

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE FÍSICA

Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física

**A FÍSICA DOS EQUIPAMENTOS UTILIZADOS EM
ELETROTHERMOTERAPIA: UMA PROPOSTA PARA O ENSINO DA
BIOFÍSICA**

Alexandre Novicki

Porto Alegre 2011

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE FÍSICA

Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física

Mestrado Profissional de Ensino de Física

**A FÍSICA DOS EQUIPAMENTOS UTILIZADOS EM
ELETROTHERMOTERAPIA: UMA PROPOSTA PARA O ENSINO DA
BIOFÍSICA**

Alexandre Novicki

Dissertação 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 para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadora: Sandra Denise Prado

Porto Alegre 2011

Dedico este trabalho a minha esposa Sandra e ao
meu pequeno e alegre filho Guilherme.

AGRADECIMENTOS

Agradeço

à professora Sandra, pelo auxílio e incentivo durante a realização do trabalho;

à minha esposa Sandra, pela compreensão e auxílio nos momentos difíceis;

ao meu filho Guilherme, exemplo de alegria e descontração pela companhia constante durante a realização das tarefas e estudos;

aos meus colegas Rodrigo, Elder e Galileu pela companhia e troca de experiências durante a realização do mestrado;

à coordenadora do curso de Fisioterapia professora Lisandra Carrilho, pela confiança e auxílio;

aos alunos de Fisioterapia do IESA 2011, pela dedicação às aulas e participação.

Resumo

Nesse trabalho, apresentamos o desenvolvimento de uma proposta para o ensino da disciplina de Biofísica para o Curso de Fisioterapia, tendo como instrumento motivador os aparelhos operados em Eletrotermofototerapia, como o Laser e o Ultrassom, por exemplo, e como base, os princípios físicos que permitem o uso e operação destes aparelhos. A proposta de se rever o processo ensino/aprendizagem da disciplina de Biofísica foi motivada pela constatação de que nossos alunos, em geral, não demonstram muito interesse pela disciplina, muito embora, seja nessa disciplina que se tem a possibilidade de trabalhar os conceitos de Física envolvidos nos fenômenos físicos de interação dos aparelhos com tecidos vivos. Em suma, a questão principal que norteia o desenvolvimento deste trabalho pode ser assim apresentada: *A utilização de conceitos de Física que permitem o uso e operação dos aparelhos utilizados em eletrotermofototerapia pode contribuir com o processo de ensino e aprendizagem da Biofísica para fisioterapeutas?*

Para responder essa questão, trabalhamos na elaboração e utilização de um material didático em formato de mídia digital, no qual apresentamos os textos de apoio e as atividades exploratórias de objetos virtuais de aprendizagem. A experiência relatada nesta dissertação mostra que os conceitos físicos, quando trabalhados com o auxílio de práticas e equipamentos utilizados em fisioterapia, podem levar o aluno a perceber a importância da Biofísica para essa atividade profissional.

O projeto desta dissertação foi desenvolvido no primeiro semestre de 2011, em duas turmas de 40 alunos cada, do 1º semestre do curso de Fisioterapia do IESA - Instituto Cenecista de Ensino Superior de Santo Ângelo-RS. Vale ainda ressaltar que os textos de apoio e as atividades exploratórias de simulações virtuais aqui apresentadas, poderão vir a auxiliar outros professores que atuam na disciplina de Biofísica para Fisioterapia e que trabalhem com a prerrogativa de ensinar Biofísica, indo além do que se costuma rotular como “mais uma aula tradicional de Física”.

Abstract

This work is about the development of an idea of teaching Biophysics for undergraduate Physiotherapy Courses, based on the utilization of electrothermophotherapy equipments together with the physical phenomenon that explains their process of interaction with lively tissues, as motivational instruments to teach this discipline. The purpose of a revision in the teaching/learning techniques was motivated by the fact that, in general, students do not show themselves very stimulated or interested in Biophysics. In brief, the main question addressed here can be put in the following way: *Can the fundamental physics concepts that allow the utilization of electrothermophotherapy equipments together with the equipments contribute to the teaching-learning process of Biophysics for future physiotheraphists?*

In order to answer this question, we have elaborated a digital midia that contains didactic texts and tutorials for activities with virtual simulations. Our experience related in this dissertation shows that physical concepts allied to the exposition of operational equipments involved in physiotherapy practices can lead the student to realize the importance of this discipline in his professional activity.

