material.

²⁵Esse texto se baseia em Ramos (2002).

A **Vida Média** (τ) é o tempo de vida de cada radionuclídeo da amostra e corresponde ao tempo necessário para os núcleos radioativos decrescerem um fator de $1/\lambda$. A fórmula para o cálculo da vida média está na equação (17).

$$\tau = \frac{1}{\lambda} = \frac{T_{1/2}}{\ln 2} \quad (17)$$

A **energia média necessária para formar um par de íons num gás** (W) é o quociente de E por N , onde N é o número médio de pares de íons formados, quando uma partícula carregada de energia cinética E é completamente dissipada no gás.

$$W = \frac{E}{N} \quad (18)$$

Seu valor normalmente é expresso dividido pela carga do elétron e . Para o ar o W/e equivale a $33,97 \text{ J C}^{-1}$.

O **Kerma** (K) é o quociente dE_{tr} por dm , onde dE_{tr} é a soma de todas as energias cinéticas iniciais de todas as partículas carregadas liberadas por partículas neutras ou fótons, incidentes em um material de massa dm . A unidade de medida do Kerma é o Gy.

$$K = \frac{dE_{tr}}{dm} \quad (19)$$

A **dose absorvida** (D) é o quociente de $d\varepsilon$ por dm , onde $d\varepsilon$ é a energia média depositada pela radiação ionizante na matéria de massa dm , num ponto de interesse.

$$D = \frac{d\varepsilon}{dm} \quad (20)$$

A unidade mais antiga da dose absorvida é o Rad (Radiation absorbed dose). Um Rad equivale à quantidade de radiação que provoca a absorção de 10^{-5} J de energia por grama de matéria, isto é, $1 \text{ Rad} = 10^{-5} \text{ J/g}$ de matéria que absorveu a radiação.

O Gray (Gy) é a nova unidade de dose absorvida de radiação utilizada em substituição ao Rad. Um Gy=100 Rad.

Segundo Ramos (2002) a **exposição** (X) “é o quociente entre dQ e dm , onde dQ é o valor absoluto da carga total de íons de um dado sinal, produzidos no ar, quando todos os elétrons liberados por uma massa dm , são completamente freados”. Desta forma a exposição sofrida pode ser calculada pela equação (21).

$$X = \frac{dQ}{dm} \quad (21)$$

A unidade mais antiga para a exposição é o Röntgen (R), sendo definido como a carga liberada por unidade de massa de ar. Sua unidade é o Coulomb por quilograma (C/kg), 1 Röntgen (R) equivalente a $2,58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$. Para Raios-X e raios gama, uma exposição de 1 R, resulta numa dose absorvida de 1 rad em água ou tecido mole (baixa densidade em relação aos ossos).

Em 1985, a Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM) determinou que o Roentgen deveria ser abandonado. Uma das soluções propostas foi a utilização da unidade de medida da exposição em Sievert, que considera $1R=0,01 \text{ Sv}$ ($1 \text{ C/kg}= 38,76 \text{ Sv}$). Essa

correlação foi definida por uma grandeza denominada equivalente de dose para fótons (H_x).
Na Tabela 42 pode-se ver a relação entre algumas unidades de radiação.

Tabela 42: relação entre algumas unidades de radiação.
Fonte: www.ipen.br.

	Antiga	Nova	Símbolo	Relação
Dose	Rad	gray	Gy	1rad = 0,01 Gy
Exposição	R	sievert	Sv	1R = 0,01 Sv
Radioatividade	Ci	Becquerel	Bq	1Ci = 3,7 x 10 ¹⁰ Bq

Além dessas grandezas há outras. Pode-se observar na Tabela 43 um esquema explicando algumas destas unidades.

Tabela 43: dose equivalente, equivalente de dose e peso da radiação.
Fonte: Ramos (2002).

Variável	Símbolo	Conversão	Significado da variável
Fator de qualidade	Q	1	É o fator de conversão de dose absorvida em equivalente de dose num tecido ou órgão: $H=DQ$
Equivalente de dose	H	Sievert $Sv=J Kg^{-1}$	É o produto da dose absorvida D num ponto no tecido, pelo fator de qualidade Q da radiação: $H=DQ$
Equivalente de dose efetiva	H_E	Sievert $Sv=J Kg^{-1}$	É obtido pela relação: $H_e = \sum_T W_T H_T$ onde W_T é o fator de peso do tecido ou órgão T relevante e H_T é o equivalente de dose do tecido ou órgão T.
Fator de peso da radiação	W_R	1	É o fator de peso de cada radiação R que permite converter a dose absorvida $D_{T,R}$, no tecido T, em dose equivalente no tecido T, devido a radiação (R): $H_{T,R}=W_R D_{T,R}$
Dose equivalente	H_T	Sievert $Sv=J Kg^{-1}$	É o valor médio da dose absorvida $D_{T,R}$ num tecido ou órgão T devido a radiação R: $H_T = \sum_R W_R D_{T,R}$ onde W_R é o fator de peso da radiação R.
Dose efetiva	E	Sievert $Sv=J Kg^{-1}$	É a soma das doses equivalentes em todos os tecidos ou órgãos do corpo: $E = \sum_T W_T H_T$ Onde W_T é o fator de peso para o tecido T e H_T é a dose equivalente a ele atribuída.

M.2.3.5.1 Absorção da radiação

Além da natureza da própria radiação, também a natureza do tecido vivo que absorve a radiação influencia no efeito biológico observado, de modo que quando exposto a mesma dose de radiação, o tecido ósseo absorve aproximadamente o dobro de energia absorvida por tecidos não-ósseos.

Assim sendo, materiais com diferentes densidades absorvem quantidades diferentes da mesma radiação.

Questões:

1. Quais são os fatores que interferem na absorção de radiação?
2. O que difere meia vida de vida média?
3. Suponha que há um elemento com uma constante de decaimento 10, calcule a meia vida desse elemento.
4. Suponha que há outro elemento com uma constante de decaimento 5, calcule a meia vida desse elemento. Qual relação Física existe com o exercício anterior?
5. Imagine que um determinado laboratório utilize S-35, P-32 e Cr-51 nas suas atividades de pesquisa. Você detectou com o contador Geiger-Muller uma contaminação na bancada de manipulação, mas ninguém sabe de qual radioisótopo. Como você faria para descobrir isso?
6. Suponha que foi constatado, em certo laboratório, uma contaminação em um micropipetador com 10 microcuries de S-35. Supondo que a contaminação máxima aceitável para a reutilização do micropipetador seja de 2 microcuries, quanto tempo deve-se esperar para o decaimento radioativo sem que haja interferência no emissor de radiação?

Dado: meia vida do S-35 = 87 dias.

7. Transforme:
 - a) 100 rad em Gy.
 - b) 2 rem em Sv.
 - c) 8Ci em Bq.
 - d) 3,5 rad em Gy
 - e) 8,3 rem em Sv.
 - f) 10,4 Ci em Bq.
 - g) 30Gy em rad.
 - h) 8Sv em REM.
 - i) 38 Bq em Ci.
8. Quais os conceitos físicos que estão envolvidos na seção M.2.3.5. Grupo 5: Unidades de Medidas das Radiações e suas Relações?
9. Há alguma palavra na seção M.2.3.5. Grupo 5: Unidades de Medidas das Radiações e suas Relações que não foi compreendida? Se há escreva abaixo.
10. Faça uma cruzadinha como os principais pontos do que foi estudado na seção M.2.3.5. Grupo 5: Unidades de Medidas das Radiações e suas Relações, contendo as unidades de medida da radiação, com suas respectivas abreviações e significados.

M.2.3.6. Grupo 6: exposição natural

M.2.3.6.1 Exposição natural

Quando um ser vivo é exposto a uma dose não letal e continua de radiação ionizante, pode ocorrer defeitos genéticos ou formação de tumores cancerosos a longo prazo.

Uma pessoa está sujeita à ação da radiação proveniente de várias fontes, cuja dose anual total encontra-se abaixo do máximo tolerado. Exemplos de exposições à radioatividade a que uma pessoa pode submeter-se sem dano, encontram-se na Figura 98.

M.2.3.6.2 Legislação

Conforme lei estabelecida no Rio Grande do Sul (1998), a dose efetiva anual não pode exceder 20 mSv em qualquer período de 5 anos consecutivos, não podendo exceder 50

mSv em nenhum ano.

Para fins de planejamento de barreiras físicas de uma instalação e para verificação de adequação dos níveis de radiação em levantamentos radiosimétricos, os seguintes níveis de equivalente de dose devem ser adotados:

- a) 5 mSv/ano em áreas controladas;
- b) 0,5 mSv/ano em áreas livres.

Quando exposta à radiação, a molécula de água (presente no líquido puro ou fazendo parte dos tecidos vivos) absorve a energia contida na radiação. A energia absorvida forma radicais livres (átomos não ligados que faltam elétrons).

Na água pura, os radicais formados recombina-se rapidamente e a energia absorvida dissipa-se sob a forma de calor.

Já no tecido vivo, os radicais formados podem interagir com as células, danificando e alterando seus mecanismos de reprodução pela alteração do seu material genético, levando a várias consequências, dentre elas à morte.

A seguir, indica-se, sucintamente, como são produzidas as diferentes radiações na natureza.

M.2.3.6.3 Radiações

Alguns tipos de radiação corpuscular (partículas alfa e beta) e de radiação eletromagnética (raios gama) podem ser compreendidos a partir da síntese dos elementos.

Para entender como o núcleo de um átomo é formado, precisa-se saber que dentro dele age uma força nuclear forte responsável pela estabilidade do núcleo, pois mantém unidos os prótons e nêutrons em seu interior. Entretanto, de acordo com Hewitt (2002), esta força é de alcance muito curto (10^{-15} m). Assim, somente os prótons e nêutrons que estejam próximos possuem essa força de atração.

Sabe-se que os nêutrons são eletricamente neutros, enquanto os prótons possuem carga positiva, assim os prótons sofrem a influência da força elétrica de repulsão, que tem um alcance bem maior que a força nuclear forte. Sendo assim, prótons que estão próximos sofrem mais intensamente a força nuclear forte que é atrativa, já aqueles que se encontram mais distantes uns dos outros, estão sujeitos mais intensamente à força elétrica de repulsão entre as cargas iguais (dois prótons, por exemplo), conforme pode-se ver na Figura 102.

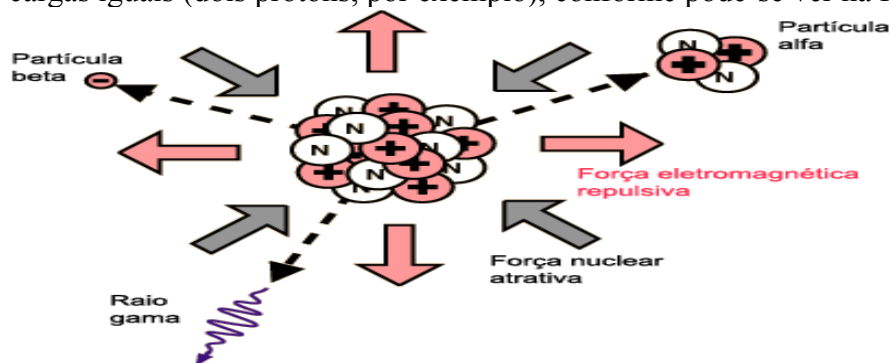


Figura 102: decaimento radioativo, variáveis que interferem nele e emissão de radiação.

Fonte: <http://www.searadaciencia.ufc.br>.

Na Figura 102 encontra-se a representação esquemática do decaimento radioativo de um núcleo. As bolinhas cinzas representam os prótons, enquanto as brancas são os nêutrons.

Sintetizando: quando dois prótons estão bem próximos, aparece entre eles uma intensa força de atração (devido à força nuclear forte), assim a força elétrica (que ocorre devido à repulsão elétrica) não influencia quando os prótons estão, segundo Hewitt (2002), a uma distância de até 10^{-15} m.

Entretanto, para dois prótons que estão mais distantes um do outro a força nuclear

forte tem sua intensidade diminuída e neste caso a força elétrica possui mais intensidade, tornando este núcleo instável. Assim, ele pode emitir espontaneamente partículas alfa, beta e Raios Gama.

A presença de nêutrons no núcleo ajuda na estabilidade nuclear, uma vez que a força elétrica de atração entre um próton e um nêutron é maior que a que ocorre entre próton-próton ou entre nêutron-nêutron.

Segundo Sorenson (1987), os núcleos instáveis tendem a alterar, de forma natural, o número de prótons e nêutrons. A esse processo dá-se o nome de decaimento radioativo, ocorrendo principalmente à emissão de nêutrons (na fissão espontânea), de partículas alfa, beta e de raios gama.

A fissão ocorre quando um átomo divide-se e a fusão ocorre quando dois átomos se unem.

Como pode-se ver na Figura 102, a radiação alfa é a emissão de dois nêutrons e de dois prótons.

A radiação beta ocorre em duas circunstâncias. Quando um nêutron transforma-se em prótons há a emissão de um elétron e de um neutrino (partícula com uma quantidade ínfima de matéria e que não possui carga, portanto é difícil detectá-la). Quando um próton se transforma em nêutron há a emissão de um pósitron que é a antipartícula do elétron.

A emissão de radiação gama ocorre depois da emissão de radiação alfa e beta, quando o átomo ainda possui energia excedente, ou quando há a aniquilação de pares.

Existem dois tipos de radiação que chegam até nós a partir do espaço:

- a radiação de fundo, que possui seu pico de energia na frequência da radiação das ondas de microondas;
- a radiação cósmica.

A primeira tem caráter eletromagnético e acredita-se que ela é proveniente da formação do universo, por este motivo ela é conhecida como “um registro fóssil do Big Bang”. Não provoca doenças nos seres vivos da Terra, mas pode interferir nos sinais de alguns meios de comunicação, pois são ondas que, através da interferência construtiva e/ou destrutiva, podem interferir nas ondas eletromagnéticas responsáveis pela comunicação, por exemplo, as de televisão.

A segunda possui caráter corpuscular e alta energia, assim pode-se concluir que ela é formada de partículas extremamente penetrantes (chamadas de radiação cósmica primária), que, ao atingir os núcleos dos átomos da atmosfera, dão origem a outras partículas com menor energia, sendo chamadas de radiação cósmica secundária.

A origem da radiação cósmica primária ainda não é bem conhecida, sendo que apenas uma pequena parte dela é proveniente do Sol e de outras estrelas.

O campo magnético da Terra é gerado pelo seu movimento de rotação. Dentro da Terra há muito metal a alta temperatura e, portanto muitos elétrons livres (as temperaturas elevadas fornecem energia para que os elétrons menos ligados sejam ejetados dos átomos dos metais). Estes, devido ao movimento da Terra, geram uma corrente elétrica, que devido à indução magnética, produz campo magnético. Os elétrons que estão presos ao átomo não produzem corrente elétrica e, portanto, não geram campo magnético. Os pólos magnéticos não coincidem exatamente sobre os pólos geográficos, havendo um pequeno desvio. Por conveniência, próximo ao pólo norte geográfico está o sul magnético e, próximo ao pólo sul geográfico, está o norte magnético.

Como os pólos magnéticos estão na extremidade do eixo magnético que corta a Terra, as partículas carregadas são atraídas para essas regiões. Assim a magnetosfera terrestre afasta essa radiação da região equatorial da Terra, havendo uma intensidade maior de Raios cósmicos nos pólos do que no equador, gerando, por exemplo, o fenômeno natural da aurora boreal.

A radiação cósmica é responsável pela produção de núcleos instáveis em nossa atmosfera, como o carbono 14. Isso faz com que a quantidade desse elemento se mantenha constante, ajudando na datação de rochas, achados fósseis, etc.

Outro tipo de radiação natural e de caráter eletromagnético é a infravermelha, que é produzida por qualquer corpo que apresente temperatura.

Os Raios Ultravioletas (UV) também são um tipo de radiação natural que têm caráter eletromagnético e são produzidos principalmente pelo Sol, mas o homem pode obter este tipo de radiação através de lâmpadas e de câmaras de bronzamento artificial.

A radiação UV é dividida em três categorias: UVA, UVB e UVC e essas são classificadas em ordem crescente de frequência e, conseqüentemente, do malefício que provocam à saúde dos seres humanos.

Os Raios UVC são os mais perigosos para a saúde humana, mas são quase totalmente absorvidos pela camada de ozônio, quando entram na atmosfera. Os Raios UVB atingem a superfície terrestre numa quantidade um pouco maior, enquanto que a radiação UVA é a que chega até a Terra em maior quantidade e é a principal responsável pelo bronzamento.

Qual a exposição natural que as pessoas sofrem diariamente?

Observe a Figura 98.

Questões:

1. Quais os procedimentos que você, se trabalha-se com radiologia, poderia fazer para evitar eventos de radiação?
2. Pode-se diminuir a probabilidade da ocorrência de algumas doenças devido à radiação ionizante tomando algumas precauções. Pode-se, por exemplo, diminuir a probabilidade de ocorrência do câncer de tireóide em pessoas que foram atingidas por radiação ionizante?
3. Como ocorre a emissão de radiação nuclear? Explique detalhadamente.
4. Quais conceitos físicos que estão envolvidos na seção M.2.3.6. Grupo 6: exposição natural?
5. Há alguma palavra na seção *M.2.3.6. Grupo 6: exposição natural* que não foi compreendida? Se houver, escreva-a abaixo.
6. Faça um mapa conceitual com os principais pontos do que foi estudado na seção M.2.3.6. Grupo 6: exposição natural.

M.2.3.7 Grupo 7: Efeitos Biológicos das Radiações Ionizantes

Segundo Garcia (2002), os efeitos biológicos da radiação são consequência de uma longa série de acontecimentos que se inicia pela excitação e ionização de moléculas no organismo.

Há dois mecanismos pelos quais as alterações químicas nas moléculas são produzidas pela radiação ionizante: efeitos diretos e indiretos. Os efeitos diretos acontecem quando a radiação rompe a membrana e mata a célula ou muda o DNA, fazendo com que a célula se reproduza de forma errada, ou seja, não produza os tecidos que formava antes da alteração do DNA. Os efeitos indiretos ocorrem quando a radiação produz radicais livres.

No processo de interação da radiação com a matéria ocorrem a ionização e a excitação dos átomos e moléculas provocando modificação (pelo menos temporária) nessas moléculas. O dano que mais influencia na saúde é o que ocorre no DNA.

Quando a radiação incide no corpo humano inicialmente ocorrem os efeitos físicos, como, por exemplo, elevação da temperatura. Na seqüência ocorrem os efeitos químicos, como a ruptura de ligações moleculares e conseqüentemente a criação de radicais livres. Já os efeitos biológicos podem levar minutos-anos para surgirem e é a resposta natural do organismo a um agente agressor e não é, necessariamente, em doença, como por exemplo, a

redução de leucócitos. Os efeitos orgânicos são as doenças, que surgem devido a incapacidade de recuperação do organismo devido à frequência ou quantidade dos efeitos biológicos, por exemplo, catarata e leucemia.

Observe a Figura 96 e a Figura 97.

M.2.3.7.1 Efeitos da radiação ionizante nos seres humanos

Os efeitos biológicos são classificados segundo:

- a dose absorvida: Estocásticos ou Determinísticos;
- ao Tempo de Manifestação: Imediatos ou Tardios;
- ao Nível de dano: Somáticos ou Genéticos.

Efeito Estocástico:

- não apresenta limiar de dose: o dano pode ser causado por uma dose mínima de radiação. Tumores altamente malignos podem ser causados por doses baixas e outros benignos por doses altas. A severidade é constante e independente da dose;

- leva à transformação celular. Sua causa deve-se à alteração aleatória no DNA de uma única célula que continua a se reproduzir. Quando o dano ocorre em célula germinativa, efeitos genéticos ou hereditários podem ocorrer.

- a probabilidade de ocorrência é em função da dose;

- são difíceis de serem medidos experimentalmente, devido ao fato de poderem ter um longo período de latência.

Exemplos: câncer, defeitos genéticos.

Efeito Determinístico:

- leva à morte celular;

- existe limiar de dose, ou seja, os danos só aparecem a partir de uma determinada dose;

- a probabilidade de ocorrência e a gravidade do dano estão diretamente relacionadas com o aumento da dose;

- geralmente aparecem num curto intervalo de tempo.

Exemplos: catarata, náuseas, anemia, esterilidade, hemorragia, eritema e necrose.

A morte de um pequeno número de células de um tecido, resultante da exposição a radiação, normalmente, não traz nenhuma consequência clínica observável. Para indivíduos saudáveis, dependendo do tecido irradiado, nenhum indivíduo apresentará efeito determinístico para doses de até centenas ou milhares de miliSieverts.

Acima de um valor de dose (limiar), o número de indivíduos manifestando o efeito aumenta até atingir 100%. Isto decorre em função das diferenças de sensibilidade entre os indivíduos.

Nos *Efeitos Genéticos*: os danos são provocados nas células que participam do processo reprodutivo dos indivíduos que foram expostos à radiação e podem resultar em defeitos ou malformações dos seus descendentes.

Os *Efeitos Somáticos* das radiações são aqueles que afetam apenas os indivíduos irradiados, não se transmitindo para seus descendentes. Os efeitos somáticos classificam-se em efeitos imediatos e tardios:

Os *Efeitos Imediatos* são aqueles que ocorrem em um período que varia de horas até algumas semanas após a irradiação. Como exemplos de efeitos imediatos provocados pela ação de radiações ionizantes pode-se citar: queda de cabelos, necrose de tecido, esterilidade temporária ou permanente e alterações no sistema sanguíneo.

Os *Efeitos Tardios* são os efeitos que ocorrem depois de vários meses, ou anos, após a exposição à radiação. Exemplos dos efeitos tardios são: o aparecimento de catarata e o câncer.

M.2.3.7.2. Propriedades dos sistemas biológicos

Os tecidos biológicos apresentam as seguintes propriedades:

Reversibilidade: mecanismo de reparo das células é muito eficiente. Mesmo danos mais profundos são capazes de serem reparados ou compensados.

Transmissibilidade: o dano biológico não se transmite. O que pode ser transmitido é o efeito hereditário em células reprodutivas danificadas.

Fatores de Influência: pessoas que receberam a mesma dose podem não apresentar o mesmo dano. O efeito biológico é influenciado, por exemplo, pela idade e sexo. Para uma mesma quantidade de radiação, os efeitos biológicos resultantes podem ser muito diferentes.

A exposição nos seres humanos pode ser:

Exposição única: radiografia.

Exposição fracionada: radioterapia.

Exposição periódica: rotina de quem trabalha com materiais radioativos.

M.2.3.7.3. Sistema de Proteção Radiológica

- evitar os efeitos determinísticos, uma vez que existe um limiar de dose. Manter as doses abaixo do limiar, para qualquer pessoa que entre em contato com radiações ionizantes;
- prevenir os efeitos estocásticos fazendo uso de todos os recursos disponíveis de proteção radiológica;
- para efeito de segurança em proteção radiológica, considera-se que os efeitos biológicos produzidos por radiações ionizantes sejam cumulativos;
- câncer é a principal preocupação de proteção radiológica. É difícil distinguir se ele foi ou não induzido por radiação.

Questões

1. Qual a diferença entre efeitos somáticos e efeitos hereditários?
2. A reação de um indivíduo à exposição de radiação depende de quais fatores?
3. O que são efeitos estocásticos e determinísticos? Quais as diferenças entre eles?
4. O que são efeitos químicos, biológicos, físicos e orgânicos?
5. Quais os conceitos físicos que estão envolvidos na seção M.2.3.7 Grupo 7: Efeitos Biológicos das Radiações Ionizantes?
6. Há alguma palavra na seção M.2.3.7 Grupo 7: Efeitos Biológicos das Radiações Ionizantes que não foi compreendida? Se houver, escreva-a.
7. Faça um mapa conceitual com os principais pontos do estudado na seção M.2.3.7 Grupo 7: Efeitos Biológicos das Radiações Ionizantes.

M.2.3.8 Grupo 8: O Equipamento de Raios-X Convencional e da Mamografia

M.2.3.8.1 O Equipamento de Raios-X

Segundo Bushong (2007), o centro de um equipamento de Raios-X é um par de eletrodos, um cátodo e um ânodo, que ficam dentro de um tubo de vidro a vácuo. O cátodo é um filamento aquecido, como o que se pode ver em uma lâmpada fluorescente.

Uma corrente elétrica passa pelo filamento, aquecendo-o. O calor ejeta os elétrons da superfície do filamento. O ânodo, positivamente carregado, é um disco achatado feito, por exemplo, de tungstênio, que atrai os elétrons através do tubo.

Na Figura 103 pode-se ver um esquema com as partes do equipamento de Raios-X e, na Figura 104, pode-se ver um equipamento de Raios-X.

A diferença de voltagem entre o cátodo e o ânodo é extremamente alta; então, os elétrons movimentam-se pelo tubo com bastante energia.

Assim os Raios-X, como foi visto nas seções M.1.3.2, M.1.3.3, M.1.3.4, podem ser

produzidos de duas formas: característica e de freamento.

De acordo com Garcia (2002), as colisões de alto impacto envolvidas na produção dos Raios-X geram aumento na temperatura. Um motor gira o ânodo para que ele não derreta (o feixe de elétrons não está sempre focalizado na mesma área). Uma camada de óleo frio ao redor da ampola também absorve a energia originada das colisões.



Figura 103: modelo do funcionamento aparelho Raios-X.
Fonte: <http://novastecnologiassaude.blogspot.com>.



Figura 104: aparelho de Raios-X.
Fonte: <http://www.searadaciencia.ufc.br>.

Todo o mecanismo é protegido por uma blindagem de chumbo. Ela evita que os Raios-X saiam em todas as direções. Uma pequena abertura na blindagem permite que alguns fótons de Raios-X saiam formando um feixe. Esse feixe passa por uma série de filtros que têm a função de retirar dele as ondas de baixas energias, que não contribuem para o diagnóstico radiográfico. Estas ondas, se não fosse filtradas, apenas provocariam uma absorção de energia pela pele do paciente, já que não possuem energia suficiente para atravessar o corpo humano.

Um detector no outro lado do paciente grava o padrão de Raios-X que atravessam o corpo humano. Os detectores de Raios-X que utilizam filmes usam a mesma tecnologia de

filmes de uma câmera fotográfica comum.

Geralmente, médicos e técnicos deixam a imagem no filme como um negativo. Isso quer dizer que as áreas expostas a mais radiação ficam mais escuras e as áreas expostas a menos radiação aparecem mais claras. Materiais densos, como ossos, aparecem em branco enquanto materiais menos densos aparecem em preto ou cinza. Os materiais mais densos absorvem mais a radiação, pois eles apresentam maior número atômico, favorecendo a ocorrência do efeito Fotoelétrico (absorção).

M.2.3.8.1.1 Geradores de Raios-X

O gerador, de acordo com Dimenstein (2005), fornece a potência necessária ao tubo de Raios-X e permite selecionar a energia, a quantidade de fótons de Raios-X e o tempo de exposição. Os modernos geradores são compostos por transformadores, retificadores, diodos, circuitos retificadores, filamento, circuito extrator, timers, medidores de kVp e mA, circuitos de controle automático de exposição e seletor de ponto focal.

Transformadores (Figura 105): são empregados- 1º) para realizar a ampliação na entrada de tensão, de acordo com os princípios de indução eletromagnética; 2º) para diminuir a voltagem no filamento, o qual é responsável por arrancar elétrons no aparelho de Raios-X e do mamógrafo.

De acordo com Gaspar (2000), no enrolamento primário há uma corrente alternada e essa produz um campo magnético que induz o movimento dos elétrons no enrolamento secundário, originando no segundo enrolamento uma corrente alternada.



Figura 105: transformadores.
Fonte: www.deltapltda.com.br.

A voltagem diminui se o número de voltas no enrolamento primário for maior do que o do enrolamento secundário e aumenta se o número de voltas do enrolamento primário for menor do que a do enrolamento secundário. O transformador obedece à expressão matemática(22):

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

(22)

Onde V_1 é a voltagem de entrada, V_2 a voltagem de saída, N_1 o número de voltas no enrolamento primário e N_2 o número de voltas no enrolamento secundário.

Diodo: os diodos têm a função de deixar a corrente seguir apenas em um sentido, ou seja, eles transformam corrente alternada em contínua, conforme visto na seção M.2.3.1 Grupo 1: Efeito Fotoelétrico.

Os diodos estão inseridos em uma válvula que contém uma fonte de elétrons no cátodo e um alvo no ânodo, permitindo que o fluxo de corrente se movimente somente em um sentido, ao longo do condutor.

A ampola é uma capa na qual o cátodo e o ânodo são mantidos a vácuo e somente é permitida a passagem da corrente elétrica quando a polaridade do cátodo é negativa e a do

ânodo positiva. Quando essa polaridade é invertida, a passagem da corrente é bloqueada. Isso ocorre, pois no gerador encontram-se diodos.

Circuitos retificadores: são compostos por dois ou mais diodos arranjados especificamente para divergir o fluxo da corrente.

Circuitos de filamento: quando a voltagem é aplicada nos eletrodos dos tubos de Raios-X, ocorre a passagem da corrente através de um dos filamentos selecionados. Isso provoca a emissão de elétrons que, acelerados por um campo elétrico, provocarão um fluxo elétrico, o qual consiste na corrente do tubo que, segundo Bushong (2007), está na faixa de 1 a 1000 mA.

Segundo Dimenstein (2005), o número de elétrons liberados está relacionado com a corrente que passa pelo filamento (1 a 10 A). O circuito de filamento, portanto, controla a passagem da corrente elétrica no filamento do cátodo no tubo de Raios-X.

De acordo com Dimenstein (2005), a maior tarefa do transformador, que está contido no gerador, é a de fornecer uma voltagem extremamente alta para produzir Raios-X com suficiente energia e adequada quantidade de radiação. Por exemplo, para um exame de Raios-X de tórax, utilizam-se 120.000 V (120 kV), portanto é necessário que ocorra um significativo aumento na tensão de entrada, a qual pode ser fornecida, dependendo do equipamento, com tensão de 110, 220 ou 380 V, com corrente alternada (AC). Na Figura 106, há um esquema do sistema gerador.

Através da mesa de controle, o operador do equipamento pode regular a voltagem e a corrente elétrica. Há na Figura 106, dois transformadores, o primeiro aumenta a voltagem e o segundo a diminui, como pode-se perceber através da equação 22.