The project was developed in the first semester of primeiro 2011, in two groups of 40 students each, in the first semester of the Undergraduate Course of Physiotherapy of IESA - Instituto Cenecista de Ensino Superior de Santo Ângelo-RS. It is worth to emphasize that these didactic texts and tutorials for virtual simulations can be used by other professionals whose main concern is the teaching of biophysics for physiotherapists without giving what could be rougly said: “another traditional class of physics”.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. O PROJETO E SEU DESENVOLVIMENTO	14
2.1 ESPECIFICIDADES DO PROJETO	14
2.2 REFERENCIAIS TEÓRICOS QUE FUNDAMENTAM A PROPOSTA DO PROJETO	15
2.3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	19
3. RESPOSTAS DOS PRÉ E PÓS-TESTES SELECIONADOS	32
4. AVALIAÇÃO E RESPOSTAS DOS PRÉ E PÓS-TESTES SELECIONADOS	40
4.1 AVALIAÇÃO SEMESTRAL DO DESEMPENHO DOS ALUNOS NA BIOFÍSICA	40
4.2 AVALIAÇÃO QUALITATIVA DAS RESPOSTAS DOS PRÉ E PÓS-TESTES.	41
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
REFERÊNCIAS	49
APÊNDICE I – EMENTA DA BIOFÍSICA	52
ANEXO A – PRÉ-TESTE E PÓS-TESTE	54
ANEXO B – ATIVIDADE (APPLET SOBRE ESTADOS FÍSICOS)	56
ANEXO C – TEXTO DE APOIO (ENERGIA, TEMPERATURA E CALOR)	57
ANEXO D – ATIVIDADE (APPLET SOBRE ONDAS)	69
ANEXO E – TEXTO DE APOIO (ONDAS)	70
ANEXO F - INFRAVERMELHO	86
ANEXO G - LASER	89
ANEXO H – ATIVIDADE (APPLET SOBRE ULTRASSOM)	94
ANEXO I -ULTRASSOM	95
ANEXO J – ATIVIDADE (APPLET SOBRE CORRENTE ELÉTRICA)	101
ANEXO K - TEXTO DE APOIO (ELETRICIDADE)	102
ANEXO L – CORRENTE RUSSA E FES	113
ANEXO M – TENS E CORRENTE INTERFERENCIAL	115

1. INTRODUÇÃO

Na nossa experiência, como professor do Instituto Cenecista de Ensino Superior de Santo Ângelo – IESA, na disciplina de Biofísica do curso de Fisioterapia, observamos que a Biofísica se mostra como uma das disciplinas muito questionadas pelos estudantes que, em geral, não demonstram muito interesse ou motivação pelos conteúdos abordados. É bem possível que essa situação seja justificada tanto pelos assuntos abordados, quanto pela metodologia utilizada em sala de aula.

O aluno que ingressa no curso de Fisioterapia do IESA é oriundo de uma vasta região no entorno de Santo Ângelo. Na Tabela 1 mostramos o total de alunos concluintes do ensino médio da região de abrangência do IESA, conforme a cidade e a rede de ensino. A região de abrangência do IESA caracteriza-se por uma atividade essencialmente agropecuária, sendo o aluno, em sua grande maioria, proveniente da rede pública de ensino. Normalmente, observa-se que o aluno que ingressa no nosso curso não possui interesse em Matemática e/ou em Física, tanto que muitas vezes afirma ter escolhido Fisioterapia por não gostar da área das exatas.

Tabela 1: Total de alunos concluintes do Ensino Médio na área de abrangência do IESA, conforme a cidade e a rede de ensino.