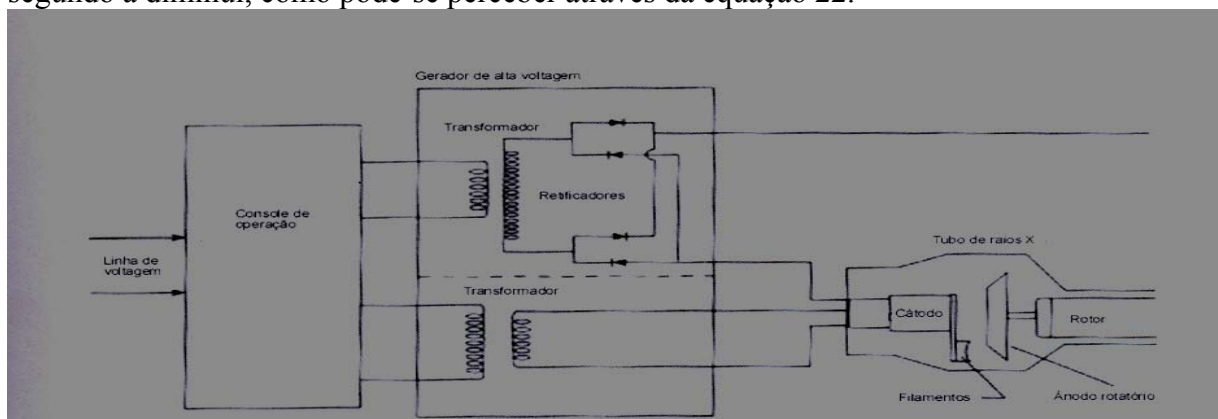


Figura 106: gerador de Raios-X.
Fonte: Dimenstein (2002).

O primeiro tem como função fornecer voltagem ao equipamento enquanto que a segunda é ligada ao filamento e tem como função fornecer corrente elétrica. A voltagem é responsável pela energia dos fótons emitidos do ânodo e a corrente elétrica é a responsável pela quantidade de fótons ejetados.

Quanto maior for a quantidade de fótons, maior será a probabilidade de os mesmos interagirem com a matéria, aumentando a dose de radiação no paciente. Quanto menor for a voltagem, maior será a probabilidade de ocorrer o efeito fotoelétrico, e, também, aumentará a absorção da radiação pelo paciente, portanto, deve-se preferir voltagens altas e correntes elétricas baixas, conforme será mais detalhado nas imagens radiográficas.

M.2.3.8.2 Mamografia

Segundo Chew (2006), na radiografia de tecidos brandos (que é o caso da mamografia), são explorados os tecidos adiposos e musculares que possuem densidades e

números atômicos similares, por isso a técnica utilizada na mamografia é diferente da do aparelho de Raios-X convencional, que explora a imagem de diferentes tecidos com densidade e números atômicos muito diferentes.

Na mamografia, segundo Cavalcante (2000), utiliza-se um anodo geralmente de ródio e molibdênio, pois nesses materiais ocorre principalmente, a produção de Raios-X característico necessário para a mamografia. Já na radiografia convencional utiliza-se a produção de radiação de freamento, utilizando materiais como, por exemplo, o tungstênio.

Como o ródio e o molibdênio possuem números atômicos relativamente baixos, 45 e 42 respectivamente, um fóton incidente, com radiação menor do que a necessária no tungstênio é capaz de ejetar ou excitar um elétron produzindo radiação característica, por isso diz-se que, nesses materiais, há maior produção de radiação característica. Como o tungstênio possui número atômico (74), superior, portanto aos outros dois, há maior número de prótons, e, por possuir mais prótons, atrai mais o elétron que passa próximo ao núcleo, produzindo, assim, predominantemente radiação de freamento.

Em mamógrafos mais modernos, há um anodo com duas trilhas, um feito de ródio e outro de molibdênio. Quando a mama é mais espessa, incide-se o feixe de elétrons sobre o Ródio utilizando a sua radiação característica, pois ela é mais energética. De acordo com Cavalcante (2000), a faixa de energia utilizada no mamógrafo é de 17 a 19 KeV.

Como foi visto na seção M.1.3.2 Radiação Característica, utiliza-se radiação característica na mamografia, pois a mama possui tecidos com densidades similares, dessa forma, os tecidos absorvem radiação com energias semelhantes, então não há necessidade de utilizar energias diferentes. Caso fosse utilizada a produção de radiação de freamento, a faixa de energia emitida seria maior (continua). Consequentemente, as energias que não fossem utilizadas para fazer a imagem prejudicariam o paciente, através do aumento de dose. Esse aumento de dose é proporcional ao tempo de exposição, ao número de fótons emitidos e de sua energia, pois quanto maior é a energia, maior é a probabilidade de ocorrer efeitos determinísticos.

De acordo com Chew (2006), a mamografia teve sua primeira tentativa de realização em 1920. Entretanto, devido à falta de equipamento adequado na época, somente foi realizada em 1950, quando Robert Egan renovou o interesse na mamografia, demonstrando que era uma técnica eficaz desde que fossem utilizados valores de kVp baixos, de mAs altos, e uma exposição direta no tecido, uma vez que, dessa forma, aumenta-se o efeito fotoelétrico e, consequentemente, a absorção pela mama. Assim, mesmo havendo pouca diferença de densidade na mama, os tecidos mais densos absorverão mais radiação, melhorando o contraste radiológico, havendo em contrapartida, a desvantagem de haver mais absorção da radiação, aumentando os riscos da realização desse exame.

A mama é constituída de três tecidos principais: fibroso, glandular e adiposo. Antes da menopausa, a mama é constituída principalmente de tecido glandular, o que produz uma imagem mais densa, portanto é mais difícil de detectar anomalias. Conforme já foi visto na seção M.2.3.1 Grupo 1: Efeito Fotoelétrico, este tecido mais denso, possui o inconveniente de ser mais sensível à radiação, pelo fato de absorver mais devido sua densidade sendo, portanto, mais propenso o surgimento de câncer a partir do exame.

Depois da menopausa, há um aumento do tecido adiposo e uma diminuição nos tecidos fibroso e glandular. O tecido adiposo é menos denso e sensível à radiação do que os tecidos fibroso e glandular. Depois da menopausa, o risco de gerar câncer a partir do exame é menor e se obtém uma imagem melhor.

Na Tabela 44 há os intervalos recomendados para uma exploração de mama.

Tabela 44: intervalos recomendados para uma exploração de mama.

Fonte: Bushong (2007).

Intervalos recomendados para uma exploração da mama			
Exploração	Menos de 40 anos	40-49 anos	De 50 anos a mais
Auto-exploração	Mensal*	Mensal	Mensal
Exploração Física médica	Anual**	Anual	Anual
Mamografia de Raios-X			
Risco alto	Referencia	Anual	Anual
Risco baixo	Referencia	Bianual	Anual

* Começado com 20 anos.

**Começando com 35 anos.

De acordo com Bushong (2007), no intervalo de 70 a 100 kVp, a dispersão devida ao efeito Compton predomina em tecidos de pouca densidade, portanto a absorção dentro dos tecidos pouco densos é mínima. Para maximizar o efeito fotoelétrico e, desse modo, melhorar a absorção, deve-se usar kVps menores que 10 kVp, pois, conforme foi visto na seção M.2.3.1 Grupo 1: Efeito Fotoelétrico, a absorção em tecidos ocorre principalmente devido ao efeito Fotoelétrico, o qual absorve radiação e emite elétron. O grau de absorção é determinado pela densidade do material e pelo número atômico efetivo.

Sintetizando: na mamografia, ao contrário da radiografia convencional, deve haver baixo valor de kVp (menor que 70 kVp). Entretanto, quando é diminuído o valor de kVp os Raios-X resultantes possuem menos energia e, portanto, possuem menor capacidade de penetração. Para que a radiação consiga penetrar é necessário que haja um aumento da corrente elétrica mA, e, conseqüentemente, haver maior radiação sobre o paciente, o que faz com que ocorra alto contraste na imagem da mamografia.

Todos os sistemas de imagem mamográficos incorporam geradores de alta frequência e, também, possuem um retificador que transforma corrente alternada em corrente contínua, o que se faz necessário para a realização do exame, pois o feixe de Raios-X deve ser contínuo.

Para se fazer o exame de mamografia, é necessário comprimir o seio, pois essa ação apresenta as vantagens citadas na Tabela 45.

Tabela 45: vantagens de uma forte compressão.

Fonte: Bushong (2007).

Vantagens de uma forte compressão	
Efeito	Resultado
Imobilização da mama	Diminui a borrosidade
Densidade uniforme	Densidade Óptica uniforme na mamografia
Resolução	Resolução espacial melhora
Radiação dispersa reduzida	Melhor contraste
Tecido mais fino	As doses de radiação são reduzidas

São usados na mamografia, segundo Bushong (2007), dois tipos de detectores: os detectores de tela-película e os detectores digitais.

A tela intensificadora é um sistema pelo qual a tela transforma a radiação de Raios-X em luz que sensibiliza a película.

A combinação da tela e da película deve situar-se em um cassete especialmente desenhado, com uma cobertura frontal de baixo Z, para uma baixa atenuação. Conforme

pode-se observar na Figura 107. Para haver a formação da imagem é necessário que os fótons de Raios-X passem, inicialmente, pela base onde está fixada a emulsão, onde os Raios-X são transformados em luz que sensibilizam a tela. Caso o sistema tela-película seja invertido não haverá produção de imagem, conforme pode-se ver na Figura 107.

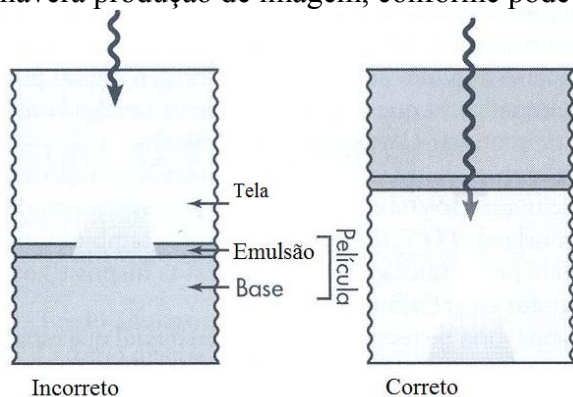


Figura 107: combinação tela-película e formação de imagem.
Fonte: Bushong, 2007.

O uso da tela intensificadora aumenta o número de fótons para a mesma radiação, pois os fótons de Raios-X (mais energéticos) são transformados em fótons de luz (menos energéticos), proporcionando uma dose menor ao paciente, já que há a necessidade de expô-lo a menos radiação, pois o sinal é amplificado pela tela-película. O uso da tela intensificadora aumenta, devido ao motivo citado anteriormente, o contraste radiográfico quando comparado com o de um exame de exposição direta.

A transformação de fótons de Raios-X em fótons de luz ocorre da seguinte maneira: os fótons de Raios-X ejetam elétrons; os elétrons mais externos preenchem a vacância originada pela falta do elétron, liberando energia na forma de luz. Como o fóton de Raios-X é mais energético que o fóton de luz ele pode repetir o processo inúmeras vezes, aumentando o número de fótons emitidos.

Os detectores digitais são utilizados na mamografia digital, a qual utiliza dispositivos acoplados por carga elétrica (CCD). Esses convertem fótons de luz em elétrons, como será visto mais detalhadamente na fluoroscopia digital.

Conforme pode-se observar na Figura 108, a luz parte da tela intensificadora e através da fibra Óptica ou por um sistema de lentes, chega ao CCD, o qual tem a função de transformar os fótons em sinal elétrico.

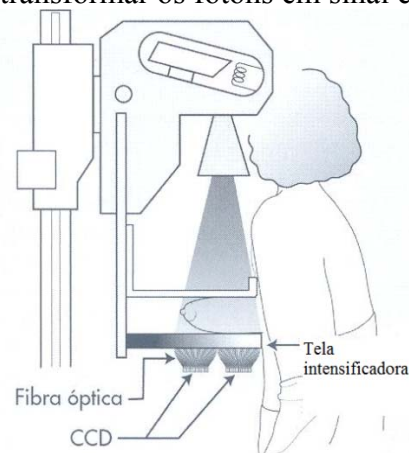


Figura 108: esquema do mamógrafo e alguns componentes.
Fonte: Bushong (2007).

Como os detectores digitais são eletrônicos, produzem ruído eletrônico, que é

causado pela temperatura. Como os fios são constituídos por metais, geralmente de cobre, a temperatura ejeta elétrons pouco ligados ao átomo. Esses elétrons atrapalham o sinal, pois são aleatórios e não fazem parte do sinal recebido. Esse ruído pode ser reduzido se o detector for refrigerado. A diminuição desse ruído é utilizada para aumentar a resolução de contraste.

Os detectores digitais têm características similares a tela-película, exceto pelo fato da resposta ser linear, ou seja, à medida que aumenta a radiação incidente, aumenta a intensidade da radiação detectada, sem haver amplificação de sinal.

Segundo Garcia (2002), a principal vantagem de uma imagem digital é o pós-processamento dela, resultando em um aumento da resolução de contraste.

Na Figura 109 pode-se observar alguns componentes do equipamento de Raios-X.

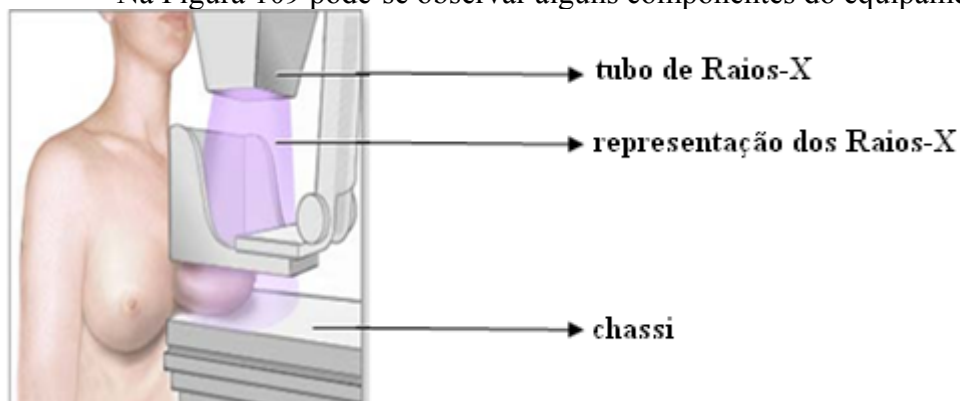


Figura 109: mamógrafo e principais componentes de funcionamento.

Fonte: adaptado de www.bordadodemurmurios.blogspot.com

Questões:

1. Em relação aos Raios-X é incorreto afirmar:
 - a) É uma radiação eletromagnética ionizante.
 - b) Necessita de um meio material para se propagarem, ou seja, não se propagam no vácuo.
 - c) São produzidos quando elétrons de alta energia são, subitamente, desacelerados.
 - d) Os Raios-X podem ser bloqueados por chumbo, cuja espessura a ser utilizada, dependerá da energia dos Raios-X.
2. Explique cada uma das partes do equipamento dos Raios-X convencional.
3. Quais as diferenças entre o aparelho convencional de Raios-X e a mamografia?
4. É possível fazer uma mamografia a partir de um aparelho convencional de Raios-X? Explique sua resposta.
5. Explique cada uma das partes do aparelho de mamografia.
6. Qual a relação entre efeito fotoelétrico, efeito Compton e a imagem produzida pela mamografia?
7. Quais as relações entre kVp, mA, a interação da radiação com o paciente e a produção de imagens?
8. Por que uma mamografia requer um kVp baixo?
9. Quais os conceitos físicos estão envolvidos na seção M.2.3.8 Grupo 8: O Equipamento de Raios-X Convencional e da Mamografia?
10. Há alguma palavra na seção M.2.3.8 Grupo 8: O Equipamento de Raios-X Convencional e da Mamografia que não foi compreendida? Se houver, escreva-a abaixo.
11. Faça um mapa conceitual com os principais pontos do que foi estudado da seção M.2.3.8 Grupo 8: O Equipamento de Raios-X Convencional e da Mamografia.

M.3.Aulas 5 e 6

M.3.1 Esquema de trabalho

Concepções alternativas: segundo Watts apud Filho e Jacques (2008), a energia pode ser vista como: 1º) uma ideia muito geral de combustível associada a aplicações tecnológicas que visam proporcionar conforto ao homem; 2º) alguns objetos possuem energia e são recarregáveis, enquanto outros possuem energia e gastam o que têm; 3º) energia como uma atividade óbvia, no sentido de que, havendo atividade, há energia, por exemplo, o movimento é energia; 4º) a energia é um fluido que se transfere de um sistema a outro.

Organizador Prévio:

Objetivo do organizador: propiciar uma interação entre conceitos novos com os já existentes na estrutura cognitiva dos alunos, buscando favorecer a ocorrência de aprendizagem significativa. Mais especificamente, utiliza-se a ideia da criptonita, presente no filme do Super Homem, para que sirva como base para a aprendizagem significativa dos meios de contraste.

Descrição do organizador prévio: utiliza-se uma parte pequena do filme do “Super Homem”, na qual ele fica próximo a criptonita e simultaneamente começa a se sentir muito mal. Depois indaga-se aos alunos do curso sobre o porquê de poder ser utilizados meios de contraste em exames radiológicos e se, realmente, poderia existir um material radioativo que em proximidade ao nosso corpo reagisse de forma análoga ao que ocorre com o “Super-Homem”.

A interação cognitiva deverá ocorrer quando o aluno perceber porque é possível utilizar meios de contraste no corpo humano e da impossibilidade de alguma fonte radioativa ter os mesmos efeitos que a criptonita tem sobre o Super-Homem.

Situação-problema: imagine que você seja um técnico em radiologia e que você precisa distinguir dois tecidos internos que possuem densidades semelhantes, como você faria? Pense a sua resposta em termos de contraste.

Assunto: corrente elétrica, resistência elétrica, carga, voltagem, potência, gerador, retificador, meios de contraste, fluoroscopia, fluoroscopia digital, sinal analógico e digital, imagens radiográficas, Teleterapia e Braquiterapia.

Conceitos:

Imagem radiográfica: corrente elétrica, carga, voltagem, cátodo, ânodo, elétron, velocidade, potência, gerador, retificador, alternada, contínua, prótons, campo elétrico, campo magnético, onda eletromagnética, filamento, energia, dose, tempo, Raios-X, fótons, efeito fotoelétrico, efeito Compton e produção de pares, densidade, absorção, chassi, chumbo, écran, camada eletrônica, luz, filme e número atômico.

Fluoroscopia: corrente elétrica, resistência elétrica, carga, voltagem, potência, gerador, retificador, meios de contraste, sinal analógico, sinal digital, densidade, número atômico, voltagem, absorção, emissão, nêutrons, Raios-X, Raios gama, camada eletrônica, onda eletromagnética, decaimento radioativo, campo magnético, chumbo, filtro e colimador.

Radioterapia: corrente elétrica, resistência elétrica, carga, voltagem, potência, gerador, retificador, meios de contraste, sinal analógico, sinal digital, densidade, número atômico, voltagem, absorção, emissão, nêutrons, Raios-X, Raios gama, camada eletrônica, onda eletromagnética, decaimento radioativo, campo magnético, chumbo, filtro, colimador,

atividade radioativa, meia vida da fonte radioativa e emissão nuclear.

Aplicação: Fluoroscopia, Fluoroscopia Digital, imagem radiográfica, Radioterapia: Teleterapia e Braquiterapia.

Atividades:

Inicialmente, será resolvida em duplas a situação-problema, que será gravada pela pesquisadora.

Posteriormente, haverá uma breve aula expositiva, em seguida, serão divididos os alunos em três grupos que estudarão um dos textos da seção M.3.3 Atividade 1. Estudo em grupo e resolverão as questões descritas depois da apresentação. Prepararão uma apresentação completa, de aproximadamente 30 minutos cada grupo. Posteriormente, haverá uma apresentação (incluindo mapa-conceitual) e discussão pelos grupos na sala.

Em seguida, será apresentado um filme de aproximadamente 40 minutos chamado: “The Big Bang Machine”.

Os grupos que haviam sido formados anteriormente responderão algumas questões relativas ao filme. Cada grupo fará algumas questões que diferirão dos demais.

Posteriormente, serão formados novos grupos e em cada um precisará haver um aluno de cada grupo anterior para discutir as respostas encontradas pelos grupos iniciais, dessa forma, todos os alunos terão e discutirão as respostas dos demais grupos.

Na sequência, realizar-se-á um jogo (campo minado), no qual os alunos utilizarão as respostas encontradas por todos na etapa anterior.

Por último, em duplas, os alunos deverão responder, novamente, a situação-problema, que precisará ser entregue.

Objetivos específicos: auxiliar os alunos a aprenderem significativamente a produção de imagem radiográfica, processamento de imagem, fatores de exposição radiográfica, fatores físicos na qualidade de imagens, radiografia digital, fluoroscopia, fluoroscopia digital, Teleterapia, Braquiterapia a partir dos assuntos propostos para a aula, através de materiais alternativos.

Metodologias: estudo em grupos, resolução de problemas, situações-problemas, apresentações, filme e jogos.

Testes para buscar indícios de aprendizagem significativa: pergunta da situação-problema para ser respondida antes e depois da aula.

M.3.2: parte expositiva-dialogada

Síntese: nessa atividade, a pesquisadora apresentará através de projetor multimídia sobre: produção de imagem radiográfica, processamento de imagem, fatores de exposição radiográfica, fatores físico na qualidade de imagens, radiografia digital, fluoroscopia, fluoroscopia digital, Teleterapia e Braquiterapia. Essa atividade será intercalada com simulações computacionais e com a atividade 4.

M.3.3 Atividade 1. Estudo em grupo

Síntese: a turma será dividida em três grupos. Cada grupo deverá estudar um dos textos e, por fim, apresentar sobre o mesmo, em 15 minutos de forma criativa.

M.3.3.1 Grupo 1: Fluoroscopia, Fluoroscopia Digital

M.3.3.1.1. Sinal analógico e digital

Segundo Gaspar (2000), sinal analógico é um tipo de sinal contínuo que varia em função do tempo. Uma balança analógica de molas e um termômetro analógico de mercúrio são exemplos de sinais lidos de forma direta, sem passar por qualquer decodificação, pois as variáveis são observadas diretamente.

Na eletrônica, pode-se utilizar tanto o sinal digital quanto o sinal analógico. Quando utilizado o primeiro, a informação é convertida para bits, enquanto na eletrônica analógica, a informação é tratada sem essa conversão.

Sendo assim, entre zero e o valor máximo, o sinal analógico passa por todos os valores intermediários possíveis, enquanto o sinal digital só pode assumir um número pré-determinado de valores.

Um exemplo de sinal digital ocorre nos computadores nos quais toda a informação é processada em conjuntos de 0 e 1.

Como exemplos de meios que registram sinais analógicos, há balança de mola, gravação de som, fita cassete, gravação de imagens, fotografia e filme em película.

M.3.3.1.2. Meios de contraste

De acordo com Sorenson (1987), os meios de contraste são substâncias geralmente líquidas injetadas ou ingeridas pelo paciente para absorver mais ou menos Raios-X do que os tecidos que estão ao redor deles. Os meios de contraste possuem densidade diferente do material a ser estudado, pois não pode-se distinguir uma estrutura de outra se ambas possuírem a mesma densidade radiográfica (as partes mais escuras da imagem são as que possuem mais densidade radiológica, as mais claras são as que possuem menos densidade radiológica), sendo usados em exames como a Fluoroscopia e a Tomografia.

Os meios de contraste são classificados, por convenção, como positivo e negativo. Se absorvem menos radiação do que os tecidos adjacentes (tecidos que se quer estudar e que estão próximos ao contraste) não denominados negativos ou radiotransparentes. Se absorvem mais radiação são denominados positivos ou radiopacos.

Segundo Dimenstein (2002), os compostos mais utilizados como meios de contraste são o sulfato de bário e o iodo.

M.3.3.1.3. Fluoroscopia

Segundo Durán (2003), o primeiro fluoroscópio foi desenvolvido por Thomas Edison, em 1896, após descobrir que o tungstato de cálcio tinha propriedades de fluorescência com cristais pequenos distribuídos uniformemente sobre uma folha de papelão.

De acordo com Bushong (2007), a principal função do fluoroscópico é a de proporcionar imagens em tempo real de estruturas anatômicas e, com isso, visualizar estruturas e líquidos internos em movimento.

Se durante o exame for observado algo que deva ser registrado para estudo posterior, pode-se realizar uma radiografia com uma interrupção mínima da fluoroscopia, a qual é conhecida como seriografia, que é uma imagem estática.

Durante a fluoroscopia, geralmente, é utilizado um meio de contraste para realçar a parte a ser estudada. Quando essa técnica é utilizada para a visualização de vasos sanguíneos chama-se de angiografia. Pode-se observar, na Figura 110, um esquema do fluoroscópio e suas partes principais.

Durante a fluoroscopia, a imagem diagnosticada do paciente se apresenta em um monitor de televisão.

De acordo com Bushong (2007), apesar de, nesse exame, a intensidade da corrente elétrica (que é diretamente proporcional à intensidade de Raios-X) ser bem menor do que nos

equipamentos de Raios-X, 5mA no aparelho de fluoroscopia contra centenas de mA nos equipamentos de Raios-X, a quantidade de radiação que chega ao paciente é muito maior no primeiro exame, pois o tempo de exposição é maior.

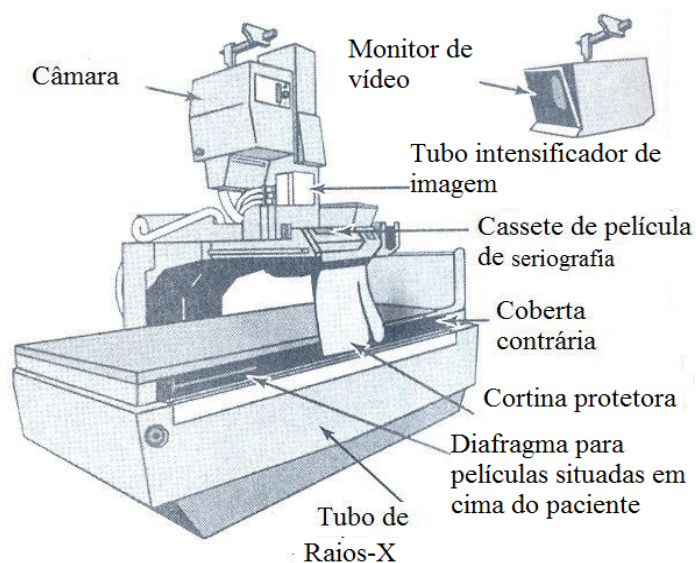


Figura 110: o fluoroscópio e suas partes associadas.
Fonte: Bushong, 2007.

Segundo Dimenstein (2005), o kVp (alta tensão de pico) e a mA a ser selecionado é determinado pelas características da secção do corpo do paciente (espessura, densidade) que se deseja examinar.

Para melhorar o brilho da imagem fluoroscópica e, conseqüentemente, a qualidade da imagem, já que não pode-se mudar o corpo do paciente, pode-se mudar tanto a kVp quanto o mA. Geralmente, são preferíveis um alto nível de kVp e um baixo de mA, assim como os demais exames que utilizam preferencialmente radiação de freamento.

Na Tabela 46 há o valor de kVp para alguns exames convencionais, não há o valor do mA, pois este depende das características físicas do paciente.

Tabela 46: níveis de kVp para exames convencionais para películas de fluoroscopia.
Fonte: Bushong, 2007.

Níveis de kVp para exames convencionais para películas de fluoroscopia.	
Exame	kVp
Vesícula biliar	65-75
Nefrostograma	70-80
Mielograma	70-80
Enema de bário (contraste com o ar)	80-90
Gastrointestinal superior	100-110
Intestino delgado	110-120
Enema de bário	110-120

A seguir será explicado cada uma das partes do fluoroscópio.

M.3.3.1.3. 1. Intensificador de imagem

Segundo Dimenstein (2002), um intensificador de imagem é constituído de cinco componentes básicos: materiais fosforescentes de entrada, cátodo, lentes focalizadoras eletrostáticas, ânodo acelerador dos elétrons e material fosforescente de saída.

Após atravessar o paciente, o feixe de Raios-X interage com a tela fluorescente de entrada, a qual imediatamente absorve os fótons de Raios-X e os converte em fótons de luz através da radiação característica, conforme pode-se ver na seção M.1.3.1 Ultrassonografia.

Estes, ao atingirem o cátodo, provocam a emissão de elétrons devido ao efeito fotoelétrico, os quais imediatamente são atraídos eletrostaticamente por uma diferença de potencial (ddp) mantida entre o cátodo e o ânodo, aumentando a velocidade dos elétrons.

Para evitar que o feixe de elétrons seja distorcido de sua trajetória, o intensificador possui lentes focalizadoras para mantê-los em sua configuração geométrica até alcançarem a tela fluorescente de saída. Esses elétrons, ao atingirem a tela intensificadora de saída, causam a emissão de fótons de luz através da radiação característica. Essa radiação após ser captada e analisada, gera a imagem fluoroscopia que chega ao olho do observador.

Portanto, no intensificador, a imagem é produzida seguindo a seguinte sequência: fótons de Raios-X, que são transformados em fótons de luz e, em seguida, corrente elétrica e finalmente imagem.

Os Raios-X são transformados em luz para aumentar o número de fótons, possuindo mais fótons a imagem fica mais nítida. A transformação dos Raios-X em luz ocorre através da radiação característica. Um elétron do átomo absorve um fóton de Raios-X e quando retorna emite luz, como os fótons de Raios-X são mais energéticos, eles repetem esse procedimento em mais de um átomo, e, então, um fóton de Raios-X libera mais de um fóton de luz. Essa luz arranca elétrons do cátodo e esses elétrons são acelerados devido a uma diferença de potencial até que incidam no fósforo de saída. Tal aceleração faz com que haja a emissão de mais fótons nessa tela do que na tela de entrada, pois os elétrons, possuindo mais energia liberam mais fótons. Cada elétron que atinge o fósforo de saída libera de 50 á 75 vezes mais fótons de luz do que os que foram emitidos na entrada do intensificador de imagens, e por isso a imagem de saída possui uma resolução muito melhor. Pode-se ver esse processo na Figura 113.

Na Figura 111 há a imagem de um intensificador.



Figura 111: intensificador de imagem.

Fonte: Dimenstein, 2002.

Na Figura 112 há o aparelho fluoroscópico e suas partes que são explicadas na sequência.

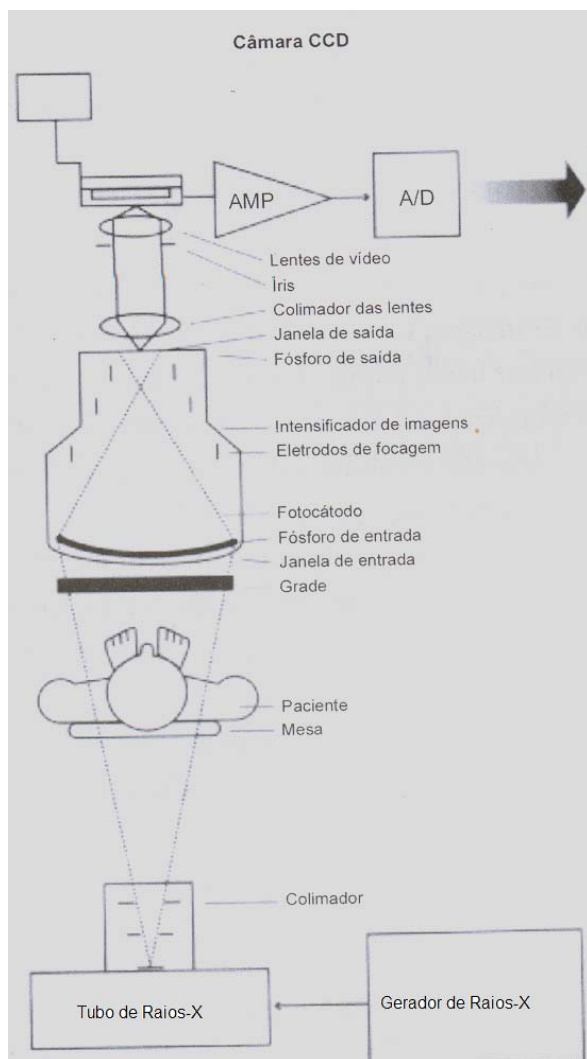


Figura 112: aparelho fluoroscópico e suas partes.
Fonte: Dimenstein, 2005.