CIDADES	PÚBLICO	PARTICULAR
Alecrim	318	-
Bossoroca	290	-
Caibaté	255	-
Campina das Missões	270	-
Candido Godói	346	-
Cerro Largo	514	125
XVI de Novembro	178	-
Entre Ijuís	358	-
Eugênio de Castro	112	-
Giruá	818	55
Guarani das Missões	546	117
Horizontina	486	490
Ijuí	3.312	550
Pirapó	156	-
Porto Lucena	205	-
Porto Mauá	89	-
Porto Xavier	557	-
Roque Gonzáles	226	-
Santa Rosa	2.917	657
Santo Ângelo	2.685	540
Santo Antônio das Missões	486	-
São Borja	2.750	118
São Luiz Gonzaga	1.629	73
São Miguel das Missões	283	-
São Paulo das Missões	256	-
São Pedro do Butiá	136	-
Vitória das Missões	131	-
Total de Alunos na Região	20.309	2.725
Total Geral	23.034	

Fonte: IBGE, RGS, 2007

O curso de Fisioterapia do Instituto Cenecista de Ensino Superior de Santo Ângelo está organizado no turno vespertino/noturno, com um total de quatro anos ou oito períodos, com carga horária total de 4040 horas/aula. Desse modo, considerando-se as necessidades do curso e as características da clientela, o primeiro obstáculo com que um professor se depara é com a grande quantidade de tópicos a serem abordados, em um tempo relativamente escasso, para um público que demanda atenção redobrada.

Vale ressaltar que trabalhamos em um curso de turno noturno e a disciplina de Biofísica é ofertada no primeiro semestre do curso com 72 horas-aula.

Por outro lado, temos ciência de que a Biofísica é uma disciplina importante no currículo da Fisioterapia, pois se constitui no único momento, no decorrer do curso, em que o aluno poderá apropriar-se de competências que vão além da simples utilização dos equipamentos de Eletrotermofototerapia. Ao final do curso de Fisioterapia, um aluno estará apto a operar esses aparelhos dominando as técnicas de utilização, a aplicação correta em cada caso e o tempo correto de aplicação do aparelho. Além da especificidade técnica do equipamento, é na Biofísica que temos a possibilidade de trabalhar os conceitos de Física envolvidos nos mecanismos de interação destes aparelhos com tecidos vivos.

Quando o professor se depara com a tarefa de organizar essa disciplina, a primeira preocupação diz respeito a grande quantidade de assuntos a serem desenvolvidos em um tempo relativamente curto. Esses assuntos são realmente todos igualmente relevantes? Quais seus objetivos? Quais assuntos seriam os mais prioritários nessa disciplina introdutória? Qual a importância desses assuntos no decorrer dos estudos de um fisioterapeuta? Qual aptidão se espera que seja adquirida pelos estudantes após essa disciplina? São questionamentos inerentes a um professor de Física que assume a tarefa de ministrar Biofísica para futuros fisioterapeutas.

Um segundo questionamento poderia ser feito em relação à metodologia empregada no desenvolvimento dessa gama de assuntos. A Biofísica não deve ser interpretada somente como conteúdo de Física e nem tão pouco como uma coletânea de equações aparentemente desconectadas colocadas no quadro, imaginando-se que elas sejam necessárias e suficientes para uma interdisciplinaridade com o restante das disciplinas de um currículo de Fisioterapia.

As indagações acima colocadas, da forma em que foram colocadas, podem parecer insuficientes para a proposta de uma releitura da disciplina de Biofísica, visto que esse panorama não é particular do nosso curso. No entanto, quando somadas aos questionamentos frequentemente dos alunos dirigidos aos professores de Biofísica: “- mas para que temos que

estudar isso professor”? Ou ainda “- para que serve isso”?, percebemos que as indagações são pertinentes e relevantes. Como professores, temos respostas prontas a esses questionamentos dos estudantes, pois sabemos que a aquisição desses conteúdos são realmente importantes para a futura atividade profissional, mas o problema é justamente fazer com que o estudante chegue a mesma conclusão, ao longo da disciplina, e que esse processo seja, além de tudo, também prazeroso para o estudante.