Segundo Dimenstein (2005), a imagem produzida pela tela de saída pode ser visualizada diretamente por um sistema de lentes e espelhos (fluoroscopia) ou através de um circuito fechado de televisão (fluoroscopia digital).

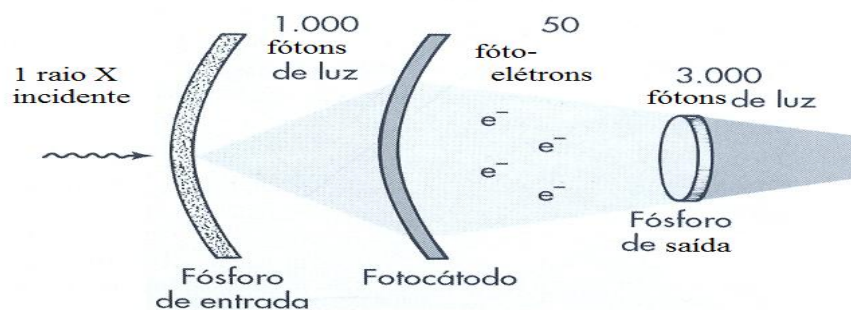


Figura 113: esquema do intensificador de imagem.
Fonte: Bushong, 2007.

Segundo Bushong (2007), a partir da observação da Figura 113, pode-se calcular o ganho de brilho do equipamento de Raios-X, a partir do intensificador de imagem.

O ganho de brilho é calculado da seguinte forma:

$$\text{Ganho de brilho} = \text{ganho de redução} \times \text{ganho de fluxo} \quad (23)$$

O ganho de redução pode ser calculado da seguinte forma:

$$\text{Ganho de redução} = \left(\frac{d_i}{d_0} \right)^2 \quad (24)$$

Onde d_i é o diâmetro do fósforo de entrada e d_0 é o diâmetro do fósforo de saída.

O ganho de fluxo pode ser calculado da seguinte forma:

$$\text{Ganho de fluxo} = \frac{\text{número de fótons de saída}}{\text{número de raios X de entrada}} \quad (25)$$

Substituindo 25 e 24 em 23 há:

$$\text{Ganho de brilho} = \left(\frac{d_i}{d_0} \right)^2 \cdot \frac{\text{número de fótons de saída}}{\text{número de raios X de entrada}} \quad (26)$$

M.3.3.1.4. Fluoroscopia Digital

A diferença entre a fluoroscopia convencional e a digital está na natureza da imagem e na maneira em que esta se digitaliza, proporcionando um aumento na velocidade de aquisição de imagens e a possibilidade de seu pós-processamento para melhorar seu contraste.

Um exame de fluoroscopia digital se desenvolve de forma semelhante à convencional, mas os equipamentos são diferentes, como pode-se observar nas Figura 114 e Figura 115.

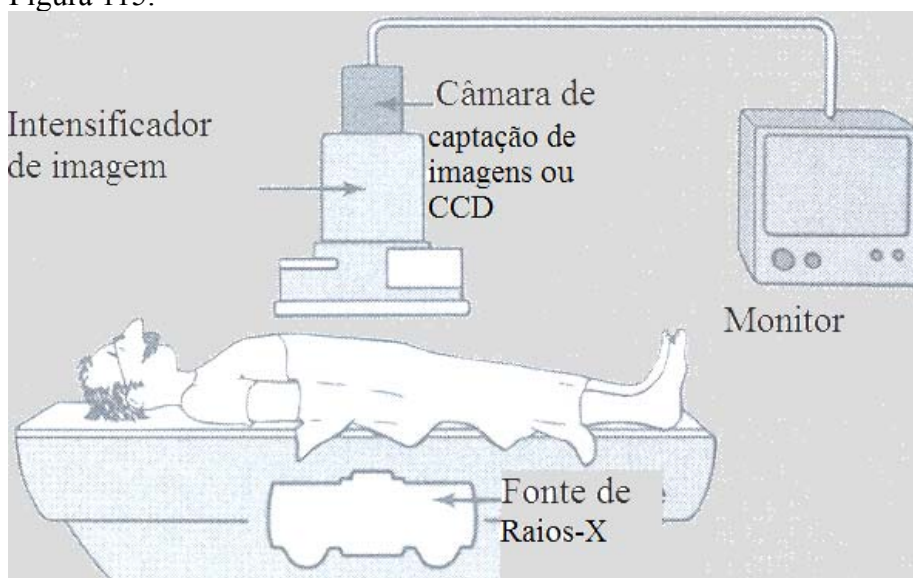


Figura 114: fluoroscopia convencional.
Fonte: Bushong, 2007.

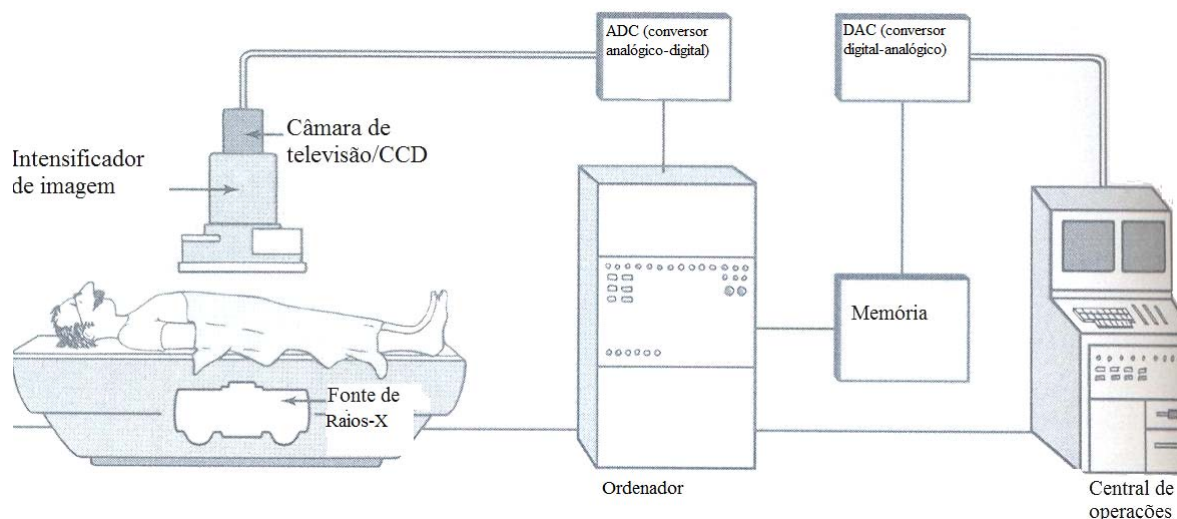


Figura 115: fluoroscopia digital.
Fonte: Bushong, 2007.

Pode-se observar que na Figura 115, diferentemente da Figura 114, há um ADC (Conversor Analógico Digital) também chamado de computador e um DAC (Conversor Digital Analógico) e que ambos estão ligados a uma memória. O último está ligado a uma central de operações.

O ADC (Conversor Analógico Digital) transforma o sinal analógico (contínuo) em digital (discreto). O sistema mais simples para fazer isso é através do sistema de 8 bits que se organizam em zeros e uns, cada bit pode assumir tais valores resultando em 2^8 (256) combinações possíveis. O sinal que pode assumir qualquer valor (analógico), ao entrar em um circuito que possui, por exemplo, 10 V, devem ser divididos em 0,039 V, pois 10 V divididos em 256 combinações possíveis, resulta que cada sinal contínuo somente pode ter valores múltiplos de 0,039V transformando, dessa forma, um sinal contínuo em discreto.

O contrário também pode ser realizado, o DAC (Conversor Digital Analógico) transforma o sinal digital (discreto) em sinal analógico (contínuo). Cada sinal digital, com números entre zeros e uns, irá produzir voltagens que variaram de 0 V até 0,039 V, de 0,039 V até 0,078V, assim sucessivamente, gerando um sinal contínuo.

Na Figura 116 há a central de operações. Do lado esquerdo, há as teclas para a introdução de dados com o paciente e a comunicação com o computador. Na parte direita encontram-se as teclas para a aquisição de dados e sua visualização e, também, se dispõem de controles para a manipulação do cursor nas regiões de interesse.

Utilizam-se dois monitores. O monitor da esquerda se emprega para a edição dos dados do paciente e do exame e para anotar as imagens finais. O monitor da direita mostra as imagens prontas para a análise.

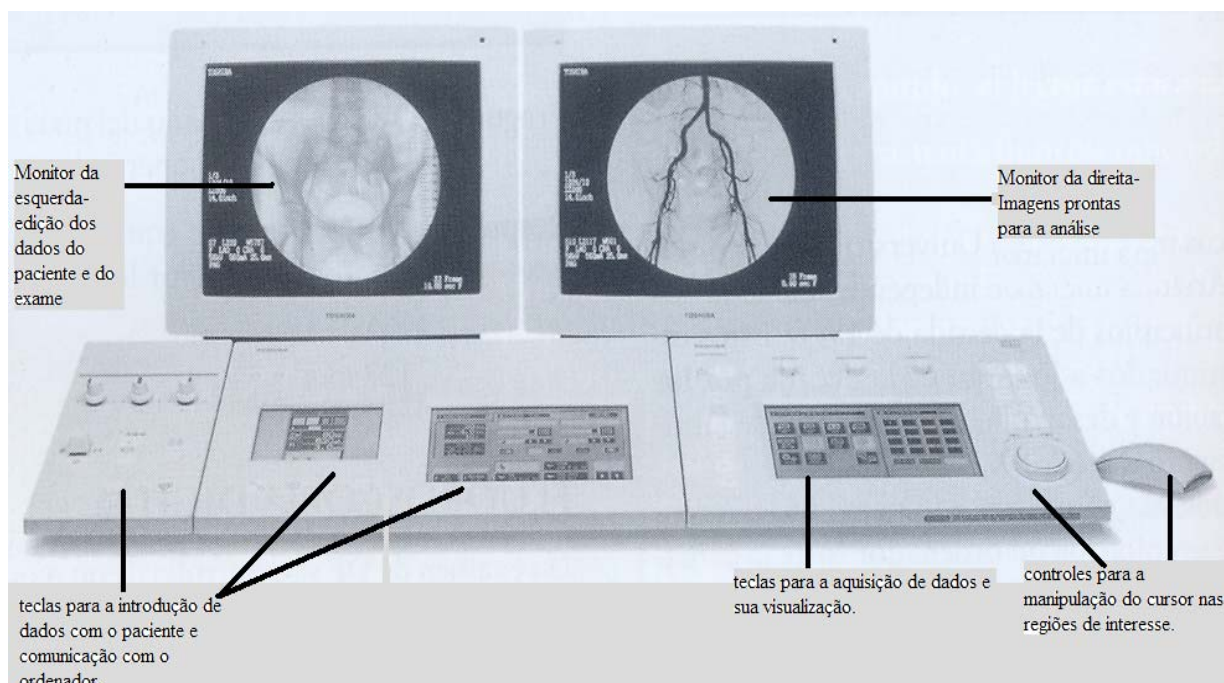


Figura 116: central de operações.
Fonte: Bushong, 2007.

Segundo Bushong (2007), ao contrário da fluoroscopia convencional, a fluoroscopia digital utiliza centenas de mA ao invés de menos de 5 mA. Isso seria um problema caso não houvesse interrupção na emissão de Raios-X, pois, se a amperagem é alta, a quantidade de radiação emitida, conseqüentemente também é, o que viria a prejudicar o paciente.

Para não haver esse problema, as imagens na fluoroscopia digital são obtidas a partir de pulsos de Raios-X, o que é chamado de fluoroscopia de pulsos progressivos.

Geralmente, nesses exames, são utilizadas frequências de aquisição de imagens de um à 10 por segundo. Isso é possível devido ao fato de que é necessário 33 ms para produzir um fotograma de vídeo e as exposições de Raios-X maiores do que este tempo resultam em uma dose desnecessária ao paciente. Em conseqüência disso, o gerador de Raios-X deve ser capaz de ligar e desligar rapidamente.

Agora pode-se analisar mais detalhadamente a Figura 115.

Câmara de televisão/CCD (charge-coupled device): na câmara de televisão comum (utilizada na fluoroscopia convencional) o canhão de elétrons gera muito ruído, o que prejudica a visualização de imagens.

Para melhorar a visualização da imagem foi criado o CCD que é um dispositivo de tamanho reduzido.

Na Figura 117 há um esquema das partes principais do CCD.

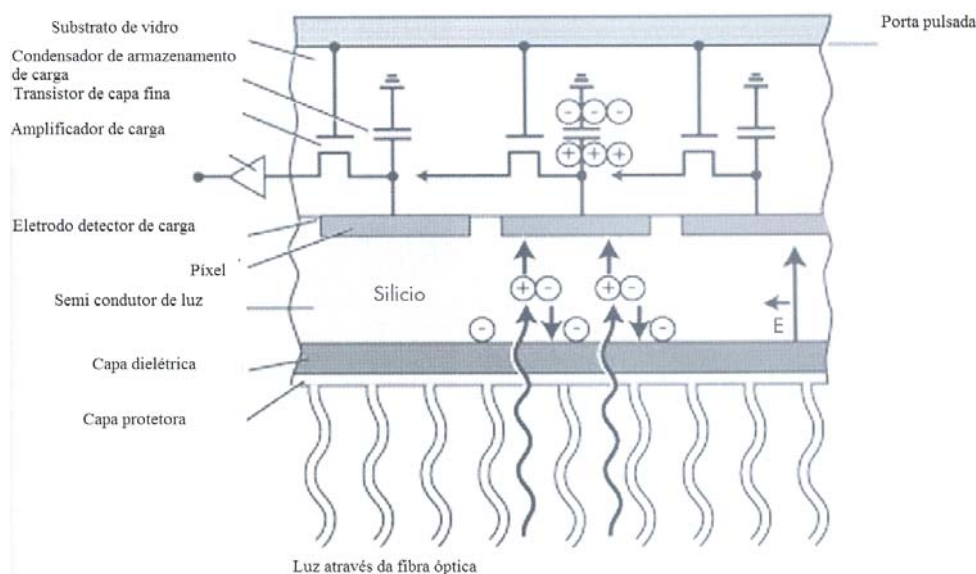


Figura 117: CCD.
Fonte: Bushong, 2007.

A capa protetora tem a função de proteger o CCD de impactos e a capa dielétrica é composta de maus condutores que possuem a função de isolar a carga elétrica, não deixando os elétrons “escaparem”. Os semicondutores de luz têm a função de deixar passar apenas uma parte da luz, como foi visto no efeito fotoelétrico.

A capacidade de resolução ou detalhe da imagem depende do número de células fotoelétricas do CCD. Expressa-se este número em pixels. Quanto maior o número de pixels, maior será a resolução da imagem.

Essa corrente de elétrons gerada nas células fotoelétricas é amplificada pelos transdutores. O CCD possui um substrato de vidro que é mal condutor e impede que as cargas sofram interferência do material. Os condensadores armazenam as cargas negativas produzidas e, quando a parte do corpo analisada é menos densa, os Raios-X atravessam mais o corpo, chegando mais intensidade de luz ao CCD, que, tendo mais incidência de radiação, ejeta mais elétrons, que são armazenados nos condensadores de cargas, essas diferenças de cargas negativas são armazenadas e interpretadas como tonalidades que variam do preto ao branco (escala de cinza).

O CCD é montado no fósforo de saída do tubo intensificador de imagens e se acopla mediante fibra Óptica ou um sistema de lentes.

Algumas vantagens do CCD nas aplicações médicas são:

Tabela 47: vantagens dos dispositivos de CCD na visualização médica.
Fonte: Bushong, 2007.

Vantagens dos dispositivos de CCD na visualização médica
Alta resolução espacial
Alta resolução sinal- ruído
Alta eficiência quântica de detecção
Não necessita aquecimento
O sistema fica mais rápido
Não há distorção espacial
Não necessita manutenção
Vida ilimitada
Não são afetados por campo magnéticos
Resposta linear
Doses menores

Segundo Garcia (2002), a resolução espacial de um CCD está determinada por seu tamanho físico e número de pixels. O CCD tem uma sensibilidade à luz mais alta e um nível mais baixo de ruído eletrônico do que um tubo de televisão. O resultado é um sinal-ruído (SNR) mais alto e uma melhor resolução de contraste. Essas características também resultam numa dose menor ao paciente.

O CCD possui resposta linear, como descrito na Tabela 47, o que facilita a visualização de objetos muito escuros e muito brilhantes.

Sistema de vídeo: o sistema de vídeo convencional tem duas limitações que restringem sua aplicação às técnicas digitais. Primeiro, o modo entrelaçado de leitura da televisão, pode degradar significativamente uma imagem digital. Segundo, os tubos de câmaras de televisão são relativamente ruidosos.

Devido a filamentos aquecidos e a diferenças de voltagens, sempre há uma pequena corrente fluindo por qualquer circuito, o que faz com que atrapalhe o sinal eletrônico, o qual é chamado de ruído eletrônico de fundo.

Segundo Bushong (2007), o sistema de vídeo convencional tem uma SNR de aproximadamente 200:1, entretanto a fluoroscopia digital requer uma SNR de 1.000:1.

A representação 200:1 significa que a cada 200 sinais eletrônicos um é prejudicado pelo ruído. Do mesmo modo 1.000:1 significa que a cada 1000 sinais eletrônicos um é distorcido pelo mesmo motivo. Nesse caso o prejuízo na imagem é menor, oferecendo cinco vezes mais quantidade de informação útil. Pode-se observar isso na Figura 118.

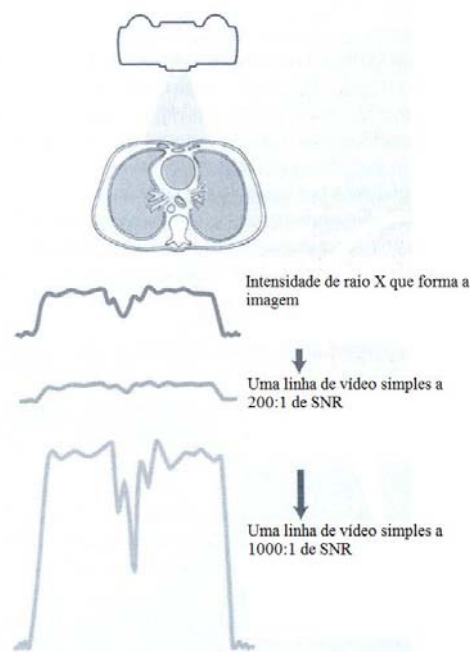


Figura 118: relação sinal ruído.
Fonte: Bushong, 2007.

Ordenador: segundo Bushong (2007), depois da câmara de televisão há um conversor analógico digital (ADC) que tem a função de converter o sinal analógico em digital, depois esse sinal digital passa para o ordenador.

Os ordenadores da fluoroscopia digital têm como função controlar o tamanho da matriz imagem, a categoria dinâmica do sistema e o ritmo de aquisição de dados.

Dessa forma, se a matriz imagem for maior e houver mais pixels, a qualidade da imagem será melhor, entretanto o ritmo de aquisição de dados será prejudicado.

De 8 a 30 imagens por segundo podem ser adquiridas com uma fluoroscopia digital

dependendo do modo de matriz imagem.

Depois do ordenador, as informações são gravadas na memória e passam para o conversor digital analógico (DAC) que, como o nome já diz, converte o sinal digital em analógico. Posteriormente, esse sinal passa para a mesa de operações, na qual pode-se visualizar e modificar a imagem.

Questões:

1. Cite duas vantagens da fluoroscopia digital em relação à fluoroscopia convencional?
2. Descreva, a partir da Figura 115, os componentes do equipamento de fluoroscopia digital, descrevendo o funcionamento de cada uma delas.
3. Como funciona o intensificador de imagens?
4. Qual a principal função da fluoroscopia?
5. O que são meios de contraste e como funcionam em exames que utilizam radiações ionizantes?
6. Quais as relações entre kVp, mA, a imagem produzida pelo fluoroscópico e a radiação incidente no paciente?
7. O que são sinais analógicos e sinais digitais?
8. Cite duas diferenças entre sinais analógicos e sinais digitais. Cite exemplos de cada um deles.
9. Quais os conceitos físicos que estão envolvidos no texto da seção M.3.3.1 Grupo 1: Fluoroscopia, Fluoroscopia Digital?
10. Há alguma palavra no texto da seção M.3.3.1 Grupo 1: Fluoroscopia, Fluoroscopia Digital que não foi compreendida? Se houver, escreva abaixo.
11. Faça um mapa conceitual com os principais pontos do estudado no texto da seção M.3.3.1 Grupo 1: Fluoroscopia, Fluoroscopia Digital?

M.3.3.2 Grupo 2: formação de imagens radiográficas

Alguns fatores influenciam na formação de imagens radiográficas tais como: alta-tensão de pico (kVp) e a corrente do tubo (mA).

A palavra *pico* refere-se ao fato de que nos elementos que emitem radiação há várias energias. Entretanto seleciona-se, através dos filtros, apenas as faixas mais energéticas, pois para kVp's baixos (esses valores dependem de vários fatores, tais como o corpo do paciente), os elétrons são menos energéticos, conseqüentemente, os fótons também são e, dessa forma, eles são mais absorvidos pelo paciente, resultando em uma dose maior, o que precisa ser evitado.

Da sessão M.3.3.2.1 Alta-tensão de pico (kVp) à seção M.3.3.2.4. Partes formadoras da imagem radiográfica há os fatores que influenciam na imagem radiográfica, bem como suas características.

M.3.3.2.1 Alta-tensão de pico (kVp)

Segundo Dimenstein (2002), a velocidade do feixe de elétrons dentro da ampola e conseqüentemente a energia do feixe de Raios-X é determinada pela voltagem entre o cátodo e o anodo, ou seja, pela alta-tensão de pico.

De acordo com Durán (2003), quando se aumenta o valor do kVp, aumenta-se também a energia do Raios-X e, conseqüentemente, a capacidade de penetração da radiação no paciente, afetando com isso o contraste da imagem.

Para valores baixos de kVp, os fótons não possuem energia suficiente para atravessar o paciente sendo absorvidos, resultando em uma maior dose de radiação no paciente. Dessa

forma, quanto menor o valor de kVp mais clara será a imagem, se essa mantiver o mesmo valor para mA. Conforme pode-se ver na Figura 119:



Figura 119: exame Raios-X do joelho para diferentes valores de kVp mantendo mA constante.
Fonte: Dimenstein, 2005.

M.3.3.2.2 Corrente do tubo (mA)

Segundo Nussenzeig (2002), em um tubo de Raios-X, o número de elétrons acelerados, em direção ao ânodo, é diretamente proporcional a temperatura do filamento. A corrente de elétrons entre o cátodo e o anodo é expressa em miliampères (mA).

De acordo com Ramos (2002), a quantidade de carga elétrica no tubo corresponde ao produto da corrente elétrica total, expressa em miliampères (mA) e o tempo de exposição, expresso em segundo (s). Portanto, a carga elétrica que atravessa uma seção reta em uma unidade de tempo é referida como mAs, ou seja, a dose.

Segundo Dimenstein (2005), o mAs é o fator primário que afeta a quantidade de exposição produzida. O número de fótons produzido pelo equipamento que emite Raios-X é proporcional a corrente do tubo, porém a energia dos fótons é sempre a mesma, se for mantido a mesma diferença de potencial.

De acordo com o mesmo autor, a exposição de radiação no paciente é diretamente proporcional ao valor de mAs selecionado pelo operador do equipamento.

A maioria dos equipamentos radiográficos permite ao operador selecionar os valores de corrente (mA) e dos tempos de exposição. Conforme pode-se observar na Figura 120, se for mantido o valor de kVp constante e for aumentado o valor da corrente elétrica há um enegrecimento da imagem.



Figura 120: exame utilizando Raios-X de um joelho para diferentes valores de mA mantendo kVp constante.
Fonte: Dimenstein, 2005.

M.3.3.2.3 Relação entre kVp e mAs

Tanto o valor do kVp (relacionado a energia dos fótons) quanto do mAs (relacionada a quantidade de fótons) influenciam diretamente na aparência das imagens radiográficas. Entretanto, o operador deve ter em mente uma relação satisfatória entre a qualidade da imagem e a radiação incidente sobre o paciente.

É necessário relacionar corretamente os valores de kVp e mAs, pois é necessário mudar esses valores dependendo do paciente e da parte do corpo que será feita a imagem.

Dimenstein (2005), cita uma regra para relacionar o kVp e o mAs: para cada 15% de aumento no kVp, o mAs pode ser reduzido em 50%, resultando na mesma densidade Óptica

na imagem. Essa regra é válida somente para faixas de energia entre 60 á 100 kVp.

M.3.3.2.4. Partes formadoras da imagem radiográfica

Os Raios-X chegam inicialmente ao écran (Figura 121-a), que em contato com os Raios-X produz luz, essa luz impressiona o filme (Figura 121-b) no qual é produzida a imagem. O filme (Figura 121-b) é protegido pelo chassi radiográfico (Figura 121-c), o que impede que a lâmina fique em contato com outras radiações sendo sensibilizado por elas.

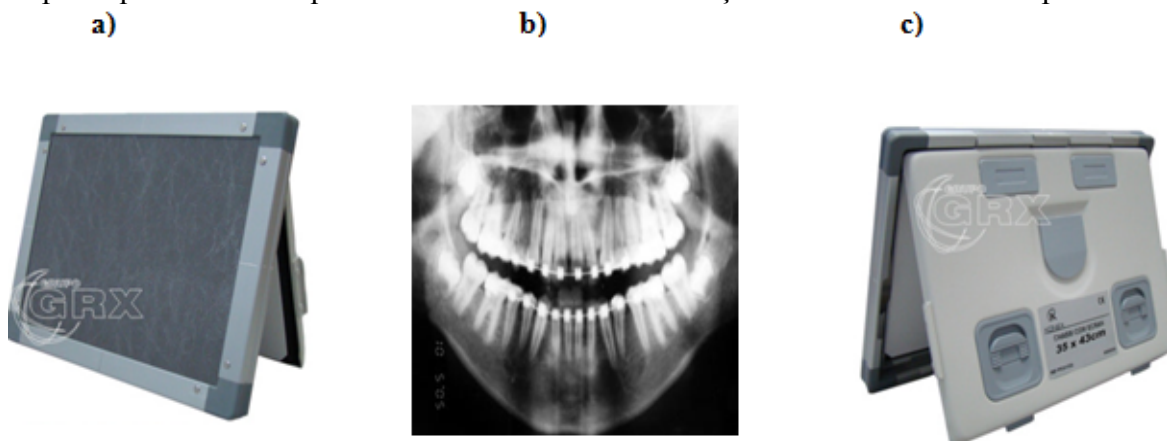


Figura 121: partes formadoras da imagem radiográfica: a) écran; b) filme radiográfico e c) chassi.
Fonte: www.fsc.ufsc.br

Da seção M.3.3.2.5 Densidade radiográfica à seção M.3.3.2.8 Detalhe radiográfico há as características da imagem.

M.3.3.2.5 Densidade radiográfica em exames que usam filmes

De acordo com Dimenstein (2005), quando os Raios-X atingem o écran (camada de fósforo da tela intensificadora), ocorre à emissão de luz de cintilação. A luminosidade emitida pelo écran atingirá a emulsão do filme radiográfico e produzirá alterações físico-químicas nos haletos de prata da emulsão.

No filme existem milhares de haletos de prata, os quais serão sensibilizados quando expostos à luz emitida pelo écran, sendo esse processo denominado imagem latente. Após o processo de revelação química, a imagem poderá apresentar diferentes níveis de enegrecimento. A transformação da imagem latente em visível somente ocorrerá após a revelação química da película.

O grau de enegrecimento na radiografia dependerá dos mecanismos de atenuação da radiação com o paciente, do processamento químico, das respostas sensitométricas dos filmes e dos tipos de combinações de écran. A essas características estão associadas o conceito de densidade radiográfica.

O conceito de densidade radiográfica em exames que utilizam filmes é inversamente proporcional ao conceito de densidade anatômica. Quando há uma parte analisada com maior densidade anatômica, por exemplo, um osso, ele absorve mais radiação, ocasionando que a imagem radiográfica produzida na lâmina seja mais clara, ou seja, com uma baixa densidade radiográfica.

Se o tecido tiver menor densidade, a imagem será mais escura e, portanto, terá maior densidade radiográfica. Os fótons, que são atenuados ou espalhados, atingirão o écran com menor intensidade em função da espessura do paciente e da densidade do tecido, produzindo, assim, uma imagem com diferentes tons de cinza.

M.3.3.2.6 Contraste do filme

O contraste é influenciado pelas características sensitométricas dos filmes. Os haletos de prata contidos nas emulsões dos filmes podem apresentar diferentes formatos e espessuras, tendo influencia direta na resolução das imagens.

M.3.3.2.7 Contraste do objeto

De acordo com Garcia (2002), o contraste do objeto é definido pela diferença entre a densidade Óptica dos objetos. Os componentes que podem ser radiografados são músculos, fluídos, tecido adiposo, gases e ossos. Os três primeiros possuem densidade similares e por isso possuem pouco contraste na imagem radiográfica.

O contraste radiográfico da imagem é a combinação do contraste do filme com o contraste do objeto.

As diferenças de densidade Óptica na imagem, que afetam o contraste radiográfico, dependerão da capacidade de penetração dos fótons de Raios-X, que é influenciado pela energia da radiação, pela espessura e densidade dos tecidos.

Quanto mais houver cinza na imagem menos contraste existe e, portanto, menos nítida se torna a imagem.

Segundo Dimenstein (2005), quanto maior a densidade do tecido, menor a quantidade de fótons que o atravessam, afetando o contraste da imagem.

M.3.3.2.8 Detalhe radiográfico

De acordo com Bushong (2007), a precisão da visualização de uma estrutura individual do corpo na imagem é referida como detalhe radiográfico, que está associado à capacidade de distinção entre dois pontos distintos e é denominado de resolução da imagem.

A resolução da imagem está relacionada com o tamanho do ponto focal, pois quanto menor for a área emissora de pontos, maior será a probabilidade de visualização de pequenas estruturas com detalhes.