Rever o processo de ensino/aprendizagem da Biofísica especialmente para a Fisioterapia torna-se, desse modo, extremamente importante. Caso contrário, corre-se o risco de se tornar mais uma disciplina na qual os alunos recitam equações, para simplesmente alcançarem condições mínimas para aprovação. Não se pode negar que a aprovação é um requisito necessário para obtenção do diploma, mas como professores, a aprovação não se constitui um fim em si mesmo. Queremos que nosso estudante seja um profissional capacitado a desenvolver um trabalho de qualidade, que adquira competências e independência para se atualizar constantemente, no intuito de acompanhar a dinâmica de um mercado de trabalho em que novas técnicas de tratamento e aparelhos mais sofisticados surgem ano após ano.

Neste trabalho, apresentamos uma proposta para o ensino da Biofísica tendo como base os princípios físicos que permitem o uso e operação dos aparelhos operados em Eletrotermofototerapia, como o Laser e o Ultrassom, por exemplo. Pretendemos, com este trabalho, aliar os conhecimentos físicos realmente relevantes para um curso de fisioterapia com a utilização de aparelhos do laboratório, levando o aluno a perceber a estreita relação entre os conhecimentos de Biofísica com as práticas futuras de sua profissão. Ao fim, procuraremos responder a seguinte questão: *A utilização de conceitos de Física que permitem o uso e operação dos aparelhos utilizados em eletrotermofototerapia pode contribuir com o processo de ensino e aprendizagem da Biofísica para fisioterapeutas?*

Para responder a essa questão trabalhamos na elaboração e utilização de um material didático em formato de uma mídia digital, apresentado em CD, no qual inserimos os textos de apoio e as atividades exploratórias de objetos virtuais de aprendizagem. A ideia é que esse material permita o desenvolvimento de um programa de Biofísica tendo como base os equipamentos utilizados nas diferentes técnicas e procedimentos de terapia em Fisioterapia.

As aulas foram elaboradas tendo-se em vista, os principais aparelhos utilizados em eletrotermofototerapia e as práticas mais comuns referentes ao uso desses equipamentos, a fim de promover a aprendizagem dos conceitos de Biofísica com o auxílio dos fundamentos

físicos. Os aparelhos foram usados como base de motivação para a apresentação dos tópicos de Física, uma vez que a Física se tornava necessária para elucidar e explicar em que condições e circunstâncias um aparelho específico poderia ou deveria ser utilizado, por exemplo.

A experiência relatada nesta dissertação mostra que os conceitos físicos, quando trabalhados com o auxílio de práticas e equipamentos utilizados em fisioterapia, podem levar o aluno a perceber a importância da Biofísica para essa atividade profissional. Se por um lado a Física é, para a maioria dos alunos, uma disciplina complexa e abstrata, por outro, a Biofísica pode ser entendida como uma aplicação direta dos conceitos da Física no corpo humano. A relação entre a Biofísica e as práticas de eletrotermofototerapia é facilmente observada em procedimentos de terapia com o uso desses equipamentos. Dentro do nosso projeto de trabalho, o referencial teórico que nos pareceu mais ajustado para a proposta foi a teoria da mediação de Lev Vygotsky e a teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel.

Vygotsky (Moreira, 1999) afirma que o desenvolvimento cognitivo ocorre através da interação social com o conhecimento social, histórico e culturalmente construído. Trata-se de uma ação onde professor e aluno trocam significados reciprocamente. Porém, para que ocorra o desenvolvimento cognitivo é necessário que essa troca mediada pelo professor, ocorra dentro de uma zona de desenvolvimento proximal definida por Vygotsky como a distância entre o nível de cognição do aluno e o nível de desenvolvimento potencial orientado pelo professor. Dessa forma, o desenvolvimento cognitivo do aluno é possível através da internalização de instrumentos e signos dentro de uma zona de desenvolvimento proximal e mediada pelo professor.

Ausubel, por sua vez, trata da aprendizagem significativa onde o conhecimento prévio do aluno é o fator mais importante para a aprendizagem.

A aprendizagem significativa é aquela em que o significado do novo conhecimento vem da interação com algum conhecimento especificamente relevante já existente na estrutura cognitiva do aprendiz com um certo grau de estabilidade e diferenciação (Moreira, 2008).