M.3.3.2.8.1 Magnificação

Devido a fatores geométricos, como as distâncias foco-paciente e filme-paciente, ocorre que a imagem radiografada é maior do que o objeto radiografado, ou seja, ocorre uma magnificação da imagem.

O aumento da distância entre filme e paciente introduz um fator de magnificação que gera uma distorção da imagem. O fator de magnificação é dado por:

$$M = \text{imagem/objeto} \quad (27)$$

Em alguns procedimentos é possível utilizar positivamente essa magnificação, por exemplo, na angiografia, quando é possível melhorar a visualização dos vasos sanguíneos que geralmente são muito pequenos, aumentando a distância do filme ao paciente. Quanto maior for essa distância maior será a distorção causada na imagem e maior será a amplificação da mesma. Na Figura 122, essa amplificação está representada pela imagem 2.

O importante é que o grau de magnificação seja limitado ao foco fino (área pequena de onde sai a radiação) para não se perder o detalhe da imagem e, conseqüentemente, diminuir a capacidade de diagnóstico a partir dela.

Se o foco for grosso (área grande de onde sai a radiação), devido ao maior contato da radiação com o ar, esta será mais absorvida e espalhada (através, respectivamente, do efeito fotoelétrico e Compton), ionizando o ar, diminuindo a intensidade de radiação que chega ao paciente, prejudicando, assim, a qualidade da imagem, pois haverá menos fótons para produzi-la.

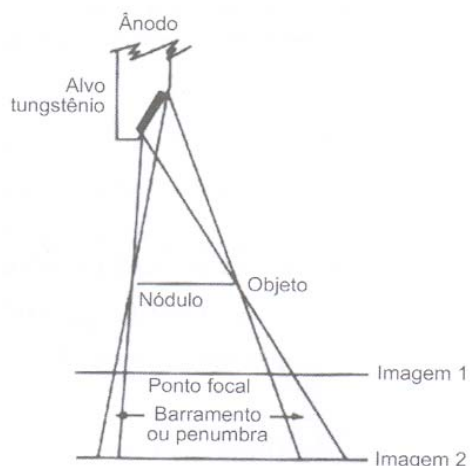


Figura 122: efeito da magnificação.
Fonte: Dimenstein, 2005.

M.3.3.2.8.2 Angulação

A angulação ocorre quando o raio central do feixe primário não incide exatamente no centro do objeto. A angulação causa distorção na imagem que pode ser ou não proposital. Essa angulação é usada, principalmente, para evitar a superposição de partes anatômicas, pois é feito imagens de pontos diferentes da anatomia.

M.3.3.2.8.3 Seleção ou distância focal

Segundo Dimenstein (2005), a distância entre o foco (de onde sai a radiação) e o objeto radiografado é denominada DFO e a distância do foco ao filme é denominada DFF. A variação delas não altera o espectro de Raios-X, mas muda a energia dos fótons que atingem o receptor de imagem, pois este varia com o inverso do quadrado da distância. Portanto, quanto mais longe estiver o paciente do foco, menos intensos serão os fótons de Raios-X que atingem o paciente, menos radiação o atravessará, ou seja, mais radiação será absorvida por ele.

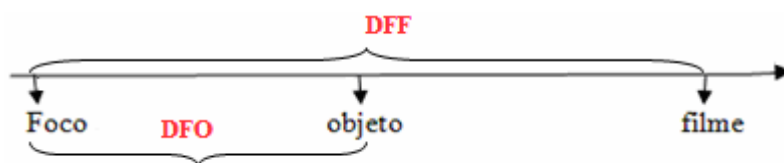


Figura 123: esquema foco-objeto-filme.

Segundo Bushong (2007), quanto maior for a distância entre o tubo (representado na figura 123 como foco) e o paciente (representado na figura 123 como objeto), maior será a dose de radiação no mesmo, pois os fótons possuirão menos energia ao encontrar o corpo do paciente, devido a que uma parte da radiação será absorvida pelo meio, conseqüentemente ocorrerá maior absorção pelo paciente devido ao efeito fotoelétrico.

Questões:

1. Na Figura 124 há algumas imagens produzidas por Raios-X. Identifique, na figura, algumas partes mais densas e menos densas do corpo humano. Com base nas aulas anteriores explique por que existe diferença de contraste nas imagens radiográficas devido a diferença de densidade.



Figura 124: imagens radiográficas.

Fonte: www.fsc.ufsc.br.

2. Identifique na



3. Figura 125: o chassi radiográfico, o écran e a lâmina.

Figura 125: onde se forma a imagem.

Fonte: www.fsc.ufsc.br.

4. Como ocorre, no écran, a transformação de Raios-X em luz?
5. a) O que significa a sigla kVp? b) Esta sigla é unidade de qual grandeza física? c) Como esta grandeza é ajustada no aparelho de Raios-X? d) Como os valores diferenciados de kVp influenciam na imagem radiológica? e) Qual a relação entre kVp e a incidência de radiação no paciente?
6. a) O que significa a sigla mA? b) Esta sigla é unidade de qual grandeza física? c) Como esta grandeza física é ajustada no aparelho de Raios-X? d) Como os valores diferenciados de mA influenciam na imagem? e) Qual a relação entre mA e a incidência de radiação no paciente?
7. Como relacionar o mA e o kVp de modo a produzir uma imagem radiográfica detalhada e, ao mesmo tempo, não incidir radiação desnecessária ao paciente?
8. Há alguma palavra na seção M.3.3.2 Grupo 2: formação de imagens radiográficas que não foi compreendida? Se existir, escreva-a.
9. Quais conceitos físicos estão envolvidos na seção M.3.3.2 Grupo 2: formação de imagens radiográficas?
10. Faça um mapa conceitual com os principais pontos do estudado na seção M.3.3.2 Grupo 2: formação de imagens radiográficas.

M.3.3.3. Grupo 3: Radioterapia: Braquiterapia e Teleterapia

M.3.3.3.1 Radioterapia

Segundo Koch, Ribeiro e Tonomura (1997), a radioterapia é um método de tratamento que consiste na destruição de células cancerígenas, principalmente na fase de multiplicação celular, utilizando radiações ionizantes eletromagnéticas (Raios-X e Raios gama) e radiações corpusculares (partículas alfa e beta).

As radiações podem interagir diretamente no DNA das células, lesando-as diretamente. Ou então, podem interagir com a molécula de água (H_2O_2) e criar radicais livres que podem danificar indiretamente as cadeias de DNA.

O tratamento radioterápico tem várias finalidades, como: destruir as células cancerígenas; evitar o crescimento do tumor e reduzir sintomas como dor intensa.

Segundo Garcia (2002), a radioterapia está dividida em dois tipos: teleterapia (radioterapia externa) e braquiterapia (radioterapia interna).

M.3.3.3.2 Teleterapia

De acordo com Sorenson (1987), a teleterapia emprega uma fonte externa, colocada a uma determinada distância do paciente, através de um aparelho emissor de radiação, e, por esta razão, também é conhecida como radioterapia externa.

Uma série de equipamentos podem ser utilizados no tratamento com teleterapia. Sua escolha faz-se de acordo com o tipo de radiação emitida, as características e consequências biológicas da radiação, o tipo de tumor a ser tratado e as lesões que afetam os tecidos normais.

Segundo Garcia (2002), ela pode ser dividida em radioterapia superficial, semi-profunda e de megavoltagem, em função da energia da radiação emitida. A radioterapia de megavoltagem é realizada através dos aceleradores lineares.

Na Figura 126 mostra-se um aparelho que faz a teleterapia. A Figura 127 demonstra o monitor utilizado pelo especialista para realizar o exame atrás de uma proteção de chumbo e, dessa forma, com mais segurança.



Canhão de Cobalto

Figura 126: equipamento usado para fazer teleterapia.

Fonte: http://radio_teleterapia.vilabol.uol.com.br/radioterapia.htm.



Figura 127: monitor que envia e recebe informações para o aparelho da teleterapia.
Fonte: http://radio_teleterapia.vilabol.uol.com.br/radioterapia.htm.

Segundo Sorenson (1987), para proteção do paciente, é necessário proteger estruturas ou órgãos sadios através de placas de chumbo, pois a radiação atinge os tecidos normais e doentes por igual. Entretanto, quanto maior o índice mitótico (reprodução celular) do tecido, maior a sensibilidade. Os tecidos mais radiosensíveis sofrem maior dano que outros se expostos à mesma dose de radiação.

A radiação na área do tumor não deve exceder à dose necessária e deve-se imobilizar adequadamente o paciente.

O tempo e duração do tratamento dependem do tipo de tumor, seu tamanho e localização. Assim o tempo e duração do tratamento são dependentes das diferentes radiosensibilidades específicas de cada tumor.

De acordo com Garcia (2002), equipamentos de alta energia são, geralmente, projetados para uma distância fonte-pele de 80 a 100 cm. A capacidade dessa pequena distância deve-se, dentre outros motivos, a construção de aceleradores, que passaram a ser construídos em tamanhos apropriados para uso clínico e com grande variedade de energias e de tipos de radiações, o que representa um aumento significativo de opções de tratamento.

A Teleterapia utiliza os feixes de elétrons e nêutrons (aceleradores lineares), os Raios-X (equipamento de Raios-X) e os Raios gama (equipamentos com fontes radioativas).

Aceleradores. Segundo Williams (1991), aceleradores lineares são túneis retos que servem para acelerar partículas até atingirem velocidades muito elevadas e podem emitir, além de Raios-X, feixes de elétrons e nêutrons com várias energias, que estão em torno de 20 á 30 MeV. Isso é muito importante, pois permite a realização de múltiplos tratamentos utilizando apenas um equipamento.

Num acelerador linear, os elétrons são produzidos por um filamento aquecido que é colocado dentro de uma estrutura aceleradora. Ao deixar o filamento aquecido os elétrons são acelerados e colidem com um alvo, produzindo tanto um espectro contínuo (radiação de freamento) quanto discreto (radiação característica).

Nos aceleradores lineares os elétrons são acelerados devido a bobinas que fornecem um campo magnético variável a partícula acelerando-a, utilizando o principio da indução eletromagnética. Na Figura 128 há um esquema de um acelerador linear e na Figura 129 a imagem de um acelerador linear.

Existem também os aceleradores circulares que, por possuírem mais espaço, permitem que a partículas atômicas carregadas adquiriram mais velocidade e, portanto, possuam mais energia.

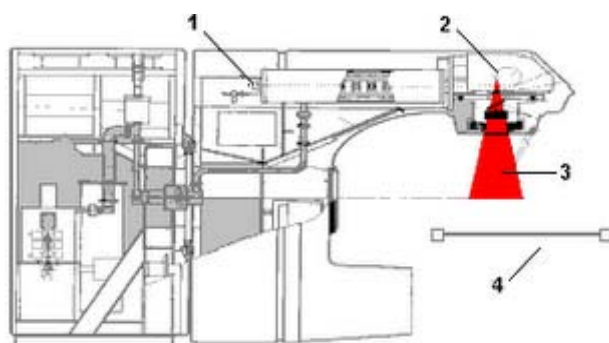


Figura 128: esquema de um acelerador de partícula: 1. Fonte de elétrons; 2. Alvo; 3. Feixe de elétrons ou fótons e 4. Mesa de tratamento.

Fonte: www.novastecnologiassaude.blogspot.com.



Figura 129: acelerador linear de partículas.

Fonte: www.novastecnologiassaude.blogspot.com.

Existem vários tipos de aceleradores circulares, entre os quais, o ciclotron (Figura 130), usado para acelerar partículas atômicas carregadas. Os ciclotrons podem produzir feixes de nêutrons que liberam a maior parte da sua energia quando se chocam com o alvo, pois como os nêutrons não têm carga, não causam ionização ao longo do seu percurso.

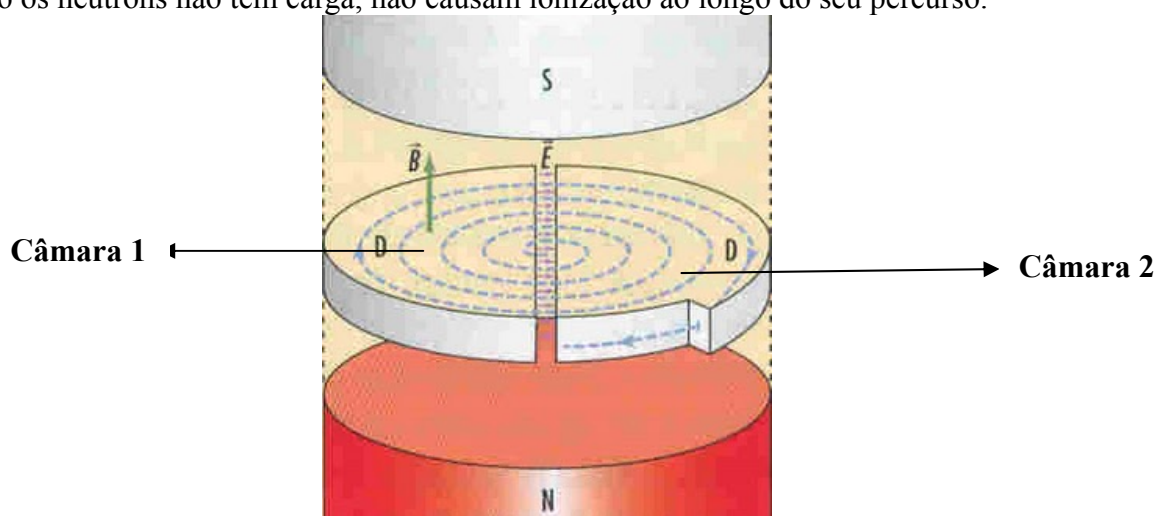


Figura 130: esquema de um ciclotron.

Fonte: www.novastecnologiassaude.blogspot.com.

Conforme pode-se ver na Figura 130, o ciclotron é constituído por duas câmaras semicilíndricas, onde se faz vácuo. Essas câmaras são colocadas perpendicularmente a um campo magnético uniforme, criado por um poderoso eletroímã, estabelecendo-se entre ambas

uma diferença de potencial alternada, que é utilizada para acelerar as partículas a cada volta. Este é o modelo do primeiro ciclotron feito em 1929 por Ernest O. Lawrence.

Os aceleradores circulares modernos, além de produzirem Raios-X, podem ainda produzir radiação corpuscular, como elétrons, nêutrons, íons pesados (tais como prótons e hélio) e pi-menos negativo (pequenas partículas carregadas negativamente).

Como algumas radiações corpusculares não conseguem atingir grandes profundidades nos tecidos, elas são utilizadas para tratar tumores localizados na superfície, ou imediatamente abaixo da pele, como é o caso dos prótons da radiação corpuscular. Tais radiações depositam a sua energia numa área muito pequena, chamada pico de Bragg, sendo este usado para dirigir doses elevadas de radiação corpuscular até o tumor, provocando menos danos aos tecidos normais. Os prótons, além de possuírem massa, possuem carga e, por esse motivo, são rapidamente absorvidos. Assim, apenas os tecidos próximos à fonte radioativa são afetados pela dose.

Segundo Walker (2002), nos aceleradores circulares modernos são colocados eletroímãs ao redor de um tubo circular de cobre para acelerar as partículas. Muitos aceleradores circulares também têm um acelerador linear curto para acelerar inicialmente as partículas antes de entrarem no anel.

Um exemplo de acelerador circular é o Large Hadron Collider (LHC). Conforme pode-se ver na Figura 131 o LHC possui uma circunferência de 27 km, encontra-se a 175 m abaixo do solo e está presente nos países da França e da Suíça.

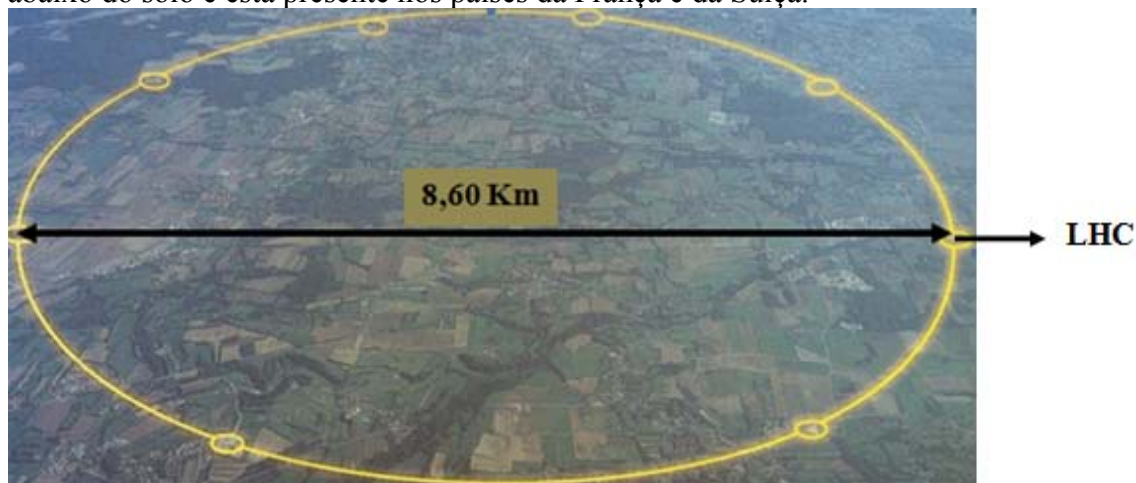


Figura 131: LHC.

Fonte: <http://ts-dep.web.cern.ch/ts-dep/groups/lea/int/workshops/LHC.jpg>.

Aparelhos de Raios-X. Um aparelho de Raios-X difere de um acelerador apenas no mecanismo de aceleração. O aparelho de Raios-X consiste de dois eletrodos (ânodo e cátodo) que, sob tensão, formam um campo elétrico que acelera os elétrons (com energias muito mais baixas que as atingidas por um acelerador circular). Um acelerador possui vários solenóides no caminho que vão fornecendo vários impulsos a partícula, através do campo magnético produzido por elas.

Tanto os aceleradores quanto os aparelhos de Raios-X não possuem material radioativo no seu interior, produzindo radiação quando os elétrons acelerados colidem com o alvo.

Aparelhos de Raios gama. O material radioativo, de césio, cobalto, ou irídio, é colocado numa cápsula de aço inoxidável, revestida de chumbo para evitar a emissão de radiação em todas as direções. Esta cápsula encontra-se dentro do aparelho e, quando é aberta, emite radiação que vai de encontro a área onde encontra-se o câncer.

Os Raios-X e gama propagam-se na velocidade da luz (300000 Km/s). Ambos conseguem atravessar completamente o corpo humano, podendo causar danos irreversíveis,

como alteração na estrutura do DNA.

Segundo Cavalcante (2000), os isótopos mais usados nos aparelhos de Raios gama são o Cobalto-60 (Co-60) e o Césio-137 (Cs-137). O Césio-137 possui meia vida de 30,2 anos, possui atividade de 50 á 500 TBq e picos de energia na forma de Raios-X e Raios gama em 32 keV, 36 keV e 662 keV. O Cobalto-60 possui meia vida de 5,27 anos, possui atividade de 50 á 500 TBq e picos de energia na forma de Raios-X e Raios gama em 1173 keV e 1333 keV.

M.3.3.3.3. Braquiterapia

A terapia por radiação, cuja fonte radioativa está em contato com o câncer, é conhecida como braquiterapia. A utilização dela teve sua origem na descoberta do rádio por Marie e Pierre Curie em 1898.

Com a evolução da Medicina Nuclear, foram criadas novas fontes radioativas que oferecem maior segurança para o paciente e para os trabalhadores expostos. Estes elementos radioativos emitem radiações de menor alcance do que o elemento rádio e, portanto, tal elemento foi substituído, em tratamentos de braquiterapia.

Segundo Sorenson (1987), os isótopos usados em braquiterapia podem ser:

- inseridos através de instrumentos especialmente fabricados que podem ser colocados nas cavidades do corpo que possuam células cancerígenas;

- fichados na superfície de aplicadores e colocados diretamente nos tumores;

- inseridos em órgãos que possuem formato de tubo, tais como esôfago ou brônquios.

Em cada um desses métodos, a fonte radioativa é selada por uma capa metálica especial para evitar o vazamento de material radioativo;

- colocados em contato com o tumor durante um determinado tempo e depois retirados.

Uma das vantagens da braquiterapia é que altas doses de radiação podem ser liberadas em um tempo curto na localidade do tumor, enquanto que o tecido em volta recebe doses muito baixas, uma vez que a dose da radiação utilizava na braquiterapia (alfa e beta) decresce rapidamente com o aumento da distância, como foi visto na seção M. 1.3.7 “Tipos” de Radiação Nuclear. Entretanto, em muitos casos a braquiterapia não pode ser utilizada, pois não se consegue com ela atingir o tecido a ser tratado. Sendo assim, a escolha da braquiterapia ocorre sempre quando é possível a sua utilização.

Na Figura 132, pode-se ver um exemplo de implantes utilizados na braquiterapia.



Figura 132: exemplo de implantes utilizados na braquiterapia.

Fonte: adaptado de www.radio_teleterapia.vilabol.uol.com.br.

Questões:

1. Em que difere a radioterapia dos exames de Raios-X?

2. Quais são os princípios de funcionamento da teleterapia e da braquiterapia?

Diferencie-os.

3. Há três tipos de equipamentos utilizados para fazer a teleterapia, explique o funcionamento de cada uma delas.

4. Explique o funcionamento do ciclotron.

5. Há alguma palavra na seção M.3.3.3. Grupo 3: Radioterapia: Braquiterapia e Teleterapia que não foi compreendida? Se existir, escreva-a.

6. Quais os conceitos físicos que estão envolvidos na seção M.3.3.3. Grupo 3: Radioterapia: Braquiterapia e Teleterapia?

7. Faça um mapa conceitual com os principais pontos do que foi estudado na seção M.3.3.3. Grupo 3: Radioterapia: Braquiterapia e Teleterapia.

M.3.3.4 Atividade 2: filme: BBC The Big Bang Machine.

Síntese: o filme tem duração de aproximadamente 40 minutos, trata das partículas elementares e sua organização (modelo padrão), do funcionamento e a importância dos aceleradores de partículas, em especial do LHC e sobre o Big Bang.

Questões:

1. Cite pelo menos duas utilidades de um acelerador de partículas?
2. A partir do que foi explicado, como funciona um acelerador de partículas (linear e circular)?
3. Os prótons, os elétrons e os nêutrons são indivisíveis?
4. O que são partículas elementares?
5. Qual é a importância dos cientistas estudarem sobre as partículas elementares?
6. O que é Modelo Padrão?
7. O que é Big Bang? Explique tal teoria.

M.3.3.5 Atividade 3: questões.

Síntese: os alunos da sala serão divididos em pequenos grupos compostos de alunos dos três grupos que farão apresentações sobre os textos 1, 2 e 3. Esses grupos deverão discutir e resolver, em conjunto, as questões do grupo 1, 2 e 3 e as questões propostas a partir do filme, de modo que todos respondam as questões propostas, favorecendo discussões em grupo e a construção de conhecimento.

Essas questões serão utilizadas posteriormente no jogo campo minado.

M.3.3.6 Atividade 4: jogo campo minado.

Síntese: a sala será dividida em dois grupos que irão competir. Uma pessoa por vez, alternando-se os grupos, deve passar sobre um tapete cheio de um material que emite som ao ser pressionado, que é chamado popularmente de *estourinhos*. Se estourar um ou mais deles, a pessoa que estourar deve responder uma das questões em um determinado tempo; se responder de forma equivocada sai do jogo; e, assim por diante, até não restar nenhum aluno em uma das equipes. Quando houver equívocos nas respostas, estas serão discutidas pelos alunos de modo a valorizar o erro. Para isto será apresentado a resposta que por enquanto, é a mais aceita pela comunidade científica e será mostrado a eles que esta resposta pode mudar e que, para se chegar a esta, houveram muitas teorias divergentes, muitas ideias diferentes da atual.

Este jogo pode ser utilizado a partir do início da idade escolar, não havendo limite de idade, utilizando os conteúdos que são ensinados em cada ano escolar e em cada disciplina específica.

Materiais Utilizados

- *estourinhos* (material que sobre pressão liberam um pequeno estouro);
- tapete;
- as perguntas;

- cronômetro.

Como Montar

Deve-se colocar o tapete estendido no chão, sob o tapete devem ser colocados vários *estourinhos*. As perguntas devem ficar com o professor.

Objetivos

- aprofundar o estudo de alguns conteúdos;
- incentivar a pesquisa;
- favorecer o trabalho em equipe;
- melhorar o aprendizado dos alunos;
- ensinar de forma divertida;
- incluir todos os alunos;
- ajudar as pessoas a se expressarem melhor;
- desenvolver o raciocínio lógico-matemático.

M.4.Aulas 7 e 8

M.4.1 Esquema de trabalho

Concepções alternativas: para Driver apud Filho e Jacques (2008) as conceitualizações de energia são vistas como:

- associada somente a objetos animados;
- um agente armazenado nos objetos;
- um fluido, ingrediente ou produto;
- vinculado à força e ao movimento;
- combustível;
- a conservação de energia não é vista como necessária pelos estudantes.

Organizador Prévio:

Objetivo do organizador: propiciar uma interação entre conceitos novos com os já existentes na estrutura cognitiva dos alunos, buscando, dessa forma, facilitar a ocorrência de aprendizagem significativa. Mais especificamente, utilizar um filme de 5 minutos (http://www.youtube.com/watch?v=pGttA5_rABw) que mostra que a luz solar não passa pelo corpo de uma menina produzindo assim sombra. Tem-se como objetivo utilizar tal organizador prévio para que sirva como base para a aprendizagem significativa da formação de imagens tomográficas.

Descrição do organizador prévio: será utilizado um filme curto (http://www.youtube.com/watch?v=pGttA5_rABw), na qual uma menina, ao longo do dia, vai percebendo as sombras que ela produz e as sombras que os outros objetos em torno dela produzem, mostrando que as sombras variam ao longo do dia.

A produção de imagens na Tomografia Computadorizada (TC) funciona de forma análoga ao sistema Sol-objeto-sombra, uma vez que o gerador de Raios-X (análogo ao Sol) está no lado oposto ao detector (análogo a sombra) e o paciente está entre ambos. Portanto, a imagem é produzida em oposição à fonte, de forma semelhante ao sistema Sol-objeto-sombra. Entretanto, quando o Sol está exatamente sob o objeto (análogo ao paciente), não é produzida sombra. Na TC isso não ocorre: quando o gerador de Raios-X e o detector estão um sobre o outro são produzidas imagens.

A interação cognitiva deverá ocorrer quando o aluno perceber as diferenças e

semelhanças entre os sistemas Sol-objeto-sombra e fonte-paciente-detector de Raios-X.

Situação-problema: suponha que você encontra-se com seu filho no colo à espera de realizar um exame de Tomografia Computadorizada. Ele ouviu o médico falar que o equipamento irá fazer uma volta de 360° em torno de você. O menino fica intrigado e pergunta: “Pai, o aparelho de TC não possui vários cabos? Se possui como pode fazer uma volta completa em torno do paciente? Se não possui, como o equipamento recebe e manda informações para a mesa de controle? Se possui como consegue fazer uma volta completa?” Explique a ele.

Assunto: transformador, potência, gerador, retificador, ânodo, cátodo, filtro, blindagem, ressonância, Ressonância Magnética Nuclear e campo magnético.

Conceitos:

Detectores: ionização, elétrons, corrente elétrica, voltagem, ondas eletromagnéticas, Raios-X, raios gama, radioatividade, efeito fotoelétrico, fotodiodo, camada eletrônica, laser, calor, luz, cintilação, estado sólido, térmicos, óptico, gás, absorção, excitação elétrica e radioatividade.

Tomografia: efeito fotoelétrico, ondas eletromagnéticas, frequência, energia, comprimento de onda, fótons, absorção, corrente elétrica, radiações ionizantes, elétrons, níveis energéticos, luz, TC, TC Helicoidal, Tomografia Linear, anel liso, anel deslizante, voltagem, corrente, tempo, dose, transformador, potência, gerador, retificador, ânodo, cátodo, filtro, blindagem, ionização, absorção e dispersão da radiação, voltagem, número atômico, excitação elétrica, Raios-X, colimador e ondas eletromagnéticas.

Ressonância Magnética: radiofrequência, campo magnético, ressonância, spin, momentum do spin, hidrogênio, nêutrons, prótons, elétrons, onda, frequência, comprimento, energia das ondas, antena, corrente elétrica, excitação eletrônica, fótons, nível energético de equilíbrio, momentum, densidade e luz.

Aplicações: TC, TC Helicoidal, Ressonância Magnética Nuclear (RMN) e detectores de radiação (cintilação, sólido, térmicos, óptico e gás).

Atividades: inicialmente será realizado um jogo, com o intuito de revisar conteúdos de Eletromagnetismo e de Física Moderna, contendo questões conceituais e matemáticas, aplicações, história e mímica.

Posteriormente, será ensinado, brevemente, como se faz modelagem no programa Modellus e serão feitas algumas modelagens com esse programa, sobre ressonância, campo magnético, campo eletromagnético, transformador, voltagem, corrente e resistência elétrica.

Na sequência, será realizada uma aula expositiva-dialogada utilizando o projetor multimídia, intercalando-a com simulações computacionais, com situações-problemas para serem resolvidos pelos alunos e com um documentário sobre a RMN (fonte: <http://www.youtube.com/watch?v=YeVHTjMwVTo>).

Posteriormente, será confeccionado um painel, no qual, em grupos, os alunos montarão, através de colagem, um aparelho de TC, um detector de radiação de cintilação, um detector de radiação a gás e um sobre RMN, identificando as partes principais e explicando o funcionamento de cada uma delas.

Por último, os alunos realizarão estudos em grupos, discutindo os textos e resolvendo questões.

Objetivos específicos: auxiliar os alunos a aprenderem significativamente TC, TC

Helicoidal, detectores de radiação e RMN a partir dos assuntos propostos para a aula, através de materiais alternativos.

Metodologias: jogo (tabuleiro), modelagem computacional (Modellus), reportagem (como funciona RMN), aula expositiva-dialogada, simulação computacional, colagem, estudo em grupos, debates e questões.

Testes para buscar indícios de aprendizagem significativa: entrega mapa-conceitual.

M.4.2 Atividade 1. Jogo (tabuleiro)

Materiais Utilizados

- fichas (APÊNDICE N- CD com material exposto em aula)
- tabuleiro (APÊNDICE P – Tabuleiro);
- pedras, no mesmo número de jogadores;
- tinta;
- pincel;
- dado.

Como Montar

O jogo pode ser jogado por várias pessoas, desde que haja mais do que um jogador.

Sugere-se que o tabuleiro (APÊNDICE P – Tabuleiro) e as fichas (APÊNDICE N- CD com material exposto em aula) sejam impressas em papel rígido e plastificados para que tenham mais durabilidade.

Precisa ter, pelo menos, a mesma quantidade de pedras que de jogadores. As pedras precisam ser pintadas de cores diferentes umas das outras.

Como jogar

Para começar, cada um deve jogar o dado, o jogador que tirar o maior número começa a jogar. Os alunos devem decidir, em grupo, se podem ou não, utilizar o material escolar (livros, cadernos...).

As fichas devem ser divididas em 9 montes que ficarão viradas para baixo. Os montes são sobre: 1) como funciona; 2) perguntas: magnetismo; 3) perguntas: eletricidade; 4) perguntas: Eletromagnetismo; 5) perguntas: Física Moderna; 6) cientistas; 7) contas; 8) fórmulas e 9) mímica.

O jogador deve lançar o dado, o número que ele tirar é a quantidade de casas que pode andar com a pedra, onde ele parar deve pegar uma ficha do respectivo monte. Exemplificando, se ele parar na casa onde está escrito contas, o jogador deve pegar uma ficha do monte que tem os exercícios de Física que utilizam Matemática e responder. Se responder certo²⁶ move a sua pedra duas casas para frente, se responder errado²³ fica no local em que estava antes da jogada.

É importante que quando ocorrer uma resposta incorreta, seja discutida a resposta de modo a encontrar a resposta aceita cientificamente, valorizando a oportunidade da aprendizagem oferecida pelo erro.

Quando cair em T (todos), o jogador pode escolher qualquer um dos montes para pegar uma carta e responder.

Vence o jogador que ao terminar a trajetória tenha acertado mais questões. Quem terminar a rodada, pode retornar ao tabuleiro, até que todos tenham passado a primeira vez pela linha de chegada, de modo que possa acertar mais pontos e, portanto, ter mais chances de ganhar, embora o mais importante além de competir é apreender.

²⁶ Errado e certo do ponto de vista do que é aceito cientificamente nos dias de hoje.

Objetivos:

- aprofundar o estudo de alguns conteúdos ou introduzi-los;
- incentivar a pesquisa, pois para responderem as questões do tabuleiro, dependendo do combinado entre os alunos, podem pesquisar em material escrito e entre eles;
- favorecer o trabalho em equipe;
- melhorar o aprendizado dos alunos;
- ajudar os alunos a compreenderem que o conhecimento tem um fator histórico e que foi construído por pessoas;
- mostrar aos alunos que os conhecimentos científicos não são verdades absolutas;
- mostrar que os conceitos podem evoluir se conseguem explicar os problemas, ou são abandonados, conforme sugere Toulmin;
- levar os alunos a perceberem que estão rodeados de tecnologias e fenômenos naturais;
- auxiliar os aprendizes a explicar algumas tecnologias e fenômenos naturais;
- desenvolver o raciocínio lógico- matemático;
- ensinar de forma divertida;
- impedir que os alunos sejam excluídos do processo de ensino e de aprendizagem;
- ajudar as pessoas a se expressarem melhor, pois em tal atividade há a necessidade de que os alunos exponham o que pensam, sendo seus erros criticados, valorizando, dessa forma, a crítica e os erros.

Alternativas

Esse jogo pode ser utilizado para introdução do conteúdo, motivando os alunos a pesquisarem em livros e materiais diversos para conseguirem jogá-lo. Também pode ser utilizado para fazer uma revisão e aprofundamento de conhecimentos importantes trabalhados durante o ano letivo.

O jogo pode ser utilizado, por conteúdos, por exemplo, o professor estuda com os alunos Eletromagnetismo, colocam-se somente as contas, perguntas, cientistas e como funciona que envolvam esse ramo da Física. Se o aluno parar em uma casa que não envolve Eletromagnetismo ele pode escolher qualquer um dos montes para retirar uma carta, ou seja, ele pode escolher contas, perguntas, cientistas e como funciona, mas apenas do Eletromagnetismo.

Pode ser jogado o jogo em duplas, assim um aluno pode ajudar o outro, favorecendo o debate.

M.4.3 Atividade 2: modelagem computacional

Síntese: será ensinado aos aprendizes a fazerem modelos computacionais a partir do programa computacional Modellus.

Os alunos precisam escolher um dos seguintes assuntos para fazer uma modelagem computacional: transformador, potência, gerador, resistência elétrica, ressonância e campo magnético gerado por corrente elétrica. Depois apresentarão suas modelagens para os demais e irão propor uma forma de trabalhar essas modelagens na sala de aula.

M.4.4 Atividade 3: expositiva dialogada

Síntese: nessa atividade a pesquisadora apresentará no projetor multimídia sobre: detectores de radiação, Tomografia (linear, computadorizada e helicoidal) e RMN em conjunto com suas bases físicas. Essa atividade será intercalada com simulações computacionais e com a atividade 4.

M.4.5 Atividade 4: reportagem (como funciona a RMN)

Fonte: <http://www.youtube.com/watch?v=YeVHTjMwVTo>.

Síntese: a reportagem tem duração de aproximadamente 10 minutos e relata o funcionamento do equipamento de RMN, incluindo aplicações e a forma de sua utilização.

M.4.6 Atividade 5: colagem e questões

Síntese: os alunos serão divididos em quatro grupos, cada um deles deverá estudar ou o texto da seção M.4.6.1 Texto 1: Detectores de radiação ou da seção M.4.6.4 Texto 4: Tomografia Computadorizada Helicoidal, resolver as questões ao final dos textos, montar um painel com a imagem ou da TC, ou da TC Helicoidal, ou dos detectores de radiação ou da RMN, com suas partes e com a explicação de cada uma delas.

M.4.6.1 Texto 1: Detectores de radiação²⁷

Existem vários tipos de instrumentos desenhados para detectar ou medir a radiação utilizada pelos pesquisadores e pessoas que trabalham diretamente com ela.

Os principais tipos de instrumentos desenhados para detectar ou medir a radiação, como o dosímetro, baseiam-se em: detectores de gás (câmara de ionização, contadores proporcionais e detectores -Muller), detectores sólidos, efeitos termicamente induzidos (termoluminescência), efeitos químicos (dosímetros de Fricke), e os efeitos ópticos (filme dosimétrico).

Será detalhado o funcionamento dos detectores a base de gás (câmara de ionização, contadores proporcionais e detectores -Muller), detectores de cintilação, termoluminescência e luminescência estimulada opticamente (cintilação).

O princípio de funcionamento do dosímetro, de um modo geral, é o de converter a radiação ionizante em doses acumuladas.

Os dosímetros são detectores de radiação que acumulam radiação no aparelho e posteriormente é verificado quanto de radiação havia em determinado ambiente ou a quantidade de radiação a que as pessoas foram expostas.

Os principais efeitos físicos e químicos da radiação ionizante, utilizados para a detecção da radiação, estão relacionados na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

A Figura 134 mostra a aplicabilidade dos diversos sistemas dosimétricos quanto à faixa mensurável de dose absorvida.

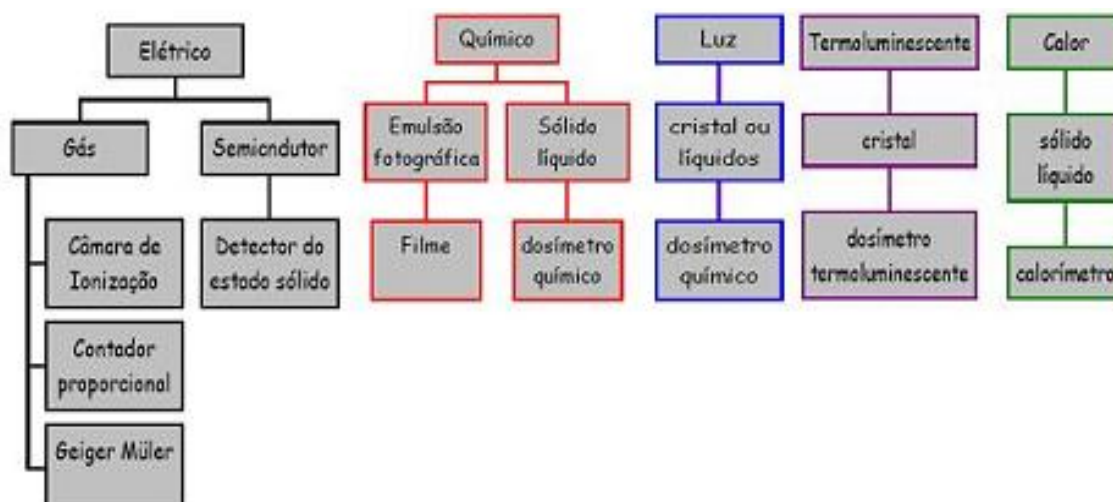
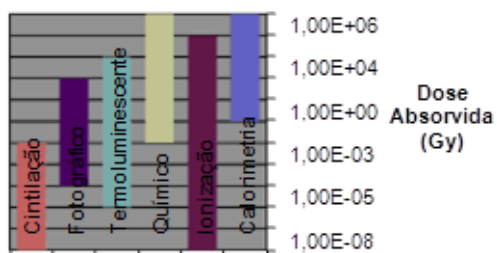


Figura 133: principais efeitos físicos e químicos da radiação ionizante utilizados para a detecção da radiação.

Fonte: <http://www.higieneocupacional.com.br/download/detectores-daros.pdf>.

²⁷ Texto baseado em Bushong (2007).



Sistemas Dosimétricos

Figura 134: aplicabilidade dos diversos sistemas dosimétricos quanto à faixa mensurável de dose absorvida.

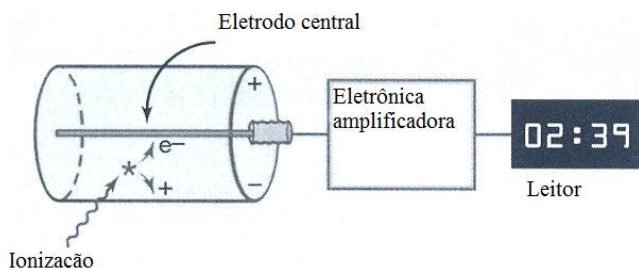
Fonte: web.cena.usp.br/apostilas/Zagatto/Dosimetria.doc.

M.4.6.1.1 Detectores a gás

Segundo Garcia (2002), existem três tipos de detectores a base de gás: câmara de ionização, contadores proporcionais e detectores -Muller. Eles, apesar de apresentarem diferentes características na resposta, estão baseados no mesmo princípio de funcionamento.

Quando a radiação atravessa um gás ioniza os seus átomos. Os elétrons que são ejetados, por causa da radiação, são detectados como sinal elétrico proporcional à intensidade de radiação.

Segundo Bushong (2007), um detector a gás é constituído de um tubo cheio de gás. Ao longo do eixo central existe um eletrodo. Se for criada uma diferença de potencial entre o eletrodo central e a parede, de maneira que o eletrodo seja positivo e a parede negativa, então o eletrodo atrairá os elétrons produzidos por ionização dentro do tubo, conforme pode-se observar na Figura 135.



Ionização

Figura 135: detector de gás.

Fonte: Bushong, 2007.

Estes elétrons formam um sinal elétrico que é amplificado e medido. Sua intensidade é proporcional à intensidade da radiação que a causou.

Quando há uma câmara maior há mais átomos disponíveis para a ionização e, portanto, o aparelho se torna mais sensível. Outra forma de tornar o aparelho mais sensível é aplicar nele uma pressurização, o que aumenta o número de átomos possíveis de ficar dentro da câmara de gás e, conseqüentemente, a ionização.

Quanto mais sensível for o detector, mais ele vai captar radiações que emitem energias mais baixas. Já um aparelho mais exato é aquele que, não somente capta a radiação, mas também a mede, quanto melhor é a medição, mais exato é o aparelho.

Se aumentar a voltagem na câmara, o detector, com uma radiação fixa, registra maior intensidade de sinal. Quando a voltagem é baixa os elétrons não chegam a alcançar o ânodo, recombinando-se na própria câmara, o que é chamado de região de recombinação (R), conforme pode-se ver na Figura 136.

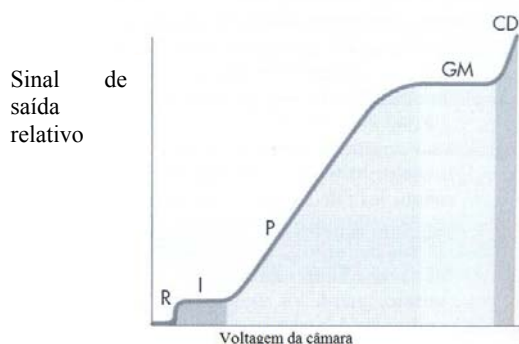


Figura 136: gráfico sinal de saída relativa X Tensão da câmara.
Fonte: Bushong, 2007.

Segundo Bushong (2007), quando a tensão aumenta, os elétrons produzidos na câmara alcançam o ânodo e ali são recolhidos. Essa tensão, na maioria dos aparelhos, está entre 100 a 300 V. Essa região de tensão é conhecida como região de ionização e é representada, na Figura 136, pela letra I.

Se for aumentado mais a tensão, os elétrons adquirirão mais velocidade até chegar ao anodo central, devido a essa velocidade, esses elétrons terão maior probabilidade de gerar mais íons. Os elétrons originados da formação desses íons, também serão acelerados em direção ao ânodo, resultando em um maior número de elétrons captados. Essa região de tensão é denominada de região proporcional sendo representada, na Figura 136, pela letra P.

Aumentando ainda mais a tensão, a presença de uma única ionização gera uma reação em cadeia que faz com que, praticamente todo o gás presente na câmara se ionize, gerando muitos elétrons que são atraídos pelo anodo. Esta região de tensão é denominada de -Muller e é onde os contadores Geiger-Muller operam. Na Figura 136 essa região é representada por GM. Esses aparelhos são muito sensíveis e, por isso, são capazes de detectar apenas um processo radioativo.

A última região de tensão é denominada de região de descarga contínua. Devido a alta tensão somente um evento de ionização, assim como no processo anterior, é capaz de desencadear um processo em cadeia na qual os elétrons são ejetados do gás, ionizando-as. Como a tensão é muito grande, os elétrons continuam sendo ejetados do gás, por este motivo este tipo de detector de radiação não é útil, pois essa ruptura contínua de elétrons faz com que o aparelho estrague rapidamente. Na Figura 136, essa região de tensão é representada por CD.

M.4.6.1.2. Detectores de cintilação

Alguns materiais emitem luz imediatamente depois de absorver um fóton de Raios-X. A quantidade de luz emitida é proporcional à quantidade de energia absorvida pelo material.

De acordo com Bushong (2007), se um fóton de Raios-X de 50 keV de energia é absorvido pelo material que forma o detector, essa energia absorvida é transformada em luz.

Segundo o mesmo autor, se de um fóton de Raios-X de 50 keV de energia apenas 20 keV forem absorvidos, os 30 keV restantes serão espalhados devido ao efeito Compton e, dessa forma, haverá uma quantidade menor de luz emitida. Conforme pode-se ver na Figura 137.

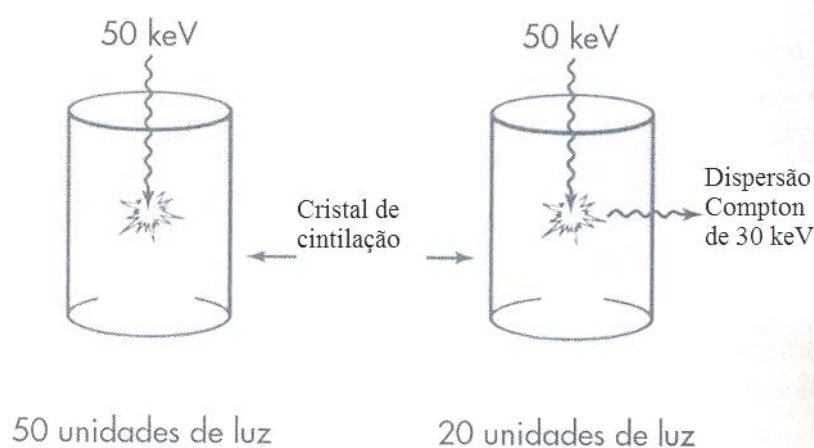


Figura 137: relação entre fóton incidente e energia emitida.

Fonte: Bushong, 2007.

Na Figura 138 há um esquema de um detector de cintilação.

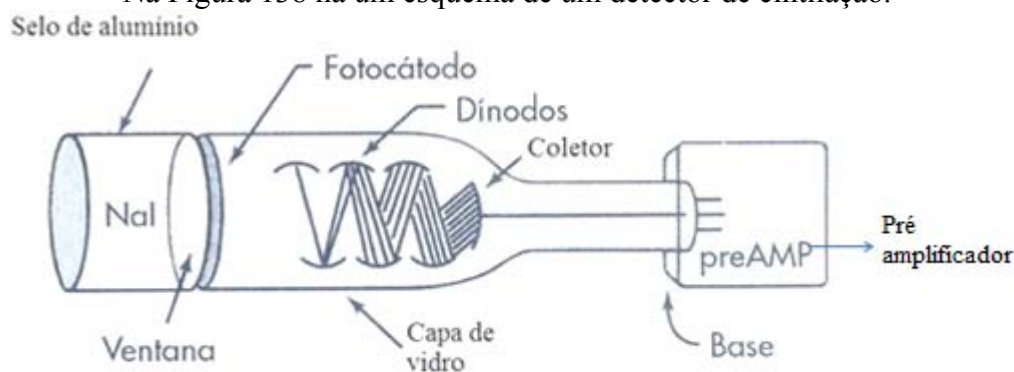


Figura 138: esquema detector de cintilação.

Fonte: adaptado de Bushong, 2007.

No esquema da Figura 138, o iodeto de sódio (NaI) é o cristal que na presença de Raios-X emite luz, como citado na seção M.1.3.1 Ultrassonografia. Esse cristal está envolvido por alumínio, isto permite que a luz seja refletida internamente a uma parte do cristal que não é coberta pelo alumínio, denominada de ventana.

Posteriormente a luz que provem do cristal interage com o cátodo. Nesta interação a luz ejeta elétrons por efeito fotoelétrico.

Os elétrons ejetados no cátodo passam através de placas denominadas de dínodos, cuja função é aumentar o número de elétrons, pois os elétrons arrancados no cátodo arrancam mais elétrons dessas placas amplificando o sinal.

Quanto maior for a intensidade da radiação, maior será a emissão de fótons, conseqüentemente, maior será a quantidade de elétrons arrancados no cátodo, mais elétrons serão arrancados dos dínodos e maior será a quantidade de elétrons que chegará ao coletor.

Um detector de cintilação é muito sensível, de forma análoga aos contadores Geiger-Muller.

M.4.6.1.3. Dosimetria de termoluminescência (TLD)

Trabalhadores e pessoas que passam uma parte do tempo, em locais onde há possibilidade de estarem em contato com radiações ionizantes para tecidos biológicos, precisam utilizar um detector chamado dosímetro.

Mas a radiação que chega ao dosímetro não é medida simultaneamente, mas periodicamente.

Os dosímetros são constituídos de um material, geralmente fósforo, que, ao ser

submetido a aumento da temperatura, libera a energia excedente devido, por exemplo, ao contato com a radiação.

Observem a Figura 139.

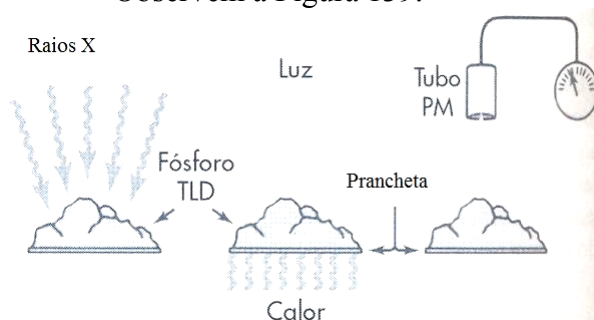


Figura 139: dosimetria de termoluminescência.

Fonte: Bushong, 2007.

O material termoluminescente, nesse caso o fósforo, é exposto a radiação ionizante e essa radiação fica contida no material.

Há alguns materiais, como o flúor de lítio que, quando incide radiação sobre ele, excita o elétron e este vai para um estado metaestável, que é aquele que um elétron excitado permanece até receber mais energia para ir para uma camada mais externa e depois ir para um nível inferior de energia. Quando ocorre o aquecimento desses materiais, os elétrons do estado metastável vão para o estado excitado e depois decaem para o estado fundamental, emitindo luz.

Sintetizando: depois dos dosímetros serem utilizados durante um tempo, eles são abertos e lhes é tirado o material termoluminescente, que é colocado sobre uma prancheta que aumenta a temperatura do material, o qual, por sua vez, libera luz. A luz captada varia conforme o aumento da temperatura, essa luz não é regular, pois, se há mais variação de temperatura, os elétrons ficam mais excitados mudando para camadas mais externas e, ao retornarem para as suas configurações originais, liberam essa energia. Quanto maior for a temperatura mais o elétron irá para uma camada mais externa neste processo, mudando a emissão de radiação.

A Figura 140 mostra a intensidade da luz em função do aumento da temperatura. Há vários picos no gráfico e cada um ocorre devido a transição eletrônica específica nos cristais termoluminescentes. Esse gráfico é conhecido como curva de brilho e cada material termoluminescente apresenta um específico. A área total abaixo da curva e a altura do pico de temperatura mais alta, são diretamente proporcionais a energia depositada no material termoluminescente pela radiação ionizante.

Os analisadores de material termoluminescente são os instrumentos eletrônicos feitos para medir a altura da curva de brilho, ou a área abaixo dessa curva e os relacionam com a exposição ou a dose, através de um fator de conversão.

A luz emitida é transformada em corrente elétrica e amplificada por um transistor (ver seção M.2.3.1 Grupo 1: Efeito Fotoelétrico). Então é feito um gráfico da corrente elétrica (ou intensidade da luz emitida) em função da temperatura, conforme Figura 140.

Os materiais termoluminescentes são reutilizáveis. A energia absorvida pelos materiais termoluminescentes, permanece armazenada até que é liberada como luz devido ao aumento da temperatura durante a análise. O aumento da temperatura restaura o cristal a sua condição inicial e o prepara para outra exposição.

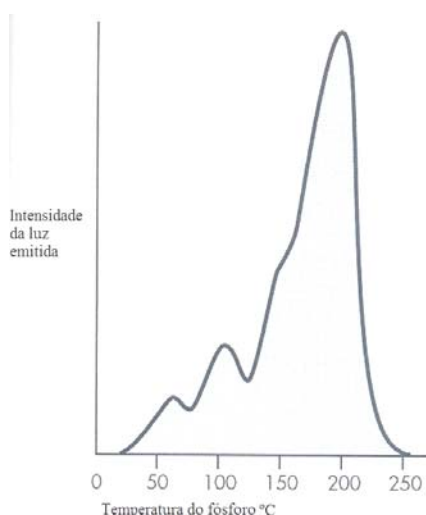


Figura 140: curva de brilho de termoluminescência para o FLi.
Fonte: Bushong, 2007.

M.4.6.1.4. Luminescência estimulada opticamente

Essa forma de captar a radiação surgiu somente no final do século XX.

A luminescência estimulada opticamente utiliza óxido de alumínio como detector de radiação. A irradiação do óxido de alumínio estimula alguns elétrons a um estado metaestável, como foi visto na seção anterior. Posteriormente, uma luz laser estimula estes elétrons, provocando que voltem ao estado original, emitindo luz. A intensidade de luz é proporcional à dose de radiação recebida. Na luminescência estimulada opticamente o laser faz o papel do aumento de temperatura da TLD.

O processo de luminescência estimulada opticamente está esquematizado na Figura 141.

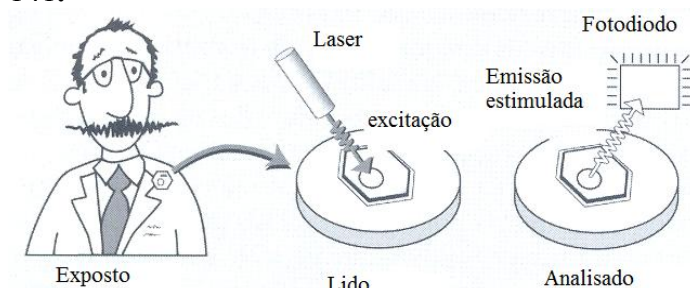


Figura 141: processo de luminescência estimulada opticamente.
Fonte: Bushong, 2007.

M.4.6.1.5 Dosímetros de filmes

A radiação produz alterações na densidade Óptica do filme revelado. Desta forma pode-se quantificar a exposição da radiação, pois quanto maior for a intensidade da radiação maior será o enegrecimento da imagem.

No caso dos dosímetros de filmes, a película do filme é colocada em uma embalagem (chassi) que impede interferências ambientais tais como, luz e umidade, permitindo a passagem apenas de radiações ionizantes para tecidos biológicos.

Nesse tipo de dosímetro as medidas dosimétricas são indiretas. Após a interação da radiação no filme, utiliza-se a densidade Óptica produzida na emulsão fotográfica, para determinar a medida dosimétrica. Na seção M.3.3.2.5 Densidade radiográfica, foi explicado detalhadamente o processo de captação da radiação em filmes.

O cálculo da densidade Óptica é feito com o uso de simuladores que utilizam os parâmetros do écran e do filme e a eficiência de emissão. Como esse processo é muito complexo e essencialmente matemático não será aqui explorado.

Uma das vantagens desse tipo de detector é a de permitir a documentação do registro dosimétrico, podendo ser utilizado para várias análises, desde que mantidos em condições ambientais adequados, já que calor e substâncias químicas podem danificar o filme.

Questões:

1. Como são divididos os detectores a gás? Como eles funcionam?
2. Como pode-se fazer para aumentar a sensibilidade de um detector á gás?
3. Como você faria um detector que não fosse com gás?
4. Explique a Figura 135.
5. Qual relação do explicado na Figura 135 e o efeito fotoelétrico?
6. Explique a Figura 138.
7. Explique a Figura 139.
8. Quais os conceitos físicos que estão envolvidos na seção M.4.6.1 Texto 1: Detectores de radiação?
9. Há alguma palavra na seção M.4.6.1 Texto 1: Detectores de radiação que não foi compreendida? Se houver, escreva-a abaixo.
10. Faça um mapa conceitual com os principais pontos do que foi estudado na seção M.4.6.1 Texto 1: Detectores de radiação.

M.4.6.2 Texto 2: Ressonância Magnética Nuclear

De acordo com Guimarães (2000), a Ressonância Magnética Nuclear (RMN) é um exame moderno que diferentemente da Radiografia e da TC (M.4.6.3 Texto 3: Tomografia), não utiliza radiação ionizante para tecidos biológicos e, sim, um forte campo magnético e ondas eletromagnéticas com a frequência de rádio, que permitem a formação de imagens.

Analogamente a TC (M.4.6.3 Texto 3: Tomografia), os sinais captados pelo aparelho são transformados em valores numéricos e reconstruídos pelo computador em imagens.

Até o momento não foi possível perceber efeitos prejudiciais oriundos desses exames, que permitem ao médico examinar, com precisão, diferentes partes do corpo.

Pelo fato do equipamento utilizar campo magnético intenso, algumas precauções precisam ser tomadas para realizar o exame, como não utilizar jóias, metal e maquiagem.

Segundo Todd (2000), o termo ressonância refere-se à capacidade de dois sistemas, ou meios físicos, trocarem energia entre si, sem que ocorra dissipação de energia. No caso da RMN, refere-se à capacidade de prótons receberem e emitirem energia através de ondas de radiofrequência emitidas e captadas através de antenas, como será explicado na seção M.4.6.2.2 .

M.4.6.2.1 Histórico

Segundo Garcia (2002), o aparelho de RMN baseia-se no conceito de spin, o qual surgiu da necessidade de se explicarem os resultados encontrados no experimento de Stern-Gerlach na década de 1920.

De acordo com Walker (2002), nesse experimento, um feixe colimado de átomos de prata, vindos de um forno em alta temperatura, atravessava um campo magnético não-

homogêneo.

Tal experiência era destinada a medir a distribuição dos momentos magnéticos, devidos principalmente aos elétrons. Como os átomos, na temperatura em que estavam emergindo do forno, apresentavam-se no seu estado fundamental, deveriam sofrer desvios nulos na presença do campo magnético não-homogêneo. Entretanto, isso não ocorreu. O resultado obtido foi duas manchas de depósito de prata sobre o alvo, indicando que o feixe se dividira em dois durante o percurso.

Isso indicou que os átomos de prata do feixe ainda possuíam momentum angular, mas que não era o dos elétrons no átomo, mas dos prótons. Tal momentum foi denominado de spin.

Segundo Garcia (2002), em 1939, Rabi e colaboradores submeteram um feixe molecular de hidrogênio (H_2), em alto vácuo, a um campo magnético não-homogêneo em conjunto com uma radiação na faixa das radiofrequências (RF). Para certo valor de frequência, o feixe absorvia energia e sofria pequeno desvio. Isso era constatado como uma queda da intensidade observada do feixe na região do detector. Este experimento marca, historicamente, a primeira observação da RMN.

Nos anos de 1945 e 1946, duas equipes, uma de Bloch e outra de Purcell na Universidade de Harvard, observaram sinais de absorção de radiofrequência dos núcleos de hidrogênio na parafina e na água.

Em 3 de julho de 1977, foi feito o primeiro exame de RMN em um ser humano.

M.4.6.2.2 Funcionamento

A RMN fornece aos médicos uma quantidade de informações detalhadas sobre a localização, tamanho e composição do tecido a ser examinado.

Conforme pode-se observar na Figura 142, há um tubo horizontal que atravessa o magneto principal. O paciente, deitado de costas, desliza para dentro do vão por meio de uma mesa. Assim, que a parte do corpo que precisa ser examinada atinge o magneto principal, o exame inicia.



Figura 142: equipamento de Ressonância Magnética Nuclear.
Fonte: adaptado de www.saude.hsw.uol.com.br

O maior componente em um sistema de RMN é o magneto principal.

As unidades de medidas utilizadas para o campo magnético produzido, por exemplo, por um magneto de um sistema de RMN, é o tesla e o gauss (1 tesla = 10 mil gauss). Os magnetos utilizados nos sistemas de RMN, atualmente, estão dentro da faixa de 0,5 a 2 tesla, ou de 5 mil a 20 mil gauss.

O campo magnético da Terra é de 0,5 gauss, ou seja, na RMN, o corpo é submetido a um campo magnético entre 10.000 a 40.000 vezes mais forte do que o da Terra. Esse campo magnético artificial, faz com que os átomos de hidrogênio do corpo se alinhem, na média, em uma direção.

Há 3 tipos básicos de magnetos que são usados em sistemas de RMN:

1º) Os magnetos supercondutores.

Um magneto supercondutor é o mais utilizado. Esses magnetos são feitos de bobinas pelos quais passa uma corrente elétrica que cria o campo magnético.

O fio é continuamente banhado em hélio líquido, a uma temperatura de $-233,5^{\circ}\text{C}$ e funciona no vácuo. Tal temperatura faz com que a resistência do fio caia praticamente a zero, reduzindo a necessidade elétrica do sistema.