Esta interação entre o novo conhecimento e o conhecimento prévio os modifica, tornando-os mais elaborados e possibilitando a aquisição de novos conhecimentos. Porém, essa interação somente é possível quando dois aspectos são observados: a relação do novo conhecimento não deve ser arbitrária ao conhecimento prévio e o aprendiz deve possuir predisposição em aprender. Assim a aprendizagem significativa se caracteriza por uma interação

entre os aspectos presentes na estrutura do indivíduo a as novas informações, contribuindo para uma nova estrutura cognitiva.

O projeto foi desenvolvido nos meses de maio e junho, em duas turmas, com 40 alunos cada, do 1º semestre do curso de Fisioterapia do IESA - Instituto Cenecista de Ensino Superior de Santo Ângelo-RS.

A ementa de Biofísica do curso de Fisioterapia do IESA (Apêndice I) compreende: grandezas físicas, termodinâmica, propagação de ondas, introdução à Eletricidade, radioatividade e radiações em Fisioterapia, Biofísica da circulação sanguínea, biomagnetismo e laser, Eletricidade do corpo humano, fenômenos de superfície, estudo físico geral dos líquidos do organismo, princípios físicos básicos da circulação e respiração e Biofísica da visão e audição (PPC¹ – Fisioterapia IESA, 2008). Os equipamentos utilizados no laboratório do IESA em eletrotermofototerapia são: o ultrassom, a neuroestimulação elétrica transcutânea (TENS), a lâmpada de infravermelho, o laser, a corrente russa, o interferencial vetorial e a estimulação elétrica funcional (FES).

A eletrotermofototerapia consiste em uma modalidade de terapia física que utiliza a corrente elétrica (eletroterapia), o calor (termoterapia) e a luz (fototerapia), como agentes terapêuticos (Agne, 2004). Assim, com base na ementa da disciplina de Biofísica e dos equipamentos mais usuais em um laboratório de eletrotermofototerapia associados à definição de eletrotermofototerapia, torna-se necessário e relevante a abordagem de assuntos que contemplem simultaneamente a ementa e o funcionamento dos aparelhos. A princípio se pode citar: eletricidade, ondas e termologia além da conservação da energia como os assuntos mais relevantes.

Tendo como referência os assuntos a serem abordados, elaboramos um pré e pós-teste. O questionário de pré-teste foi elaborado com o intuito de se verificar os conhecimentos prévios dos alunos acerca dos assuntos a serem trabalhados. Essa etapa de desenvolvimento do projeto é muito importante, pois além do nível de conhecimento dos alunos, sinaliza também a existência ou não de obstáculos para a futura aprendizagem. O material foi construído de forma a ser coerente com os referenciais teóricos adotados. Ao final do trabalho foi aplicado o pós-teste, com o objetivo de se detectar a evolução da aprendizagem dos alunos. Convém deixar claro que optamos pelo mesmo questionário para pré e pós-teste.

¹ Projeto Pedagógico de Curso do Curso de Fisioterapia do IESA.

Esta dissertação está organizada na seguinte forma: no capítulo 2 apresentamos a proposta em detalhes e o cronograma das aulas dadas. No capítulo 3 transcrevemos as respostas dos pré e pós-teste de 5 alunos selecionados de forma a serem representativos. No capítulo 4 é feita uma análise e avaliação qualitativa dos nossos resultados. Finalmente, nossas considerações finais são apresentadas no capítulo 5.

Vale ainda ressaltar que os textos de apoio produzidos e incluídos nos anexos, poderão vir a auxiliar outros professores que atuam na disciplina de Biofísica para Fisioterapia. Como professor da disciplina, compartilho minha experiência sobre a dificuldade inicial para a elaboração de material didático, bem como de uma metodologia para ministrar a disciplina. Na literatura não encontramos muitos livros de Biofísica, especificamente desenhados para cursos de Fisioterapia. Os tópicos precisam ser buscados em diversos livros-textos, os quais, normalmente, não abordam aspectos e conceitos gerais da física na área da saúde. Dada essa prerrogativa, a questão central que motivou esse trabalho é como ensinar Biofísica não dando uma aula tradicional de Física. Estamos cada vez mais convencidos de que uma boa aula de Biofísica não é, necessariamente, uma boa aula de Física - as relações biológicas e físicas que permeiam a Biofísica a tornam uma disciplina com identidade própria, com um novo olhar sobre a Física e a Biologia.