Os sistemas supercondutores ainda são muito caros, mas podem gerar campos que variam de 0,5 a 2,0 tesla.

2º) Os magnetos resistivos.

Os magnetos resistivos, consistem em muitas voltas de fios condutores enrolados ao redor de um cilindro metálico, pelo qual passa uma corrente elétrica alternada. Isso gera um campo magnético alternado, funcionando a partir da indução eletromagnética²⁸. Se a eletricidade for desligada o campo magnético deixa de existir.

Esses magnetos são mais baratos de serem construídos do que um supercondutor, mas exigem mais potência elétrica devido à resistência natural no fio.

3º) Magneto permanente.

O campo magnético do magneto permanente é contínuo sem haver a necessidade de consumo de energia elétrica. Há duas desvantagens: 1º) são mais pesados do que os outros tipos de magnetos; 2º) não produzem campos tão intensos quanto os dois anteriores.

Segundo Garcia (2002), um campo magnético uniforme, com grande intensidade (0,5 a 2,0 tesla) e estabilidade é essencial para gerar imagens de qualidade. Magnetos, como esses descritos acima, tornam esse campo possível.

Os equipamentos de RMN utilizam dois tipos de magnetos: o principal e os magnetos gradientes. O magneto principal coloca o paciente em um campo magnético estável e muito intenso, enquanto que os magnetos gradientes criam um campo variável que vai orientar a localização e a espessura do segmento a ser estudado. Se a espessura é maior a intensidade do campo variável também deve ser maior.

O corpo humano é composto por bilhões de átomos. Simplificadamente pode-se dizer que os prótons do núcleo²⁹ de um átomo giram sobre um eixo analogamente a um pião, esse movimento é chamado de precessão³⁰. Conforme pode-se observar na Figura 143.

O eixo z, ou longitudinal, representa a direção de aplicação do campo magnético principal (B_0). O plano xy é chamado de plano transversal.

Segundo Guimarães (2000), um conjunto de momentos magnéticos na presença de um campo magnético estático B_0 precessiona na frequência angular ω_0 conforme a equação Figura 31:

$$\omega_0 = \gamma B_0$$

(28)

onde γ é a sua razão giromagnética. Se for incidido sobre esse sistema radiação eletromagnética de frequência igual a essa frequência de precessão, a radiação será absorvida ressonantemente, esse fenômeno é a Ressonância Magnética Nuclear. Se os momentos magnéticos são os dos prótons, há a RMN.

²⁸ Conceitualmente a indução eletromagnética refere-se ao fato de que uma corrente elétrica alternada gera um campo magnético também variado e que um campo magnético variado gera corrente elétrica alternada.

²⁹ O núcleo do hidrogênio é formado apenas por um próton, portanto é indiferente afirmar que o movimento de precessão é do próton ou do núcleo.

³⁰ Os prótons não giram, esta é uma simplificação Física Quântica, feita pela Física Clássica, que será aqui adotada, pois ela atende as necessidades explicativas no nível de profundidade desejada.

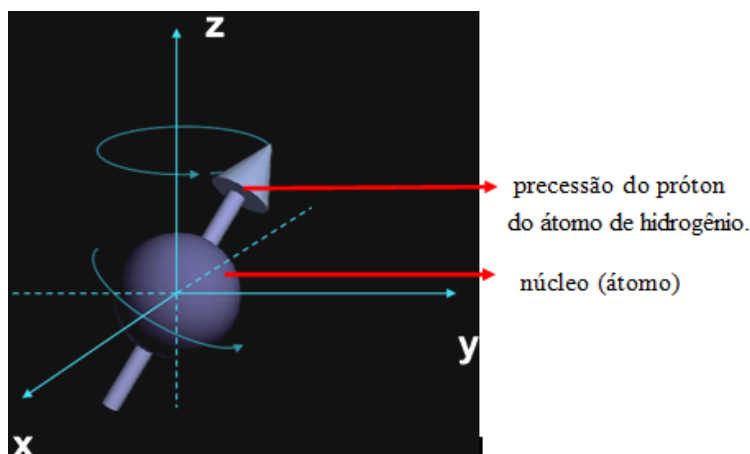


Figura 143: um núcleo (próton) de um átomo de hidrogênio em precessão sob influência de um campo magnético.
Fonte: adaptado de Mazzola (2009).

Há muitos tipos diferentes de átomos no corpo, mas para os propósitos da RMN os que mais influenciam são os átomos de hidrogênio. Esses são átomos ideais para a RMN, porque seu núcleo tem somente um próton e, por isso, possui um momentum magnético maior do que os outros elementos, pois se há mais de um próton, os momenta magnéticos tendem a se anular.

O alto momentum magnético significa que, ao ser colocado em um campo magnético, o átomo de hidrogênio a se alinhar com a direção do campo.

O aparelho de RMN usa pulsos de RF com a mesma frequência de precessão do próton do hidrogênio. Tal pulso ao encontrar o próton do átomo de hidrogênio, através de ressonância, é absorvido aumentando a energia do próton.

Geralmente, estes pulsos de RF são aplicados através de uma antena emissora e são captados através de uma antena receptora, de forma análoga ao que ocorre na emissão e captação de ondas de televisão e rádio. A antena emissora vibra com uma frequência devido a um campo eletromagnético variável. Esse campo gera ondas eletromagnéticas na frequência do rádio, que aumentam a energia dos prótons do hidrogênio, ao cessar este campo, eles retornam ao estado de equilíbrio liberando a energia absorvida na forma de ondas eletromagnéticas. Essas ondas entram em contato com a antena receptora que vibra, devido a campos magnéticos variáveis, como as vibrações são similares, ambas entram em ressonância, dessa forma a antena receptora recebe a informação.

Quanto maior a concentração de prótons de hidrogênio em um segmento estimulado, mais intenso será o sinal de ressonância, aparecendo na imagem com cores mais próximas ao branco. As imagens na RMN variam do preto ao branco, passando por escala de cinza. Se há poucos prótons de hidrogênio a imagem se aproximará da cor preta.

Até aqui, considerou-se que o campo magnético produzido pelo magneto principal possui um valor único e uniforme. Desta forma, se todo um volume de tecido, como o cérebro, for posicionado neste campo e se um pulso de RF for enviado com valor de frequência exatamente igual à frequência de precessão dos prótons de hidrogênio, todo o volume será excitado. Os prótons de hidrogênio do volume como um todo receberão energia do pulso de RF e retornarão sinal para a bobina. Este sinal contém informação de todo o tecido cerebral, mas não possibilita saber de que parte do cérebro ele provém.

Para diminuir esse problema Mazzola (2009) explica sobre a necessidade de haver outras bobinas, que são os magnetos gradientes. Segundo Garcia (2002), estes magnetos têm intensidade extremamente baixa, quando comparados ao campo magnético do magneto principal, variando a intensidade de 180 a 270 gauss ou de 18 a 27 militesla.

Os aparelhos de RMN possuem diferentes magnetos gradientes projetados para

diferentes partes do corpo: joelhos, ombros, pulsos, cabeça, pescoço e outras. Estes geralmente se adaptam ao contorno da parte do corpo que se quer produzir a imagem.

Os magnetos gradientes são organizados de tal maneira, dentro do magneto principal que, ao serem ligados alteram o campo magnético principal em um nível bem localizado. E isto significa que pode-se selecionar a área exata da qual se deseja uma imagem. Portanto, os magnetos gradientes têm a função de mudar o campo magnético na parte do corpo a ser estudada. Se eles mudam o campo local, conforme pode-se ver na equação (28), muda-se a frequência angular, assim, pode-se localizar espacialmente de onde vem o sinal emitido.

Com a introdução dos magnetos gradientes, pode-se variar linearmente, em uma dada direção, a intensidade do campo magnético, como mostra a equação (29).

$$B_z(z) = B_0 + ZG_z \quad (29)$$

Onde $B_z(z)$ é o novo valor de um campo magnético numa dada posição z .

B_0 é o campo magnético fornecido pelo magneto principal;

G_z é a intensidade do gradiente aplicado (mT/m) na direção z ;

Z é a posição do magneton gradiente ao longo do eixo z .

Chama-se as áreas que são feitas as imagens, a partir dos magnetos gradientes, de fatias (imagens em 2D). É possível fazer imagens de qualquer parte do corpo em qualquer direção e sentido, sendo uma grande vantagem sobre qualquer outro tipo de exame de imagens. Além disso, não é preciso mover o aparelho para obter uma imagem em um sentido e uma direção diferente, pois pode-se manipular onde fazer a imagem com os magnetos gradientes.

Como foi visto na seção M.3.3.1 Grupo 1: Fluoroscopia, Fluoroscopia Digital, alguns exames de imagem, tais como a fluoroscopia, usam contraste injetável em certos procedimentos, na RMN não é diferente. O que é diferente é o tipo de contraste utilizado e como ele funciona.

Os meios de contraste, utilizados na fluoroscopia e na TC, funcionam da mesma maneira porque ambos os exames usam radiação ionizante. Nestes exames os meios de contrastes funcionam dificultando ou facilitando a passagem dos fótons de Raios-X. Os contrastes possuem densidades diferentes do meio no qual eles são injetados, isto causa diferentes níveis de densidade Óptica nas imagens, tanto na fluoroscopia quanto na TC, como já foi visto na seção M.3.3.1 Grupo 1: Fluoroscopia, Fluoroscopia Digital.

Mas o contraste utilizado na RMN tem uma diferença fundamental. Ele funciona alterando o campo magnético no tecido que está sendo examinado. Isto pode ser feito, por exemplo, ingerindo água que é rica em hidrogênio, o que aumenta o contraste no estômago.

Tecido normal e cancerígeno não reagem da mesma maneira, devido à diferença na quantidade de átomos de hidrogênio entre eles e criam sinais diferentes. Eles possuem número de átomos de hidrogênio diferentes, pois os tecidos cancerígenos se reproduzem mais do que os demais tecidos, sendo assim, utilizam mais água, como a água é composta de dois átomos de hidrogênio, as células cancerígenas emitem um sinal mais intenso. Estes sinais diferentes são transferidos para as imagens, permitindo que sejam visualizados vários tipos de anomalias nos tecidos.

M.4.6.2.3 Vantagens e desvantagens da RMN

Segundo Koch, Ribeiro e Tonomura (1997) e Guimarães (2000), o fato dos aparelhos de RMN não usarem radiação ionizante é positivo, pois anula a probabilidade de ocorrer os efeitos diretos e indiretos causados pela incidência de radiação ionizante para tecidos biológicos. Tais efeitos são benéficos tanto para os pacientes como para o médico e/ou técnico que aplicam o exame.

Outro ponto positivo da RMN é sua capacidade de gerar imagens de qualquer plano, não havendo necessidade do paciente se movimentar.

Embora esse tipo de exame seja ideal para diagnosticar e avaliar vários problemas, ele tem suas desvantagens:

- há muitas pessoas que não podem fazer esse exame por questões de segurança (por exemplo, pessoas com marca-passos);
- é contra-indicado para pessoas que possuem claustrofobia;
- durante o exame, o equipamento faz barulho que é criado pelo aumento da corrente elétrica nos fios dos magnetos gradientes;
- os pacientes devem ficar completamente imóveis durante longos períodos de tempo, o que não ocorre na TC helicoidal;
- implantes metálicos, por exemplo, pinos, placas e articulações artificiais, na área onde será feito o exame causam graves distorções nas imagens, porque o material cria uma alteração significativa no campo magnético principal;
- os equipamentos de RMN são caros, o que acaba deixando os exames caros também.

Questões:

1. Observe a Figura 142 e explique a função de cada parte do equipamento de RMN, utilizando para tanto seus conhecimentos físicos.
2. Explique o porquê do nome “Ressonância Magnética Nuclear”.
3. Qual a diferença entre o contraste da RMN e dos equipamentos que usam Raios-X?
4. a) Quais são os três tipos de magnetos principais que podem ser utilizados no equipamento de RMN? b) Explique cada um deles. c) Pode-se dizer que um deles é o melhor? Justifique.
5. Quais conceitos físicos estão envolvidos na seção M.4.6.2 Texto 2: Ressonância Magnética Nuclear?
6. Há alguma palavra na seção M.4.6.2 Texto 2: Ressonância Magnética Nuclear que não foi compreendida? Se existir, escreva-a.
7. Faça um mapa conceitual com os principais pontos do estudado na seção M.4.6.2 Texto 2: Ressonância Magnética Nuclear.

M.4.6.3 Texto 3: Tomografia

Segundo Haaga (1996), tomografia significa imagem de planos. Com esse método, que utiliza Raios-X, pode-se estudar estruturas localizadas no interior do corpo, situadas em outros planos sem sobreposição. Há vários tipos de tomografias, neste material de apoio serão explicadas a Tomografia Computadorizada, a Tomografia Linear, a Tomografia por Emissão de Pósitrons e a Tomografia por Emissão de Fóton Único.

M.4.6.3.1 Histórico

Segundo Haaga (1996), a primeira vez que foi realizada uma TC foi em 1970, por Goldfrey Hounsfield. Tal cientista, por desenvolver a técnica utilizada no aparelho e Alan Cormack, por desenvolver a matemática utilizada na reconstrução de imagens na TC, receberam, em 1982, o Prêmio Nobel da Física.

M.4.6.3.2 Tomografia Computadorizada e Linear

A TC, como o próprio nome diz, é uma Tomografia realizada com o auxílio de um

computador. O método utiliza um tubo de Raios-X que emite radiações movendo-se em torno do paciente.

Segundo Bushong (2007), ao invés do filme convencional, a radiação é captada por sensores conectados ao computador, os quais codificam a informação em valores numéricos e os transformam numa escala de tons que variam do branco ao preto, passando por várias tonalidades de cinza.

Em outras palavras, a emissão de Raios-X é direcionada ao paciente, a radiação é atenuada. Tal radiação é medida por um receptor, cujos sinais são transmitidos a um ordenador, onde a imagem é formada.

Depois de analisar o sinal do receptor, o ordenador reconstrói a imagem e a mostra em um monitor. A reconstrução da anatomia no ordenador se consegue mediante equações matemáticas (algoritmos) adaptadas para processos computadorizados, que não serão explicadas aqui, por não ser o objetivo do presente material. Na Figura 144 esquematiza-se o aparelho da TC.

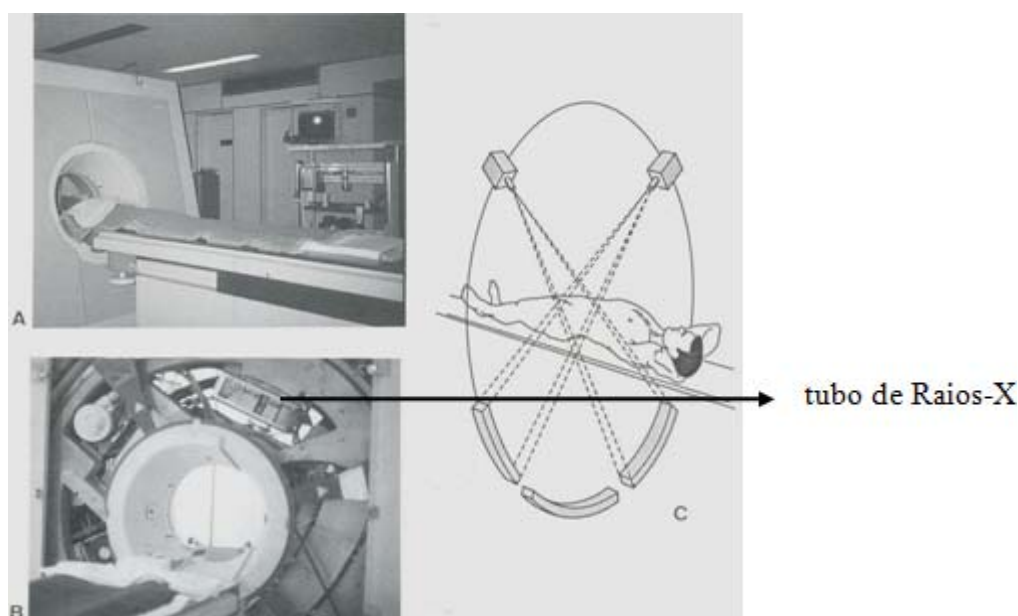


Figura 144: a) aparelho da TC; b) aparelho de TC aberto, mostrando o tubo de Raios-X; c) esquema do movimento do tubo de Raios-X na TC.

Fonte: Koch, Ribeiro e Tonomura, 1997.

Já a Tomografia Linear não utiliza computadores. Esta tomografia não é mais utilizada devido aos avanços das tecnologias atuais.

M.4.6.3.3 Funcionamento

Na radiologia convencional há o problema de que, ao estudar uma parte do corpo, por exemplo, o tórax, a imagem fica prejudicada devido, principalmente, a dois fatores: a sobreposição das estruturas anatômicas e a radiação dispersa. Segundo Bushong (2007) as tomografias podem amenizar esses problemas.

- a Tomografia convencional, linear ou axial. Neste tipo de tomografia, conforme pode-se observar na Figura 145, a imagem produzida é paralela ao paciente.

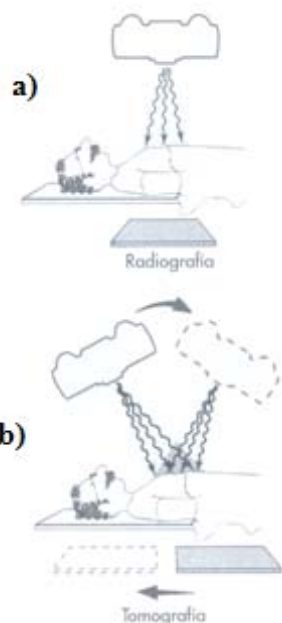


Figura 145: a) imagem radiologia; b) imagem Tomografia Linear.
Fonte: Bushong, 2007.

Esta tomografia é realizada por um aparelho, cujo gerador de Raios-X emite radiação movendo-se, simultaneamente, em direção oposta ao filme, conforme pode-se ver na Figura 145b).

Este exame permite o estudo de estruturas ou lesões no sentido longitudinal, em anteroposterior (no sentido de frente para trás), perfil (de lado) ou oblíqua (fazendo um ângulo com o paciente maior ou menor que 90°).

A Tomografia Linear vem sendo substituída pela TC porque esta possui vantagens quantitativas e qualitativas nas informações e potencializa o uso da radiação, ou seja, usando menos radiação pode-se obter imagens melhores.

- A TC produz uma imagem transversa, conforme pode-se observar na Figura 146b).

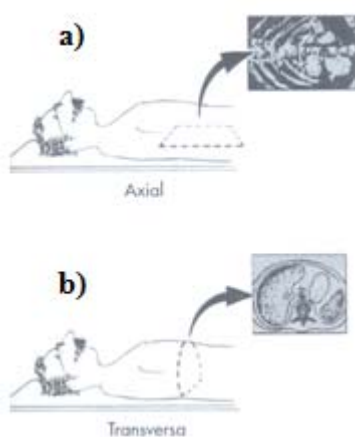


Figura 146: imagem: a) Tomografia axial; b) TC.
Fonte: Bushong, 2007.

Existem vários tipos de equipamentos de Tomografia, as mais modernas são a Tomografia de quarta geração e a Helicoidal (quinta geração), a PET e a SPECT.

Como o funcionamento de um equipamento de tomografia é complexo, inicia-se analisando os principais componentes de um equipamento de Tomografia, que são o emissor e o detector de Raios-X. Na tomografia de primeira geração há um gerador e um detector de

Raios-X, ambos se movem de forma simultânea, no mesmo sentido e direção, conforme Figura 147.

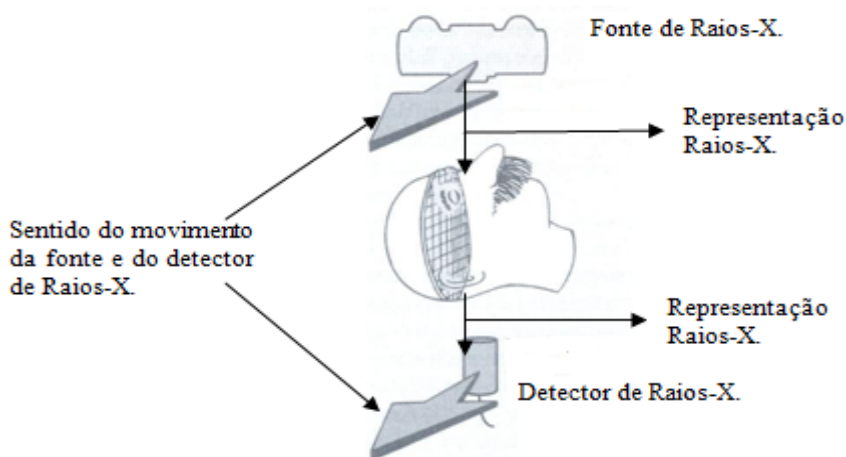


Figura 147: movimento fonte em relação ao detector.
Fonte: Adaptado de Bushong (2007).

Segundo Garcia (2002), quando a fonte e o detector realizam uma translação de 180° sobre o paciente, as partes do corpo analisadas atenuam a radiação, da mesma forma como foi visto na seção M.3.3.2 Grupo 2: formação de imagens radiográficas. A intensidade da radiação detectada varia em relação a esse padrão de atenuação e formam-se projeções.

Depois do detector e da fonte fazerem uma volta de 180° sobre o paciente, eles retornam e começam a fazer uma segunda varredura, resultando em uma segunda projeção e assim sucessivamente. Cada varredura do conjunto fonte-detector proporciona uma projeção, que representa o padrão de atenuação do corpo do paciente.

Essas várias projeções, realizadas durante o exame, são armazenadas em formato digital no computador, o qual sobrepõe cada projeção para reconstruir uma imagem das estruturas anatômicas, nas quais foi realizado o exame, através de cálculo matemático.

Entretanto, segundo Bushong (2007), hoje a TC mais utilizada é a Tomografia de quarta geração e as mais modernas são as Tomografias de quinta geração e as Tomografias da Medicina Nuclear.

Tomografia de quarta geração: nesta o gerador de Raios-X faz uma translação de 360° em torno do paciente, entretanto o conjunto de detectores é fixo, conforme pode-se ver na Figura 148.

Para que os detectores não precisem girar há a necessidade de haver vários detectores. Este tipo de tomografia, segundo Bushong (2007), contém até 4000 detectores, isso traz pontos negativos ao equipamento, pois o torna mais caro e exige maior tempo de exposição ao paciente em relação as tomografias mais modernas.

Tomografia de quinta geração: é a Tomografia helicoidal, será visto suas propriedades na seção M.4.6.4 Texto 4: Tomografia Computadorizada Helicoidal.



Figura 148: sistema de imagem de TC de quarta geração.
Fonte: Bushong, 2007.

M.4.6.3.4 Componentes do sistema³¹

Segundo Bushong (2007), há três componentes principais no aparelho da TC: o pórtico, o computador e a mesa de trabalho, conforme pode-se observar na Figura 149: a) componentes da TC; b) pórtico com suas partes.

Cada um desses componentes principais tem vários subsistemas.

Pórtico: inclui o tubo de Raios-X, os detectores, o gerador de alta voltagem, a mesa de suporte para o paciente e o suporte para cada um deles. Estes subsistemas recebem informações da mesa de trabalho e transmitem dados ao computador para a produção da imagem e o pós-processamento dela.

Tubo de Raios-X: os tubos de Raios-X utilizados na TC devem ter algumas características diferentes dos utilizados em outros exames. Os tubos devem suportar alta temperatura, até 3340°, devido à alta potência (em torno de 80 KW, dependendo do equipamento). Os tubos de Raios-X também possuem um foco pequeno em torno de 0,6 mm, variando conforme o equipamento, o que permite que a radiação seja bem focalizada na parte do corpo que se deseja examinar.

Ordenamento de detectores: os equipamentos de TC atuais possuem mais de um detector. Estes se dividem em dois tipos: detectores de cintilação e os detectores a gás.

O detector de cintilação mais utilizado são os fotodiodos, que através do efeito fotoelétrico convertem a luz em corrente elétrica. Esse detector é o menor, mais barato, não precisa de fonte de energia e possui uma eficiência alta de 90%.

Os detectores a gás são constituídos por uma câmara metálica com defletores separados em intervalos aproximados de 1 mm. Os defletores são compostos de lâminas que dividem a câmara em vários compartimentos.

Cada compartimento funciona como um detector de radiação independente, pois todo o conjunto de detectores está selado com um gás de elevado número atômico. Como o efeito fotoelétrico é diretamente proporcional a Z^3 , se no detector há um número atômico elevado (dependendo se a radiação é suficiente para ionizar o gás) haverá emissão elétrica que (se houver diferença de voltagem) gerará corrente elétrica. Assim, a radiação produzirá uma corrente elétrica proporcional a ela que poderá ser medida. A ionização do gás, em cada câmara é proporcional à radiação incidente na câmara e é detectada de forma análoga ao que ocorre nos detectores de radiação.

³¹ Este texto baseia-se em Bushong (2007).

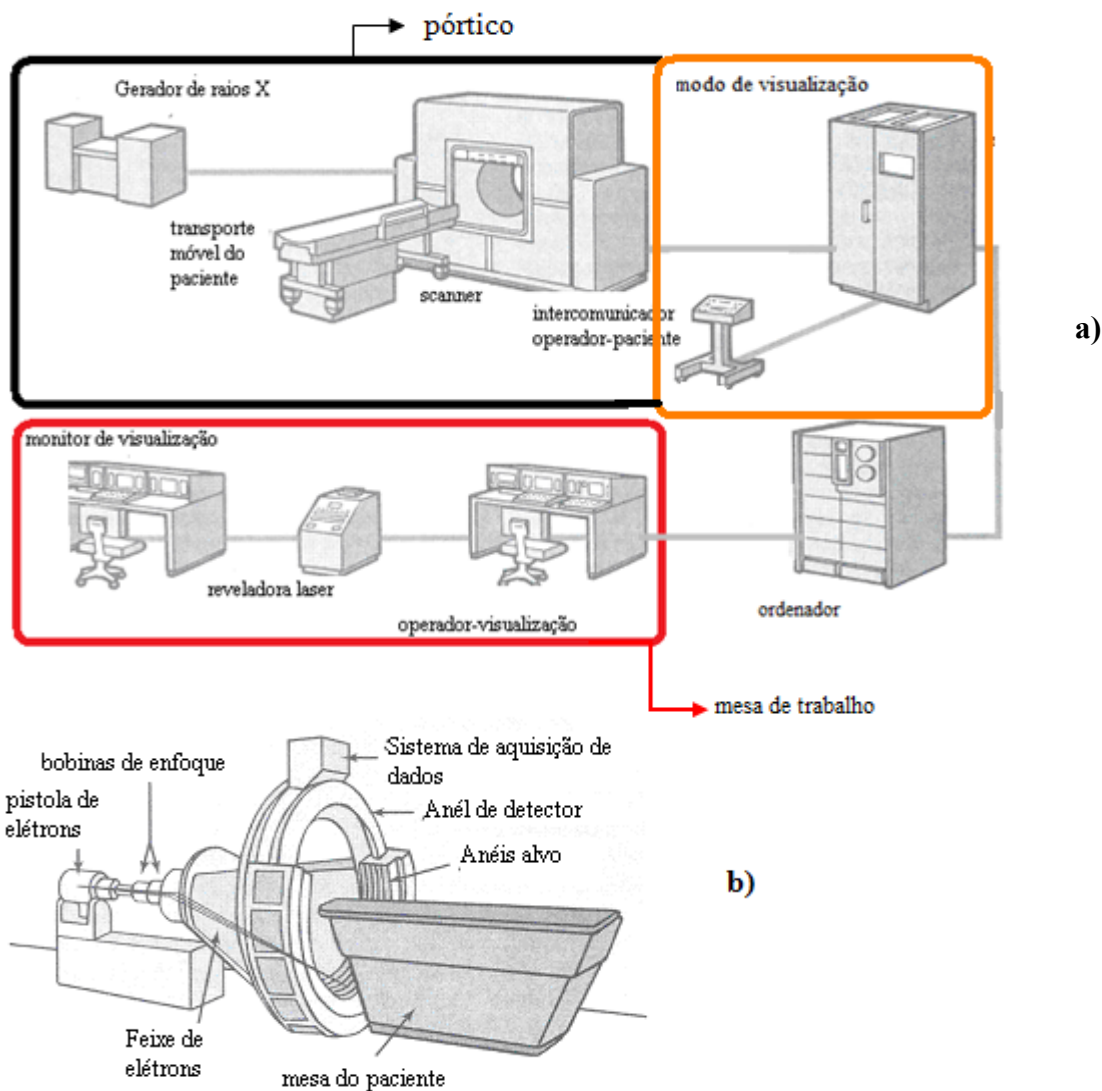


Figura 149: a) componentes da TC; b) pórtilo com suas partes.
Fonte: adaptado de Bushong, 2007.

Entretanto, os detectores a gás têm uma eficiência muito inferior em comparação aos detectores de cintilação. Nos primeiros a energia precisa ser alta (região dos Raios-X e raios gamas mais energéticos), para que se consiga ejetar elétrons do gás (ionizando-o). Nos segundos, há a produção de luz, tanto quando ejetam-se elétrons dos átomos do material que o compõe tanto quando excita-os. Os detectores a gás possuem a eficiência de apenas 45%, contribuindo para o aumento da radiação que incide sobre o paciente.

Da mesma forma que no equipamento de Raios-X convencional, a TC também possui um colimador que é útil para a redução de doses de radiação, bem como para melhorar o contraste da imagem mediante a redução da radiação dispersa.

O colimador é feito com átomos que possuem número atômico elevado, por exemplo, o chumbo. Ele impede que a radiação que vem da fonte seja espalhada, concentrando o feixe em uma região menor do paciente, que é aquela que se quer analisar, conforme pode-se observar na Figura 150.

Enquanto que na radiologia convencional existe apenas um colimador, na TC existem dois, conforme pode-se observar na Figura 150.

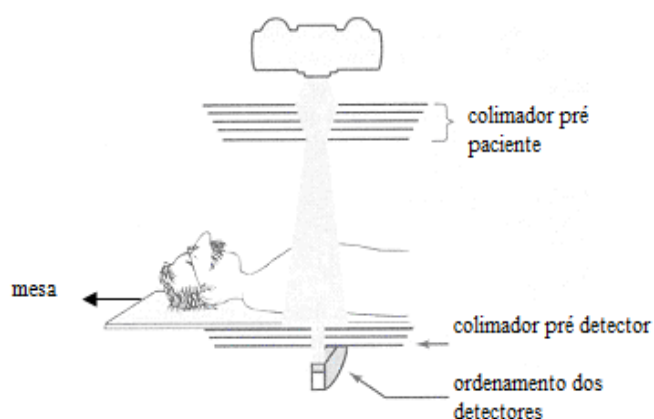


Figura 150: colimadores.
Fonte: adaptado de Bushong, 2007.

O colimador pré-paciente limita a área do paciente que intercepta os Raios-X e determina a dose ao paciente. Já o colimador pré-detector reduz a radiação dispersa, melhorando o contraste da imagem.