2. O PROJETO E SEU DESENVOLVIMENTO

2.1 Especificidades do projeto

O projeto *A Física dos equipamentos utilizados em Eletrotermofototerapia: uma proposta para o ensino da Biofísica* teve seu início em quatro de Maio de 2011. Aplicado em duas turmas de 40 alunos cada do 1º semestre do curso de Bacharelado em Fisioterapia do IESA - Instituto Cenecista de Ensino Superior de Santo Ângelo – RS no turno noturno.

A proposta foi construída sob o foco de três temáticas: termometria, ondas e eletricidade, e o tempo para o desenvolvimento de cada tema foi de, aproximadamente, duas semanas ou oito horas-aula. As atividades referentes a cada assunto foram divididas em três momentos distintos:

1) O primeiro momento consistiu na exploração dirigida de uma animação computacional que antecedeu a aula sobre o assunto. Como atividade investigativa preparatória para a aula, o aluno deveria manipular um software ou uma simulação virtual, seguindo um roteiro exploratório para responder algumas questões relevantes sobre o tema a ser visto na aula. O intuito de dirigir a exploração do objeto virtual tem como objetivo, questionar as concepções alternativas verificadas no pré-teste, além de permitir que o aluno recupere conceitos já abordados no Ensino Médio.

2) A abordagem efetiva dos assuntos ocorreu em um segundo momento com a utilização do material de apoio por nós desenvolvido, em apresentações do PowerPoint® e discussão das atividades sobre os objetos virtuais de aprendizagem.

3) Ao terceiro momento coube a demonstração em sala de aula do equipamento de Eletrotermofototerapia que utiliza os conhecimentos previamente trabalhados.

A Tabela 2 apresenta um esquema simplificado do desenvolvimento das atividades no decorrer da aplicação da proposta em função das horas/aula utilizadas.

Tabela 2: Cronograma e breve descrição das aulas

1ª Aula	Aplicação do pré-teste. Apresentação do projeto no laboratório de eletrotermofototerapia. Lançamento da atividade exploratória de objeto virtual de aprendizagem sobre temperatura e calor.
2ª Aula	Desenvolvimento da aula sobre energia, temperatura e calor. Debate sobre as questões da atividade exploratória de temperatura.
3ª Aula	Desenvolvimento da aula sobre trocas de calor corporal. Lançamento da atividade exploratória de objeto virtual de aprendizagem sobre ondas.

4ª Aula	Desenvolvimento da aula sobre classificações das ondas e elementos de onda. Debate sobre as questões da atividade exploratória de ondas.
5ª Aula	Desenvolvimento da aula sobre o espectro eletromagnético. Apresentação da lâmpada de infravermelho.
6ª Aula	Desenvolvimento da aula sobre fenômenos ondulatórios. Proposta de leitura sobre o laser.
7ª Aula	Apresentação do laser. Lançamento da atividade exploratória de objeto virtual de aprendizagem sobre ultrassom.
8ª Aula	Desenvolvimento da aula sobre o ultrassom. Demonstração do ultrassom. Lançamento da atividade exploratória de objeto virtual de aprendizagem sobre corrente elétrica.
9ª Aula	Desenvolvimento da aula sobre princípios das cargas elétricas e modelo padrão das partículas elementares.
10ª Aula	Desenvolvimento da aula sobre corrente elétrica.
11ª Aula	Desenvolvimento da aula sobre efeitos da corrente elétrica.
12ª Aula	Desenvolvimento da aula sobre efeito excitomotor da corrente elétrica. Demonstração da Corrente Russa e do F.E.S
13ª Aula	Desenvolvimento da aula sobre efeito analgésico da corrente elétrica. Demonstração do T.E.N.S e do Interferencial vetorial.
14ª Aula	Aplicação do pós-teste e considerações finais.