Gerador de alta voltagem: todos os sistemas de imagem de TC trabalham com fontes de alta frequência. Na maioria dos aparelhos de TC é instalado o gerador de alta voltagem na roda giratória do pórtico.

O número atômico dos átomos que constituem a mesa deve ser baixo para não interferir na radiação que chega ao detector. Geralmente é usado o Lítio ou o Berílio.

Ordenador: o computador deve ser capaz de um grande número de processamento, resolvendo, dependendo do exame, até 250.000 equações, necessitando, portanto, de uma grande capacidade de computação. Sua principal função é a reconstrução de imagem.

A eficiência dos exames está influenciada, principalmente, pelo tempo de reconstrução da imagem, pois se o computador é capaz de reconstruir rapidamente, com mais projeções no mesmo tempo, há menor exposição ao paciente.

Tendo em vista que a dose é diretamente proporcional ao tempo de exposição e à corrente elétrica (quanto maior é a corrente elétrica, mais fótons de Raios-X são produzidos). Se há mais fótons é mais provável que esses interajam com a matéria, podendo gerar os efeitos diretos e indiretos, tendendo a prejudicar mais o paciente. Pelo mesmo motivo, a dose é diretamente proporcional ao tempo, pois se o paciente fica exposto a mais radiação, o seu corpo fica em contato com mais fótons, havendo maior probabilidade deles interagirem com o corpo dele.

Mesa de trabalho: a TC pode utilizar de duas a três mesas de trabalho. Uma para o técnico ajustar o sistema, outra para o técnico fazer o pós-processamento da imagem, como fotografar e selecionar e a terceira mesa pode estar disponível para que o médico veja as imagens e manipule o seu contraste, o tamanho e a aparência visual geral.

A qualidade da imagem, que aparece na tela, dependerá do número de pixels que formam a imagem.

A absorção de Raios-X nos tecidos depende do coeficiente de atenuação linear, que por sua vez depende do número atômico dos átomos que constituem o tecido e da energia dos Raios-X. A quantidade de radiação que penetra no paciente também é determinada pela densidade da massa na parte do corpo estudada.

A resolução de contraste é melhor na TC do que na radiografia convencional, principalmente pela utilização do colimador pré-detector, que diminui drasticamente a radiação dispersa, pois como o colimador é feito de material que possui átomos com número atômico alto absorve a radiação espalhada, como pode-se observar na Figura 150.

Na TC pode-se utilizar meios de contraste a base de iodo, cuja densidade permite não

só dissociar vasos como demonstrar processos dinâmicos de funcionamento dos órgãos estudados.

M.4.6.3.5 Vantagens e desvantagens da TC:

Segundo Koch, Ribeiro e Tonomura (1997), Bushong (2007), Garcia (2002) e Haaga (2006) a TC apresenta as seguintes vantagens:

- possibilidade de processar imagem a qualquer momento, através de dados armazenados em discos magnéticos;
- obtenção de imagens em cortes, sem sobreposição;
- capacidade de identificar os componentes dominantes das estruturas;
- capacidade de identificar diferentes densidades.

Possui as seguintes desvantagens:

- alto custo;
- utiliza radiação ionizante.

Questões:

1. Explique o funcionamento da TC de 4^o geração.
2. Quais são as vantagens da Tomografia de 4^o geração em relação à tomografia linear? Proponha melhorias nessa Tomografia.
3. Explique a Figura 149: a) componentes da TC; b) pórtico com suas partes.
4. Faça uma tabela com as diferenças e semelhanças entre a TC, a Tomografia Linear e a Radiologia Convencional?
5. Qual a vantagem de existir um colimador pré e pós-detector?
6. Cite três vantagens e três desvantagens da TC?
7. Quais os conceitos físicos envolvidos na seção M.4.6.3 Texto 3: Tomografia?
8. Há alguma palavra na seção M.4.6.3 Texto 3: Tomografia que não foi compreendida? Se houver, escreva-a abaixo.
9. Faça um mapa conceitual com os principais pontos do estudado na seção M.4.6.3 Texto 3: Tomografia.

M.4.6.4 Texto 4: Tomografia Computadorizada Helicoidal³²

A TC Helicoidal recebeu esse nome devido ao fato do tubo de Raios-X realizar um movimento semelhante a uma espiral, de forma análoga a uma mola, conforme pode-se observar na Figura 151.

Isso facilita exames que possuem dificuldade de realização devido ao movimento de respiração, pois como são exames mais rápidos, o paciente precisa ficar pouco tempo imóvel.

O tubo de Raios-X se movimenta circularmente (Figura 152). Enquanto ocorre o exame, a cama onde está deitado o paciente vai se movendo para dentro do equipamento, conforme pode-se observar na Figura 152.

³² Texto baseado em Bushong (2007).

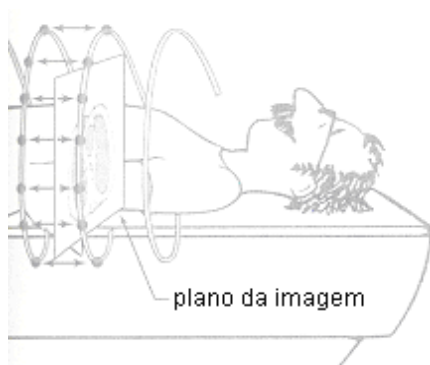


Figura 151: construção da imagem.
Fonte: Bushong, 2007.

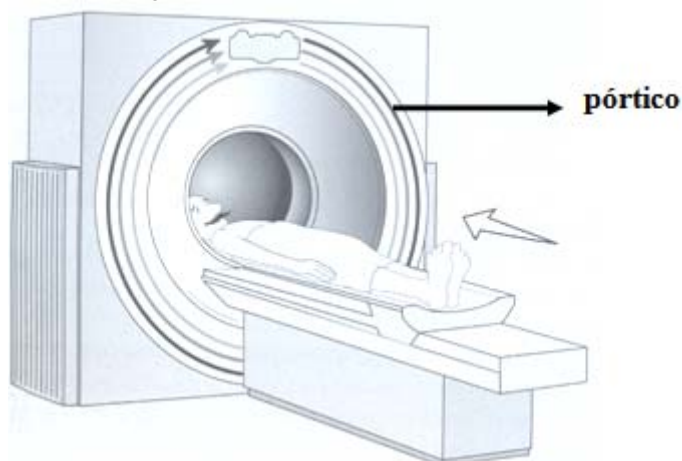


Figura 152: movimento tubo Raios-X.
Fonte: adaptado de Bushong, 2007.

M.4.6.4.1 Aquisição de imagens

A TC helicoidal é possível devido à tecnologia de anel deslizante, que são dispositivos eletromecânicos que conduzem eletricidade e sinais elétricos através de anéis e contatos eletrônicos de uma superfície rotatória a uma fixa. Também é devido a melhorias no tubo de Raios-X, na secção de alta voltagem e na matriz detectora.

Anéis deslizantes: uma das superfícies é um anel liso e a outra é um anel com contatos eletrônicos que rastreiam o sinal do anel liso. A tecnologia dos anéis deslizantes permite a rotação contínua e ininterrupta do pórtilo.

Nesse sistema de pórtilo e anéis deslizantes, a potência e os sinais elétricos se transmitem através dos anéis rugosos aos anéis lisos, eliminando a necessidade de cabos elétricos que impossibilitam a rotação contínua.

Os contatos eletrônicos que transmitem a potência aos componentes do pórtilo deslizam em sulcos de contato no anel liso que são estacionários.

Normalmente, utilizam-se três anéis deslizantes no pórtilo. Um proporciona potência de alta voltagem ao gerador de Raios-X (responsável por fornecer diferença de potencial suficiente para acelerar os elétrons que ao colidirem com o ânodo produzem Raios-X). O segundo proporciona baixa voltagem aos sistemas de controle no pórtilo rotatório (responsável por fornecer elétrons ao gerador de Raios-X e pelo movimento do pórtilo). O terceiro anel transfere dados digitais da matriz detectora rotatória. Alguns equipamentos utilizam RF para a transferência de dados.

O pórtilo, os anéis lisos e rugosos estão esquematizados na Figura 153.

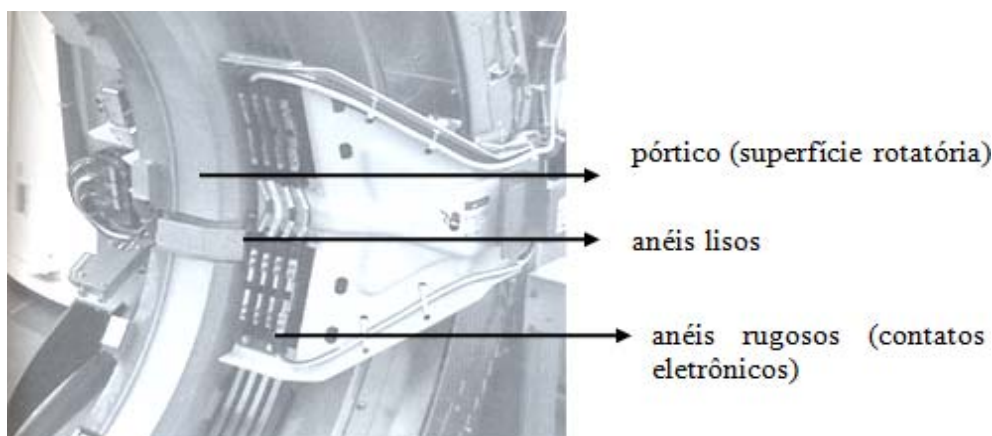


Figura 153: anéis deslizantes.
Fonte: Adaptado de Bushong, 2007.

Tubos de Raios-X: os tubos de Raios-X do equipamento de TC helicoidal fica ligada 1 segundo a cada 6 á 10 segundos e, portanto, necessitam manter níveis de potência elevados, dessa forma as altas capacidades térmicas e a potência de esfriamento são características dos tubos de Raios-X do equipamento de TC helicoidal.

A maioria dos equipamentos utiliza tubos de Raios-X com dois pontos focais (de onde é emitida a radiação). O ponto focal pequeno é usado para exames de alta resolução e o grande para estudo de partes anatômicas grandes.

Detectores de Raios-X: a eficiência da matriz detectora de Raios-X reduz a dose ao paciente, permite um tempo de análise mais rápida e melhora a qualidade da imagem.

Geração de alta voltagem: em um aparelho de TC helicoidal os dois geradores de alta voltagem devem ser ajustados a potência máxima (P), que depende de cada equipamento, pois assim, em menos tempo (t) realizarão mais trabalho (W) (lembrar que a potência é calculada por $P=W/t$).

M.4.6.4.2 Tomografia Computadorizada de múltiplos cortes (Multicortes)

Na década de 90, foi melhorada a TC helicoidal introduzindo duas matrizes detectoras, conforme pode-se observar na Figura 154. Tal TC tem, inicialmente, por objetivo produzir dois cortes helicoidais no tempo em que anteriormente se produzia uma. Por este motivo há pelo menos duas vantagens desta tomografia em relação as outras: analisar a mesma anatomia na metade do tempo ou analisar o dobro de anatomia no mesmo tempo. Esses equipamentos melhorados são chamados de TC de múltiplos cortes. Atualmente este tipo de TC pode fazer mais de dois cortes helicoidais ao mesmo tempo.

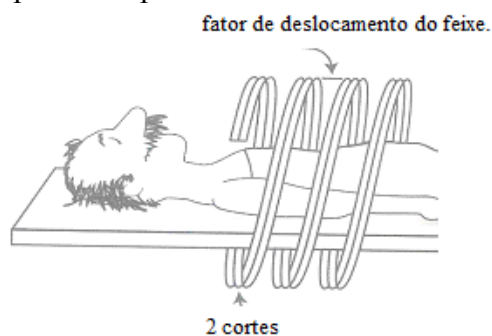


Figura 154: matrizes detectoras de dois cortes.
Fonte: Bushong, 2007.

Há duas características que diferenciam este equipamento dos demais: 1º) ao invés de possuir apenas uma matriz possui duas ou mais matrizes paralelas que contem milhares de

detectores individuais; 2º) essas matrizes com esses vários detectores exigem um computador muito rápido e de alta capacidade.

Matriz detectora de múltiplos cortes: hoje existem equipamentos que possuem matrizes detectoras que realizam até 16 cortes simultaneamente.

A matriz detectora de múltiplos cortes mais simples é aquela de quatro cortes e de espessura igual, possuindo um fator de deslocamento do feixe de dois por um. Portanto, o deslocamento da cama do paciente é o dobro da espessura do feixe de Raios-X, conforme pode-se ver na equação 30. A largura de cada matriz é de 5 mm, resultando em 4 cortes de 5 mm cada um.

$$\text{fator de deslocamento do feixe} = \left(\frac{\text{deslocamento da cama do paciente}}{\text{espessura do feixe de raios X}} \right) \quad (30)$$

O fator de movimento de rastreamento helicoidal é a relação entre o movimento da cama do paciente e a colimação do feixe de Raios-X. Um aumento no fator de movimento de 1:1 aumenta o volume do tecido que pode ser analisado, com uma dose de radiação menor ao paciente.

Essa forma de aquisição de imagem permite a combinação dos sinais detectados para produzir cortes de 1 mm e de 2 mm, conforme pode-se observar na Figura 155. Uma aquisição de imagem com um corte mais largo resulta em uma melhor resolução de contraste para o mesmo ajuste de mA, já que o sinal detectado é maior.



Matriz de quatro detectores

Figura 155: matriz de quatro detectores que permite que modifique a largura do corte.
Fonte: Bushong, 2007.

Entretanto, essa melhora na resolução de contraste vem acompanhada por uma redução da resolução espacial, devido ao aumento do tamanho do voxel (pixels em três dimensões). Contudo, pode-se analisar um volume de tecido maior com resolução de contraste original a um ajuste de mA menor, pois assim haverá menor absorção da radiação.

O fator de deslocamento do corte tem a mesma formulação que o fator de deslocamento do feixe, exceto que, no denominador, que é a espessura do corte ao invés da espessura do feixe de Raios-X, conforme figura (31).

$$\text{fator de deslocamento do corte} = \left(\frac{\text{deslocamento da cama do paciente}}{\text{espessura do corte}} \right) \quad (31)$$

O fator de deslocamento do corte tem pouca utilidade na TC helicoidal de múltiplos cortes, pois os detectores geralmente estão dentro da espessura dos feixes de Raios-X a não ser que o colimador não esteja adequadamente ajustado.

A TC helicoidal tem algumas vantagens sobre a TC convencional: a) redução da perda de definição por movimento, pois o exame é ininterrupto; b) redução do tempo de análise, portanto há menos radiação sobre o paciente e c) aumento do volume do tecido que se

pode analisar no mesmo tempo. Estas melhorias permitem que a TC tenha contraste e versatilidade compatíveis com a RMN.

Questões:

1. O que difere a TC da TC helicoidal?
2. A largura do corte de um exame de TC helicoidal de múltiplos cortes é de 0,5 mm. Se a cama do paciente avança 8 mm por volta, qual é o fator de deslocamento do corte?
3. Quais são as diferenças e semelhanças estudadas entre a TC helicoidal e a TC helicoidal de múltiplos cortes?
4. Cite três vantagens e três desvantagens da TC helicoidal?
5. Quais são os conceitos físicos envolvidos na seção M.4.6.4 Texto 4: Tomografia Computadorizada Helicoidal?
6. Há alguma palavra na seção M.4.6.4 Texto 4: Tomografia Computadorizada Helicoidal que não foi compreendida? Se houver, escreva-a abaixo.
7. Faça um mapa conceitual com os principais pontos do que foi estudado na seção M.4.6.4 Texto 4: Tomografia Computadorizada Helicoidal.

M.4.7 Atividade 6: Estudos em grupo

Síntese: divide-se a sala em grupos compostos por quatro alunos. Em cada grupo haverá uma pessoa que estudou cada um dos textos (M.4.6 Atividade 5: colagem e questões). Os integrantes dos grupos têm como objetivo dessa atividade, discutir os textos e resolver em conjunto com o seu grupo de estudo as questões, de modo que todos os aprendizes tenham todas as respostas e debatido todos os textos.

M.5. Aulas 9 e 10

M.5.1 Esquema de trabalho

Concepções alternativas: para Driver apud Filho e Jacques (2008), as conceitualizações de energia são vistas como:

- associada somente a objetos animados;
- um agente armazenado em certos objetos;
- um fluído, ingrediente ou produto;
- vinculado a força e a movimento;
- combustível;
- a conservação de energia não é vista como necessária pelos estudantes.

Organizador Prévio:

Objetivo do organizador: propiciar interação entre os conceitos novos com os já existentes na estrutura cognitiva dos alunos, buscando favorecer a aprendizagem significativa. Mais especificamente utilizar um filme http://www.youtube.com/watch?v=bTzr6Ulw_e0 que traz a ideia de colisões presentes em uma mesa de sinuca, para que sirva como base para a aprendizagem significativa de colisões nos cíclotrons.

Descrição do organizador prévio: utiliza-se um filme curto (http://www.youtube.com/watch?v=bTzr6Ulw_e0), na qual um mestre em sinuca faz várias demonstrações de jogadas possíveis.

Os alunos serão indagados quanto às semelhanças e diferenças entre as colisões existentes em uma mesa de sinuca e as existentes em um cíclotron, debatendo sobre isso.

A interação cognitiva deverá ocorrer quando os alunos perceberem as diferenças e semelhanças entre as colisões existentes em uma mesa de sinuca e as existentes no interior do

cíclotron.

Situação-problema: durante muito tempo imaginou-se que os olhos imitam radiação que incidia sobre os objetos que a refletiam e que essa radiação, segundo essa teoria, era vista pelo observador. Hoje, na PET, ocorre algo semelhante. O pósitron (antipartícula do elétron) e o elétron ao interagirem se aniquilam, transformando a massa dos dois em energia, segundo a equação de Einstein $E = m.c^2$. Se você fosse professor do Ensino Médio (EM) como você explicaria as diferenças e semelhanças entre os dois fatos narrados para seus alunos? Como você provaria que a teoria de emissão de radiação pelos olhos está incorreta?

Assunto: meia vida, radioatividade, radioisótopos, radiação gama e beta.

Conceitos: energia, massa, velocidade, conservação de energia e do momentum, raios gama, radiação beta, nêutron, próton, elétron, neutrino, força nuclear forte, força nuclear fraca, força elétrica, meia vida, radiofármacos, radioisótopos, molécula orgânica, aniquilação de pares, atividade radioativa.

Aplicação: Medicina Nuclear, PET, SPECT.

Atividades: inicialmente assiste-se ao filme “O Discreto Charme das Partículas Elementares”. Posteriormente discute-se o filme através de algumas questões. Na sequência, realiza-se uma apresentação expositivo-dialogada através de projetor multimídia, que será intercalada com simulação computacional. A seguir, há algumas questões relativas ao que foi trabalhado na aula expositiva, que serão debatidas em “mesa redonda”. Por fim, em grupos, apresentarão os painéis de todos os equipamentos fazendo, simultaneamente, uma linha histórica, explicando as partes principais, os conceitos físicos envolvidos, as suas vantagens e desvantagens, tanto para as pessoas quanto para o meio na qual elas vivem, seu histórico, de modo a fazer a reconciliação integradora proposta por Ausubel (2002).

Objetivos específicos: auxiliar os alunos a aprenderem, significativamente, sobre Medicina Nuclear, PET e SPECT a partir dos assuntos propostos para a aula, através de materiais alternativos.

Metodologias: filme: “O Discreto Charme das Partículas Elementares”, questões, debates, aula expositiva-dialogada, simulação computacional, apresentação painéis e confecção linha do tempo.

Testes para buscar indícios de aprendizagem significativa: entrega do mapa conceitual.

M.5.2 Atividade 1. Filme: “O Discreto Charme das Partículas Elementares”.

Duração: aproximadamente 40 minutos

Síntese: o filme aborda algumas partículas elementares (incluindo algumas que ainda não foram encontrados indícios experimentais da sua existência), suas características, a importância de algumas delas, o modelo padrão e a contextualização. Relata, também, brevemente sobre a teoria do Big Bang e a interação das partículas elementares.

Depois será feita uma discussão a respeito do filme e respondido as seguintes questões:

Questões:

1. O que são partículas elementares?
2. Os elétrons, os prótons e os nêutrons são as menores partículas que existem?

3. O que é LHC? Como ele funciona?
4. Quais das partículas elementares são usadas na SPECT, na PET e na braquiterapia?
5. Explique, a partir do filme e do que você sabe, a teoria do Big Bang?
6. Quais são os quatro tipos de forças existentes? Explique cada uma delas e exemplifique-as.
7. O que é modelo padrão?
8. Explique o princípio da incerteza.
9. Faça um mapa conceitual a partir do filme.

M.5.3 Atividade 2: expositiva-dialogada

Síntese: nesta atividade, a pesquisadora apresentará no projetor multimídia os seguintes assuntos: meia vida, radioatividade, radioisótopos, radiação gama e beta relacionando com as aplicações na PET e na SPECT. Essa atividade será intercalada com simulações computacionais.

M.5.4 Atividade 3: Estudos em grupo

Síntese: os alunos da sala serão divididos em três grupos. Cada um dos quais debaterão um dos textos e resolverão em conjunto as questões presentes no final dos textos, para que todos os aprendizes tenham todas as respostas e tenham debatido os textos.

M.5.4.1 Texto 1: Medicina Nuclear

M.5.4.1.1 História

De acordo com Sorenson (1987), a história da Medicina Nuclear se mescla com as descobertas da Física Nuclear no final do século XIX. Foi necessária a contribuição de várias ciências para a formação dessa tecnologia, tais como a Física, a Química, a Biologia e a Medicina.

Na década de 70, surgiu a PET e a SPECT.

M.5.4.1.2 Visão geral da Medicina Nuclear

Segundo Dimenstein (2002), a Medicina Nuclear é uma especialidade médica, utilizada para formar imagens do corpo, revelando dados sobre a anatomia e a função de órgãos, além de tratar doenças.

Nos exames de Medicina Nuclear, uma pequena quantidade de material radioativo é absorvido pelo corpo via injeção, oral ou inalação.

Segundo Machado (2006), para produzir radiações em partes específicas do corpo humano utilizam-se radiofármacos. Um radiofármaco incorpora dois componentes: um radioisótopo, partícula emissora de radiação beta, para tratamento terapêutico ou partícula emissora de radiação gama, para diagnóstico e uma molécula orgânica com fixação preferencial em determinado tecido ou órgão.

A emissão de radiação pelos elementos radioativos deve-se à instabilidade atômica. Esses elementos são chamados de radioisótopos e emitem radiação eletromagnética (gama) e/ou corpusculares (beta), como foi estudado na seção M. 1.3.7 “Tipos” de Radiação Nuclear.

Segundo Machado (2006), as moléculas orgânicas mais utilizadas são o Nitrogênio, o Oxigênio, o Flúor e o Carbono, pois:

- compreende-se bem a química orgânica;
- os átomos de O, N e C estão presentes em quase todo o corpo;
- o pósitron emitido pelo flúor possui uma baixa energia (635 keV), se comparado a maioria dos outros pósitrons. Quanto menor é a energia, menor é a distância percorrida pelo

pósitron antes de se aniquilar com o elétron, logo a incerteza entre o lugar de aniquilação é também menor.

Nos exames de Medicina Nuclear são utilizados diferentes emissores gama, aos quais são caracterizados pelo tipo de energia de emissão, constante de desintegração e a meia vida do material.

Segundo Sorenson (1987), após administrado ao paciente o material radioativo, uma câmara especial é utilizada para formar as imagens do corpo. A câmara (normalmente chamada de gama-câmara) possui detectores que captam a radiação gama emitida pelo corpo, de forma análoga aos detectores nos equipamentos de Raios-X. Na Figura 156 há uma imagem de um desses detectores.



Figura 156: detector.
Fonte: Dimenstein, 2002.

De acordo com Dimenstein (2002), essa câmara possui um sistema de colimação com múltiplos furos, um cristal de cintilação de NaI (iodeto de sódio) e um conjunto de fotomultiplicadores ligados a circuitos eletrônicos de posicionamento e energia.

Segundo Dimenstein (2002) as principais características e propriedades físicas dos detectores a base de cintilação estão na Tabela 48. Na primeira coluna há o símbolo e o nome dos materiais que formam os detectores de cintilação. Na segunda coluna há a densidade dos materiais que formam os detectores de cintilação. Na terceira coluna, há o comprimento de onda emitido pelo detector quando absorve a radiação ionizante e a transforma em mais ondas, porém com menos energia que as radiações ionizantes para tecidos biológicos, utilizados na Medicina Nuclear.

Tabela 48: características dos detectores de cintilação.
Fonte: Dimenstein, 2002.

Cintilador	(g/cm ³)	λ (nm)
NaI (iodeto de sódio)	3,67	410
BGO (Germânio bismuto).	7,13	480
BaF ₂ (fluoreto de bário).	4,89	310

Segundo Dimenstein (2002), os isótopos radioativos mostram a localização da anatomia com a emissão de partículas detectáveis ou sob a forma de Raios gama (fóton). A detecção localizada de muitos fótons de radiação gama permite formar imagens que informam sobre o estado funcional dos órgãos.

Os materiais nucleares podem ser usados para criar traçadores radioativos, que podem ser injetados na corrente sanguínea. Os materiais radioativos podem ser utilizados como traçadores, pois podem agir de duas formas: 1º) emitir radiação gama; 2º) emitir pósitron que, ao se encontrar com sua antipartícula (elétron), libera radiação gama através da aniquilação de pares.

Alguns traçadores trafegam pelo sangue, permitindo que a estrutura dos vasos sanguíneos possa ser observada. Esse método de observação permite que coágulos e outras anormalidades do sangue possam ser detectadas.

Certos órgãos concentram diferentes tipos de substâncias químicas, por exemplo, a

glândula tireóide acumula iodo, assim, a injeção de iodo ligado a um radioisótopo radioativo na corrente sanguínea, poderá revelar certos tumores da tireóide. Como os radioisótopos emitem radiação gama, os detectores fora do corpo captam essa informação, detectando onde há câncer. Como as células cancerígenas se reproduzem mais do que as demais células elas, no caso da glândula tireóide, absorvem mais iodo, havendo, desta forma mais emissão de radiação no local onde há células cancerígenas.

Segundo Sorenson (1987), os radioisótopos usados na Medicina Nuclear decaem, em questão de anos, dias, horas ou até mesmo minutos e são eliminados pela urina ou pelas fezes.

Segundo Dimenstein (2002), utiliza-se, na Medicina Nuclear, principalmente, as partículas beta e a radiação gama. Os Raios gama são detectados por um equipamento apropriado, a Câmara Gama, que será melhor aprofundado na seção M.5.4.3 Texto 3: Tomografia Computadorizada por Emissão de Fóton Único (SPECT).

M.5.4.1.3 Vantagens e desvantagens

Segundo Koch, Ribeiro e Tonomura (1997), Sorenson (1987) e Dimenstein (2002) há as seguintes vantagens e desvantagens da Medicina Nuclear:

1º) a principal limitação da Medicina Nuclear é o custo. No entanto, é impossível observar muitos processos fisiológicos sem ser por meios cirúrgicos ou através da Medicina Nuclear.

2º) a quantidade de radiação que o paciente recebe num exame de Medicina Nuclear é menor do que a radiação recebida em outros exames que utilizam radiação ionizante.

3º) a concentração de radiofármacos é tão baixa que não há perigo de interferir significativamente com os processos fisiológicos.

Há várias técnicas de diagnóstico com imagens na Medicina Nuclear. Entre essas técnicas estão:

- PET;
- SPECT;
- imagem cardiovascular;
- varredura óssea.

Todos esses métodos usam elementos radioativos nos exames. Serão vistas as características dos dois primeiros, respectivamente, nas seções M.5.4.2 Texto 2: Tomografia por Emissão de Pósitrons (PET) e M.5.4.3 Texto 3: Tomografia Computadorizada por Emissão de Fóton Único (SPECT).

Questões:

1. O que é Medicina Nuclear?
2. O que são radioisótopos?
3. Relembrando: O que é meia vida e atividade?
4. Quais são os conceitos físicos envolvidos na seção M.5.4.1 Texto 1: Medicina Nuclear?
5. Há alguma palavra na seção M.5.4.1 Texto 1: Medicina Nuclear que não foi compreendida? Se há escreva abaixo.
6. Faça um mapa conceitual com os principais pontos do que foi estudado na seção M.5.4.1 Texto 1: Medicina Nuclear.

M.5.4.2 Texto 2: Tomografia por Emissão de Pósitrons (PET)

M.5.4.2.1 História

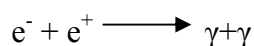
Segundo Machado (2006), o desenvolvimento da PET ocorreu a partir de 1950, quando foi feita a primeira imagem com o aparelho, desenvolvido no laboratório de pesquisas de Massachussets.

M.5.4.2.2 Exame

De acordo com Machado (2006), o exame da PET é utilizada apenas em alguns hospitais, pois é necessário um ciclotron que produza o material radioisótopo, que tem meia-vida de apenas algumas horas.

Segundo Sorenson (1987), o radioisótopo mais utilizado é o Flúor (F-18), que tem meia vida de 109,6 minutos. Esse material emite um pósitron que, como foi visto na seção M.1.3.7.2 Partículas beta (β^- , β^+), surge da transformação de um próton em nêutron o qual, numa reação de aniquilação de pares, emite dois Raios gamas em direções opostas, com energia de 0,511 MeV cada, conforme pode-se observar na equação 32.

(32)



A Figura 157 mostra um equipamento da PET.



Figura 157: aparelho que realiza o exame da PET.
Fonte: www.ipen.br.

Segundo Dimenstein (2002), utiliza-se glicose ligada a um elemento radioativo (normalmente Flúor-18) e injeta-a no paciente. As regiões que estão metabolizando mais intensamente do que as demais, tais como tumores ou regiões do cérebro em intensa atividade, aparecerão em vermelho na imagem criada pelo computador.

Um computador produz uma imagem tridimensional da área, distinguindo as intensidades de atividades das diferentes regiões do órgão analisado.

Os pósitrons são as antipartículas dos elétrons, quando ambos se encontram, ocorre a aniquilação de pares (que já foi visto na seção M.2.3.3.1 Aniquilação de pares), havendo a emissão de radiação. Os pósitrons não chegam a percorrer uma distância significativa depois de sua emissão, mas, por esse motivo, é impossível detectar diretamente onde encontram-se os radioisótopos.

Como já mencionado, a aniquilação pósitron-elétron gera dois Raios gamas com direções opostas e cuja direção e comprimento de onda podem ser convertidos na posição e energia do pósitron que os originou.

Exemplificando: se há um par de pósitron-elétron que são aniquilados, por exemplo, no córtex visual, eles emitirão radiação. Esta arrancará elétrons do detector, que serão acelerados, devido ao uma ddp, incidirão no monitor de vídeo, excitarão elétrons do material que o constitui, estes ao retornarem ao nível menos energético emitirão luz, mostrando a localização do par pósitron-elétron. Dependendo da energia do pósitron, serão produzidos

raios gama mais energéticos, como foi visto na seção M.2.3.3.1 Aniquilação de pares. Quanto maior for esta energia, mais elétrons a radiação vai extrair do detector, mais excitação haverá no monitor, tornando a imagem mais clara, identificando, dessa forma, a posição e a energia do pósitron que os originou. Há aparelhos que convertem estas diferentes intensidades nas cores do arco-íris.

Os radioisótopos, de acordo com Williams (1991), são formados incidindo nêutrons com alta energia cinética em substâncias químicas.

Na PET, detecta-se os Raios gama emitidos do local onde um pósitron, emitido do radioisótopo, colide com um elétron no tecido, conforme observa-se na Figura 158. Em a) radioisótopo instável emitindo pósitron; b) pósitron se aproximando do elétron; c) encontro do pósitron e do elétron; d) formação de dois raios gamas em direções opostas a partir da aniquilação do par pósitron-elétron.

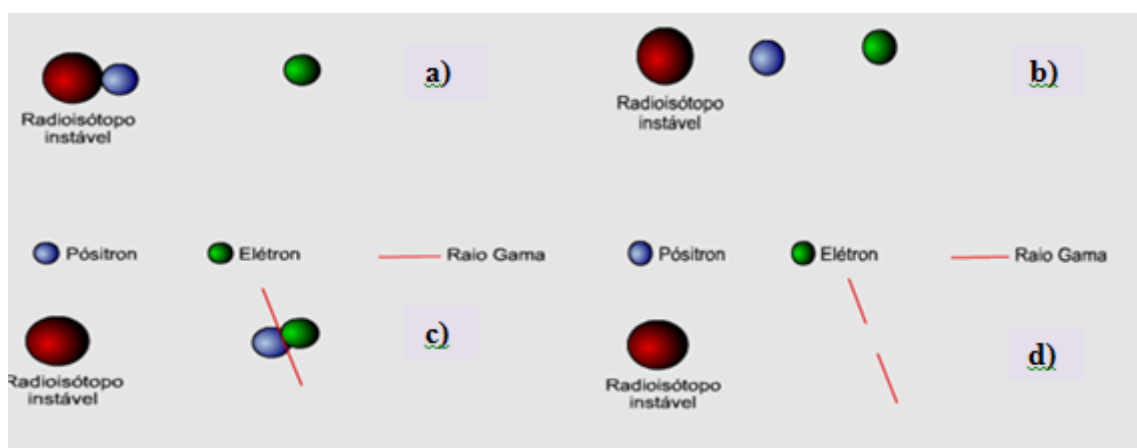


Figura 158: produção de Raios gama a partir da emissão de pósitron.

Fonte: adaptado de <http://saude.hsw.uol.com.br/Medicina-nuclear2.htm>.

A PET pode gerar imagens em 3D ou em 2D semelhante ao que ocorre na TC.

Na PET, de acordo com Dimenstein (2002), uma substância radioativa é injetada no paciente e este é colocado sobre uma mesa plana que se move gradualmente através de uma cobertura em forma de anel. Conforme pode-se ver na Figura 159, esta cobertura contém um arranjo circular de detectores de Raios gama, que possui uma série de cristais de cintilação, cada um conectado a um tubo fotomultiplicador. O funcionamento destes cristais de cintilação estão explicados na seção M.4.6.1.2. Detectores de cintilação.

Os cristais convertem os raios gamas emitidos do paciente em fótons de luz e os tubos fotomultiplicadores convertem os fótons em sinais elétricos e os amplificam. Estes sinais elétricos são processados pelo computador, que, com auxílio de algoritmos, geram imagens a partir das energias e direções de cada par de raios gama.

A mesa é então movida e o processo é repetido, gerando várias imagens da região de interesse. Essas imagens podem ser montadas em uma representação tridimensional do corpo do paciente.

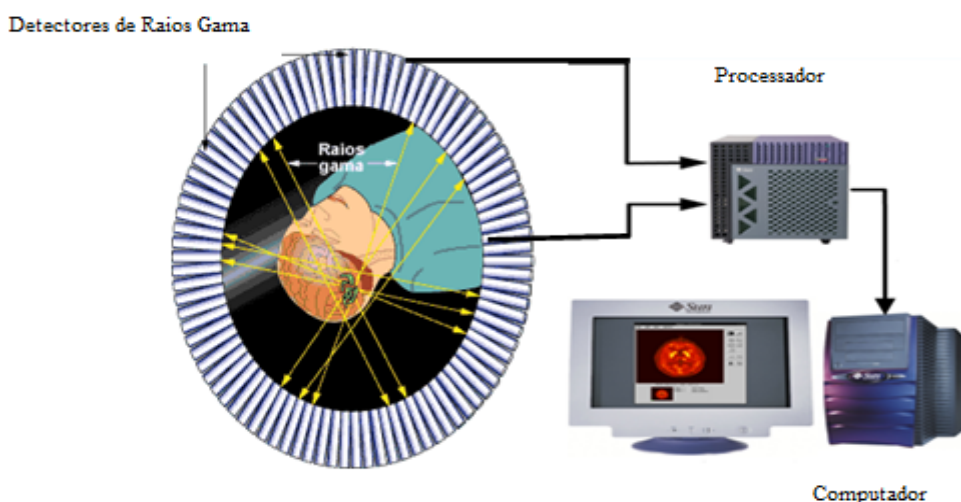


Figura 159: esquema da varredura PET.

Fonte: <http://saude.hsw.uol.com.br/Medicina-nuclear2.htm>

A PET mostra imagens dependendo do tipo de molécula que é radioativamente marcada. Por exemplo, a PET pode exibir imagens do metabolismo da glicose no cérebro, ou do iodo na tireóide.

Segundo Sorenson (1987), os PETs e TCs da mesma área são frequentemente analisados simultaneamente para correlacionar informações fisiológicas com alterações morfológicas, a esses aparelhos denomina-se de PET/CT. O equipamento sobrepõe as imagens metabólicas (PET) com as imagens anatômicas (CT), produzindo assim um terceiro tipo de imagem.

Uma das vantagens da PET é que ela mostra imagens do cérebro em atividade, fornecendo detalhes da função cerebral de áreas distintas do cérebro humano.

Questões:

1. Como ocorre a PET? Explique detalhadamente.
2. O que é PET/CT? Quais são as vantagens desse exame?

3. UFRGS (2007). O PET (Positron Emission Tomography ou Tomografia por Emissão de Póstron) é uma técnica de diagnóstico por imagens que permite mapear a atividade cerebral por meio de radiações eletromagnéticas emitidas pelo cérebro. Para a realização do exame, o paciente ingere uma solução de glicose contendo o isótopo radioativo flúor-18, que tem meia vida de 110 minutos e decai por emissão de pósitrons. Essa solução é absorvida rapidamente pelas áreas cerebrais em maior atividade. Os pósitrons emitidos pelos núcleos de flúor-18, ao encontrar elétrons das vizinhanças, provocam, por aniquilação de pares, a emissão de fótons de alta energia. Esses fótons são empregados para produzir uma imagem do cérebro em funcionamento.

Supondo que não haja eliminação da solução pelo organismo, que porcentagem da quantidade de flúor-18 ingerido ainda permanece presente no paciente 5 horas e 30 minutos após a ingestão?

- a) 0 %
- b) 12,50 %
- c) 33,33 %
- d) 66,66 %
- e) 87,50 %

4. Quais conceitos físicos estão envolvidos na seção M.5.4.2 Texto 2: Tomografia por Emissão de Póstrons (PET)?

5. Há alguma palavra na seção M.5.4.2 Texto 2: Tomografia por Emissão de Pósitrons (PET) que não foi compreendida? Se houver, escreva-a abaixo.

6. Faça um mapa conceitual com os principais pontos estudados na seção M.5.4.2 Texto 2: Tomografia por Emissão de Pósitrons (PET).

M.5.4.3 Texto 3: Tomografia Computadorizada por Emissão de Fóton Único (SPECT)

M.5.4.3.1 História

Segundo Dimenstein (2002), no final dos anos 70, foi desenvolvida a SPECT, por R. Jaszcak.

M.5.4.3.2 Exame

A SPECT é uma técnica tomográfica de imagem Médica da Medicina Nuclear que utiliza radiação gama. Na Figura 160 há uma imagem do aparelho que realiza a SPECT.

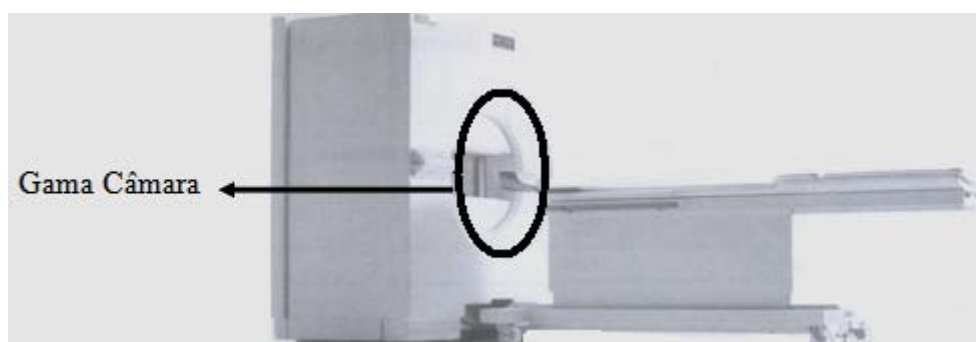


Figura 160: aparelho que realiza a SPECT.
Fonte: Dimenstein, 2002.

A SPECT é uma técnica similar à PET, mas as substâncias radioativas usadas na SPECT possuem tempos de decaimento mais longos. Segundo Cavalcante (2000), neste tipo de exame, geralmente é usado o Tecnécio que possui meia vida de 6 horas e vida média de 8h41min. Possuir um tempo de decaimento mais longo é muito útil, pois dessa forma pode-se produzir o material radioativo e armazená-lo por algum tempo. Sendo assim, não há necessidade da SPECT estar muito próximo a um acelerador, pois pode-se produzir esse material radioativo e enviar para hospitais que não possuem aceleradores.

Na PET o acelerador precisa estar mais próximo aos hospitais, pois o tempo de decaimento é inferior. O flúor-18, mais usado neste tipo de exame, possui uma meia vida de 109,6min (1h50min) e vida média de 159 min (2h39min), embora, o tempo de vida não seja fixo, podendo variar dependendo das interações.

Na PET, há a análise dos raios gamas duplos, que são produzidos pela interação de um pósitron com um elétron dos átomos que constituem o tecido que será analisado do paciente. Já na SPECT há a emissão de fótons de raios gama produzidos pelo núcleo dos radionuclídeos.

A imagem da PET é mais detalhada do que a imagem da SPECT, pois na PET são analisados raios gamas duplos ao invés de simples, fornecendo imagens mais detalhadas. Entretanto, a técnica de SPECT é menos cara que a PET. Além disso, os centros com SPECT são mais acessíveis, porque não necessitam estar tão próximos quanto a PET de um acelerador de partículas.

M.5.4.3.3 Captação da Imagem³³

O radiofármaco é injetado no paciente e interage com os tecidos do corpo, assim, a radiação é emitida. Ela é captada pelos detectores do equipamento e transformada em energia elétrica. O computador decodifica essa energia formando imagens em 2D ou 3D, estas são mostradas num monitor, analogamente a PET.

O SPECT usa a gama câmara para formar as imagens. Os componentes do sistema de detecção da gama câmara são:

- **Colimador:** os raios gama não estão se dirigindo, unicamente, em direção ao equipamento. Por isso, o colimador é usado para permitir que apenas aqueles Raios, que possuam uma certa direção, possam atingir o detector.

Quanto maior a altura dos furos, maior será o processo de seleção dos fótons (os fótons menos energéticos serão absorvidos e espalhados pelo ar através do efeito fotoelétrico e Compton, respectivamente), melhor será a resolução da imagem (como apenas os elétrons mais energéticos vão passar a imagem terá mais contraste) e pior será a sensibilidade de contagem (pois estando mais longe muitos fótons serão absorvidos pelo ar não sendo utilizado para a produção de imagens). Quanto maior o diâmetro dos furos, maior a sensibilidade de contagem e consequentemente menor a resolução.

- **Cristal:** é o receptor da radiação. A radiação, depois de colimada, atinge o cristal e interage com ele. Essa interação pode ser feita de quatro maneiras:

A Penetração Septal: os Raios Gama são emitidos em direção ao colimador, mas não paralelamente a ele, sendo assim, há uma pequena chance da radiação atingir o cristal e interagir com ele.

O Espalhamento do Objeto: os raios não são emitidos na direção dos buracos do colimador, mas são espalhados pelo corpo e passam por eles, sendo detectados. Os raios perdem energia durante o espalhamento e produzem um sinal menor no detector.

O Evento Válido: os raios gama são emitidos paralelamente aos buracos do colimador, atravessa um deles e interage fotoeletricamente com o cristal, depositando toda a sua energia em apenas um local. Essa interação é a melhor das quatro, pois todo fóton incidente é convertido totalmente em energia elétrica.

A Detecção de Espalhamento: os raios gama são emitidos paralelamente aos buracos do colimador, atravessa um deles e interage por espalhamento Compton com o cristal. Os Raios espalhados podem interagir uma segunda vez com o detector. Para a imagem, essa segunda interação é maléfica, pois causa a perda da nitidez.

- **Fotomultiplicadores:** multiplicam o sinal produzido pela luz incidente, em torno de 100 milhões de vezes, possibilitando que um único fóton seja detectado quando há pouca incidência de radiação. Depois de ser arrancado elétrons das células fotoelétricas é passado esses elétrons por um transdutor onde é amplificado a corrente elétrica, esta é processada pelo computador. Estudou-se os fotomultiplicadores na seção M.3.3.1 Grupo 1: Fluoroscopia, Fluoroscopia Digital.

M.5.4.3.4 Imagem

Para capturar a imagem de SPECT, a Gama Câmara é rotacionada em volta do paciente. São capturadas múltiplas imagens bidimensionais (2D) do corpo.

Na maioria dos casos é dada uma rotação de 360 graus com a gama câmara para obter a otimização na reconstrução.

Os equipamentos mais modernos têm mais de um detector. Quanto mais detectores o equipamento tiver, maior será a área que ele captará a radiação simultaneamente. O que resultará num menor tempo total de exame.

³³ Texto baseado em Dimenstein (2002).

A resolução da imagem depende principalmente dos seguintes fatores:

- *da energia*: se a energia for muito baixa, há uma maior probabilidade da radiação ser absorvida por efeito fotoelétrico, dessa forma menos radiação atravessa o paciente e, portanto menos radiação é usada para produzir a imagem o que prejudica a formação dela;

- *da eficiência de coleta*: quanto mais o detector absorver radiação ionizante ejetando, a partir dela, elétrons, mais eficiente é a coleta.

- *da distância*: a distância da fonte ao detector está ligada diretamente à eficiência de coleta. Quanto menor a distância, maior a eficiência de coleta. É por isso que, no momento do exame, os detectores do equipamento são aproximados do paciente.

- *do tipo de buraco do colimador*: cada tipo de buraco tem o seu campo de captação. O colimador de furos paralelos capta radiação de uma área exatamente do tamanho da sua. O colimador de furos convergentes capta radiação de uma área menor do que a dele. E o colimador divergente capta radiação de uma área maior do que a dele.

A reconstrução tomográfica consiste em extrair informações a partir de projeções em vários ângulos ao redor do paciente. No caso da SPECT, o objetivo da reconstrução é encontrar a distribuição de radioisótopos depositados no órgão de estudo. Primeiro, são reconstruídos cortes desse volume e depois eles são empilhados, de forma que o resultado seja dado em 3D.

No mapeamento através da PET e da SPECT, a cor preta significa atividade nula, ou seja, que não está sendo emitido radiação gama, enquanto o branco significa o nível mais alto de atividade, ou seja, que está sendo emitido radiação gama.

Os equipamentos modernos convertem as várias tonalidades do cinza em tons das cores do arco-íris, sendo que o vermelho representa a contagem mais alta, seguido do amarelo, depois do verde, e assim por diante. Azul, violeta e preto representam os níveis mais baixos de atividade, na ordem apresentada.

M.5.4.3.5. Vantagens e desvantagens

Segundo Dimenstein (2000), Sorenson (1987), Koch, Ribeiro e Tonomura (1997) e Garcia (2002) uma série de fatores pode afetar a qualidade das imagens da Medicina Nuclear. Algumas estão relacionadas ao desempenho do processo cintilográfico (transformação da radiação gama em luz) e ao desempenho do detector, dos colimadores e dos circuitos elétricos, outras se referem ao decaimento radioativo. Outras limitações que contribuem para a perda de sinal são a distância da fonte ao detector, a atenuação do sinal pelo paciente, o espalhamento da radiação, etc. Essas limitações estão relacionadas com o sistema de cintilação, pois os detectores não possuem rendimento de 100%, ou seja, ele não capta toda a informação como foi visto na seção M.4.6.1.2. Detectores de cintilação. Para diminuir tais limitações pode-se, por exemplo, manter a distância do paciente ao detector a mínima possível e ajustar o colimador.

Pode-se diferenciar a TC, a RMN, a PET e a SPECT em relação à fonte. Para a produção de imagens a TC utiliza como fonte os Raios-X, a RMN utiliza como fonte um campo magnético e a PET e a SPECT utilizam como fonte os radioisótopos. Entretanto, na PET há emissão de pósitrons seguido da emissão de dois raios gama e na SPECT o radioisótopo emite diretamente um raio gama.

Questões:

1. Explique o nome SPECT.
2. Como ocorre o exame da SPECT? Explique detalhadamente.
3. Quais são os componentes do sistema de detecção da gama câmara? Explique cada um deles.

4. Cite duas vantagens e desvantagens da SPECT em relação a TC.
5. Faça um quadro comparativo entre RMN, TC, PET e SPECT.
6. Quais são os conceitos físicos envolvidos na seção M.5.4.3 Texto 3: Tomografia Computadorizada por Emissão de Fóton Único (SPECT)?
7. Há alguma palavra na seção M.5.4.3 Texto 3: Tomografia Computadorizada por Emissão de Fóton Único (SPECT) que não foi compreendida? Se há escreva abaixo.
8. Faça um mapa conceitual com os principais pontos do estudado na seção M.5.4.3 Texto 3: Tomografia Computadorizada por Emissão de Fóton Único (SPECT).

M.5.5 Atividade 4: Mesa redonda

Síntese: em conjunto todos os alunos deverão debater os assuntos e os resultados encontrados nas questões contidas no final dos textos das seções M.5.4.1 Texto 1: Medicina Nuclear, M.5.4.2 Texto 2: Tomografia por Emissão de Pósitrons (PET) e M.5.4.3 Texto 3: Tomografia Computadorizada por Emissão de Fóton Único (SPECT).

M.5.6 Atividade 5: Apresentação das colagens

Síntese: os alunos serão divididos em dez grupos, cada um receberá uma imagem de um equipamento com as partes estudadas. Eles deverão apresentar sobre o equipamento que escolheram, estabelecendo, simultaneamente, uma linha histórica, utilizando várias ferramentas como os mapas conceituais. Explicarão as partes principais, os conceitos físicos envolvidos, as suas vantagens e desvantagens, tanto para as pessoas quanto para o meio no qual os equipamentos estão inseridos, apresentado o histórico deles, de modo a fazer a reconciliação integradora proposta por Ausubel (2002). Cada grupo colará em um cartaz as imagens dos equipamentos em um ordem cronológica.

As apresentações versarão sobre: Medicina Nuclear: PET e SPECT; Radioterapia (teleterapia, braquiterapia); Ressonância Magnética Nuclear; Ultrassonografia; Tomografia; Fluoroscopia; Mamógrafo; Equipamento de Raios-X; Detectores de Radiação; Formadores de Imagem Radiológica.

APÊNDICE N- CD com material exposto em aula

APÊNDICE O –Algumas fichas

Mímica Corrente elétrica	Mímica Resistência elétrica	Mímica Campo magnético	Mímica Condutores
Como funciona? Uma campainha	Como funciona? Um eletroímã	Como funciona? transformador	Como funciona? Um telefone
Perguntas- Magnetismo O que aconteceria se a Terra parasse de girar?	Perguntas- Magnetismo Explique por que em um tabuleiro todas as peças são atraídas por ele.	Perguntas- Magnetismo O tabuleiro tem alguma carga elétrica? Explique.	Perguntas- Magnetismo O que é eletrização por indução?
Perguntas- Eletromagnetismo O que é Eletromagnetismo?	Perguntas- Eletricidade O que é eletricidade?	Perguntas- Eletromagnetismo O que é amperímetro?	Perguntas- Eletromagnetismo Como pode-se explicar o transformador a partir das leis do magnetismo?
Perguntas: Física Moderna. O que é fissão nuclear? E qual a sua importância?	Perguntas: Física Moderna. Seria possível um ET, semelhante a nós, de antimatéria? Você poderia abraçá-lo?	Perguntas: Física Moderna. Você acha que as teorias se originam das experiências ou que as teorias originam as experiências, ou nenhuma das duas opções? Justifique sua resposta	Perguntas: Física Moderna. Quais são alguns estudos atuais dessa área da Física?
Contas Há em nossa residência uma voltagem de 220 V. Qual deve ser a corrente elétrica, para não estragar um equipamento que possui uma resistência de 20 Ω ?	Contas Há um equipamento que possui: 1) uma voltagem de 10 V, uma corrente elétrica de 2 A; 2) uma voltagem de 20V e uma corrente elétrica é 4 A. a) O sistema é Ôhmico? Justifique. b) Faça o gráfico.	Contas Há um circuito com as seguintes resistências: R1= 2 ohms, R2= 6 ohms e R3= 4 ohms. Calcule a resistência equivalente se a associação estiver em: a) série. b) paralelo.	Contas Duas resistências R1= 2 ohms e R2= 3 ohms estão ligadas em paralelo a uma bateria de 12 V. Calcule: a) a resistência equivalente da associação; b) a corrente i_1 e i_2 ; c) a corrente total do circuito.
Cientistas: Benjamin Franklin	Cientistas: Hans C. Oersted	Cientistas: Otto Von Guericke	Cientistas: Joseph Priestley

APÊNDICE P – Tabuleiro

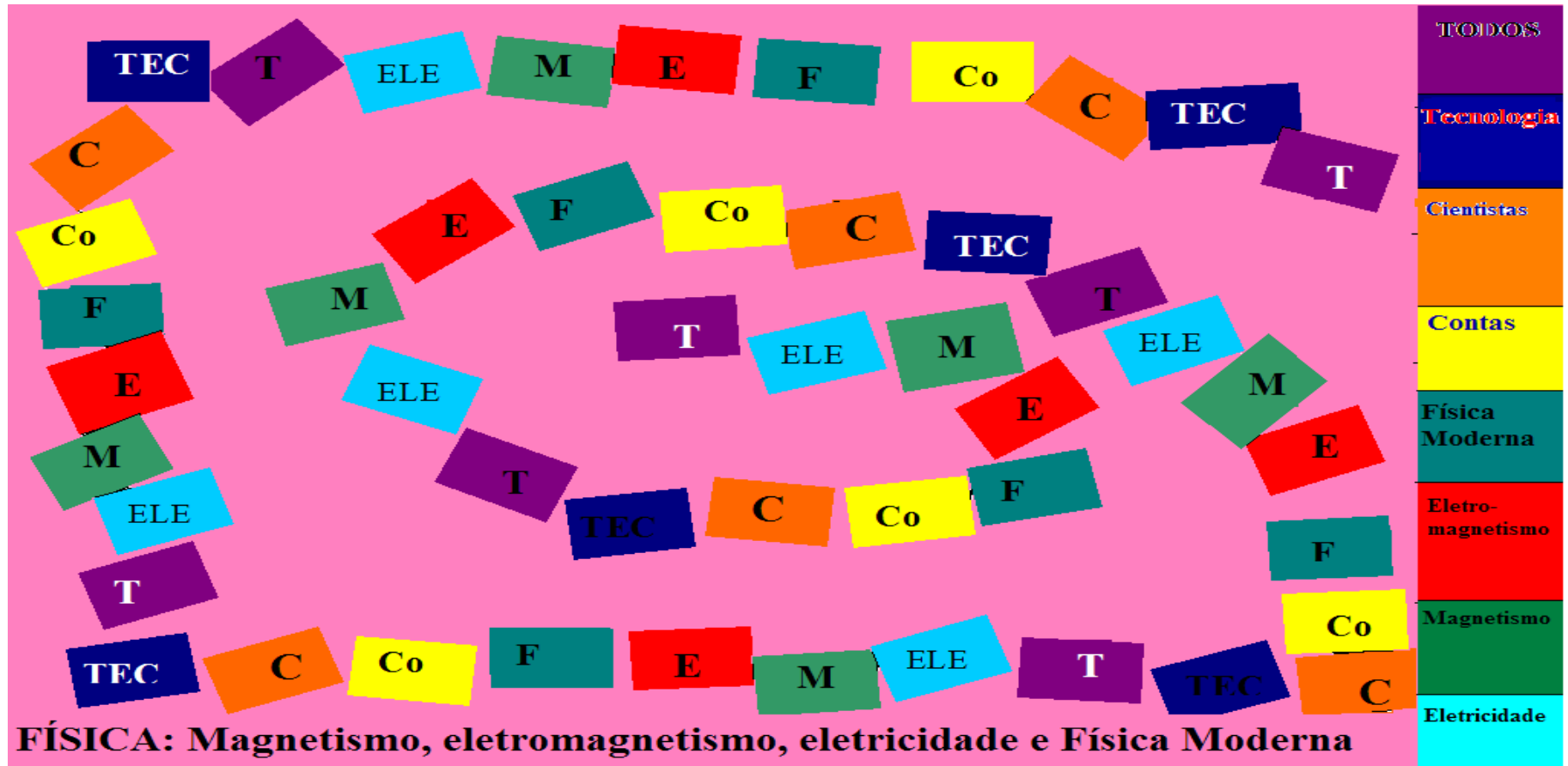


Figura 161: tabuleiro.

ANEXOS

ANEXO A - Critérios para avaliar os V construídos pelos estudantes³⁴

Quanto maior o score, mais completo/correto é a parte do V. Total de 20 pontos.

QUESTÃO-FOCO

0 - Nenhuma questão-foco é identificada.

1 - Uma questão é identificada, mas não se focaliza sobre os objetos ou o evento principal ou o lado conceitual do V.

2 - Uma questão-foco é identificada; inclui conceitos, mas não enfoca objetos ou o evento principal, OU evento e objetos errados são identificados ao restante da atividade de laboratório.

3 - Uma questão-foco clara é identificada; inclui conceitos adequados e aborda o evento principal e os objetos correlacionados.

OBJETO/EVENTO

0 - Nenhum evento ou objeto é identificado.

1 - O evento principal OU os objetos são identificados e são consistentes com a questão-foco, ou um evento E objetos são identificados, mas são inconsistentes com a questão-foco.

2 - O evento principal e os objetos relacionados são identificados, e são consistentes com a questão-foco.

3 - O mesmo que acima, mas também sugere que registros foram feitos.

PRINCÍPIOS E CONCEITOS

0 - Nenhum lado conceitual é identificado.

1 - Uns poucos conceitos são identificados, mas sem princípios ou teorias, ou um princípio escrito é a asserção de conhecimento pretendida na atividade de laboratório.

2 - Conceitos e ao menos um tipo de princípio (conceitual ou metodológico) ou conceitos e uma teoria relevante é identificada.

3 - Conceitos e dois tipos de princípios são identificados, OU conceitos, um tipo de princípio, e uma teoria relevante é identificada.

4 - Conceitos, dois tipos de princípios, e uma teoria relevante são identificados. 283

REGISTROS/TRANSFORMAÇÕES

0 - Nenhum registro ou transformação é identificado.

1 - Registros são identificados, mas são inconsistentes com a questão-foco ou o evento principal.

2 - Registros ou transformações são identificados, mas não ambos.

3 - Registros são identificados com o evento principal; transformações são inconsistentes com a intenção da questão-foco.

4 - Registros são identificados com o evento principal; transformações são consistentes com a questão-foco e o nível e habilidade do estudante.

ASSERÇÃO DE CONHECIMENTO

0 - Nenhuma asserção de conhecimento é identificada.

1 - Uma asserção que é não-relacionada com o lado esquerdo do V.

2 - Uma asserção de conhecimento que inclui um conceito usado num contexto impróprio, ou qualquer generalização que é inconsistente com os registros e transformações.

3 - Uma asserção de conhecimento que inclui os conceitos da questão-foco e é derivada dos registros e transformações.

4 - O mesmo que acima, mas a asserção de conhecimento leva a uma nova questão-foco.

³⁴Gurley-Dilger (1992 apud CAPPELLETTO, 2009, p.126).

NOVA QUESTÃO-FOCO

0 - Nenhuma nova questão-foco é dada.

1 - Uma nova questão-foco consistente com a asserção de conhecimento é identificada.

ASSERÇÃO DE VALOR

0 - Nenhuma asserção de valor é dada.

1 - Uma asserção consistente com a importância da pesquisa, descrevendo a utilidade da asserção de conhecimento, justificando um esforço científico puro ou aplicado.

ANEXO B - Valores críticos da razão t de student

Tabela 49: valores críticos da razão t de student.

Fonte: SILVEIRA, Fernando Lang da. Determinando a Significância Estatística para as diferenças entre as médias. Texto de apoio. Disponível em: http://www.if.ufrgs.br/~lang/Textos/Comparacoes_em_media.pdf. Acesso: 17 de outubro de 2010.

g.l.	ns = 0,10	ns = 0,05	ns = 0,01
1	6,31	12,71	63,66
2	2,92	4,30	9,92
3	2,35	3,18	5,84
4	2,13	2,78	4,60
5	2,02	2,57	4,03
6	1,94	2,45	3,71
7	1,89	2,36	3,50
8	1,86	2,31	3,36
9	1,83	2,26	3,25
10	1,81	2,23	3,17
11	1,80	2,2	3,11
12	1,78	2,18	3,05
13	1,77	2,16	3,01
14	1,76	2,14	2,98
15	1,75	2,13	2,95
16	1,75	2,12	2,92
17	1,74	2,11	2,90
18	1,73	2,10	2,88
19	1,73	2,09	2,86
20	1,72	2,09	2,85
21	1,72	2,08	2,83
22	1,72	2,07	2,82
23	1,71	2,07	2,81
24	1,71	2,06	2,80
25	1,71	2,06	2,79
26	1,71	2,06	2,78
27	1,70	2,05	2,77
28	1,70	2,05	2,76
29	1,70	2,05	2,76
30	1,70	2,04	2,75
35	1,69	2,03	2,72
40	1,68	2,02	2,70
50	1,68	2,01	2,68
60	1,67	2,00	2,66
70	1,67	1,99	2,65
100	1,66	1,98	2,63
∞	1,65	1,96	2,58