2.2 Referenciais Teóricos que Fundamentam a Proposta do Projeto

O construtivismo de Vygotsky

Para Vygotsky (1896 – 1934) o desenvolvimento cognitivo do indivíduo não pode ser entendido sem referência ao contexto social, histórico e cultural. Os processos mentais superiores como a fala, por exemplo, tem origem no social, através da interação do indivíduo com signos e instrumentos construídos e aceitos na sociedade em que se encontra (Moreira, 2008).

Neste contexto a linguagem se constitui em elemento essencial da interação, é através da palavra que o indivíduo interage com outras pessoas, pois, a palavra encontra-se presente em todos os atos de compreensão e interpretação.

Os instrumentos e signos são criados socialmente para fazer algo (instrumentos) ou representar alguma coisa (símbolo). É através do domínio de instrumentos e signos via interação social, que o indivíduo se desenvolve cognitivamente.

Quanto mais ele vai utilizando signos e sistemas de signos, tanto mais vão se modificando, fundamentalmente, as operações psicológicas que ele é capaz. Da mesma forma, quanto mais instrumentos ele vai aprendendo a usar tanto mais se amplia a gama de atividades nas quais pode aplicar suas novas funções psicológicas (Moreira, 2008).

Para Vygotsky, a interação social é o elemento fundamental para a compreensão do conhecimento social, histórico e culturalmente construído. A interação proposta por Vygotsky supõem ao menos duas pessoas trocando significados e experiências e conhecimentos, porém de maneira recíproca e bidirecional.

A zona de desenvolvimento proximal é definida por Vygotsky como a distância entre o nível de desenvolvimento cognitivo real do indivíduo e o seu nível de desenvolvimento potencial (Moreira, 2008). A zona de desenvolvimento é, portanto, uma região cognitiva situada entre o que o indivíduo pode realizar sozinho, sem auxílio de ninguém e o que se pode realizar com auxílio ou orientação de alguém com maior capacidade, como na relação entre professor e aluno, por exemplo. A zona de desenvolvimento proximal é, contudo, uma região em constante reestruturação e evolução, visto que o domínio de determinados instrumentos e signos permite a compreensão de novos instrumentos e signos.

Na perspectiva da aprendizagem e ensino, a teoria de Vygotsky nos permite analisar a relação entre professor e aluno bem como a metodologia a ser utilizada no processo de ensino. Sabemos pelo exposto até aqui, que o desenvolvimento das funções mentais superiores ocorre pela internalização de instrumentos e signos através de situações de interação, dentro da zona de desenvolvimento proximal.

Segundo Moreira, *“para Vygotsky o único bom ensino é o que está à frente do desenvolvimento cognitivo e o lidera”*. O ensino que se encontra abaixo ou ao mesmo nível do desenvolvimento cognitivo do aluno não produz aprendizagem efetiva. Desse modo, um ensino efetivo é aquele em que se encontra avançado em relação à situação presente do aluno. Dentro deste conceito, o professor deve estar atendo as situações e materiais que apresenta para o desenvolvimento de suas aulas, pois a zona de desenvolvimento proximal delimita o nível em que ocorre a aprendizagem, caso contrário, corre-se o risco de uma não efetividade desta aprendizagem.

O professor na perspectiva de Vygotsky tem o papel de mediador indispensável na aquisição de significados contextualmente aceitos (Moreira, 2008). No processo de interação social, o professor é o integrante que possui uma compreensão mais elaborada dos instrumentos e signos de seu currículo, cabe a si então, apresentar esses instrumentos e signos culturalmente construídos e aceitos, para o aluno cabe o retorno do que aprendeu. O ensino ocorre quando tanto o professor quanto o aluno cumprem seus papéis, para o professor cabe verificar se os significados captados pelo aluno estão dentro do contexto culturalmente aceito e para o aluno cabe analisar se os significados adquiridos são os que o professor pretendia que ele os adquirisse.

Embora sua teoria não explique como ocorre a internalização, Vygotsky afirma que é neste processo de troca entre professor e aluno que ocorre a aprendizagem e o desenvolvimento cognitivo. *Sem interação social, ou sem intercâmbio de significados, dentro da zona de desenvolvimento proximal do aprendiz, não há ensino, não há aprendizagem e não há desenvolvimento cognitivo* (Moreira, 2008).

A aprendizagem significativa de Ausubel

Para David Ausubel (1918 - 2008) a ideia mais importante da teoria da aprendizagem significativa é aquilo que o aprendiz já sabe. Basta então, averiguar esses conhecimentos e ensinar de acordo. A questão é que não se trata de um processo simples, “aquilo que o aprendiz já sabe” compreende nada menos que toda a estrutura cognitiva do aluno ou no caso de uma disciplina em particular, os conteúdos e a organização de suas ideias nessa área específica. Da mesma forma, averiguar os conhecimentos e ensinar de acordo compreende uma análise de toda essa estrutura preexistente no indivíduo para então se determinar os recursos e métodos mais apropriados, afim de que ocorra uma aprendizagem significativa.

A aprendizagem significativa é o conceito central da teoria de Ausubel. Trata-se de um processo em que a nova informação se relaciona, de maneira substantiva (não-literal) e não-arbitrária, a um aspecto presente e relevante na estrutura cognitiva do indivíduo (Moreira, 2008). Segundo Ausubel, para que ocorra a aprendizagem significativa o novo conhecimento deve interagir de maneira substantiva e não arbitrária com uma estrutura presente no indivíduo, que Ausubel denominou “subsunçor”. Segundo Moreira:

O “subsunçor” é um conceito, uma ideia, uma proposição já existente na estrutura cognitiva, capaz de servir de “ancoradouro” a uma nova informação de modo que esta adquira, assim, significado para o indivíduo (i.e., que ele tenha condições de atribuir significados a essa informação) (2008).

Ausubel denomina subsunçor o conhecimento prévio do aprendiz que possibilita a interação com o novo conhecimento, o subsunçor fornece a estabilidade e a diferenciação entre o prévio e o novo conhecimento. Novas ideias e conceitos podem ser retidos significativamente na medida em que outras ideias e conceitos estejam organizados e disponíveis na estrutura cognitiva. Desse modo, a estrutura cognitiva do indivíduo se constitui em um conjunto de subsunçores e suas relações, servindo de ancoragem para novos conhecimentos.

Em oposição à aprendizagem significativa, Ausubel define a aprendizagem mecânica, na qual o novo conhecimento é armazenado na memória do aprendiz de maneira literal e arbitrária, não há interação entre o novo conhecimento e um subsunçor. *O novo conhecimento não se incorpora à estrutura cognitiva nem a modifica. O aprendiz não dá significados ao que aprende, ele apenas armazena mecanicamente a informação que recebe* (Moreira, 2008). Porém, tanto a aprendizagem significativa quanto a aprendizagem mecânica (como a simples memorização de fórmulas) são importantes e constituem-se em extremos de um espectro. Por vezes, a aprendizagem mecânica pode produzir retenção e transferência, mas é na aprendizagem significativa que o aprendiz dá significado.

Como a aprendizagem significativa prevê que as novas ideias sejam relacionadas de maneira não-arbitrária e não-literal a uma estrutura cognitiva como os subsunçores, torna-se necessário que o material a ser aprendido seja também significativo.

...uma das condições para ocorrência de aprendizagem significativa é que o material a ser aprendido seja relacionável (ou incorporável) à estrutura cognitiva do aprendiz, de maneira não-arbitrária e não-literal. Um material com essa característica é dito potencialmente significativo (Moreira, 2008).

Um material potencialmente significativo deve levar em consideração tanto a sua própria natureza quanto a situação cognitiva do aprendiz. O material deve, portanto, situar-se dentro das possibilidades de relação da estrutura cognitiva do aluno, isto é, ter significado lógico, enquanto que no aluno devem existir conceitos subsunções específicos que possibilitem a relação com o novo material. Segundo Moreira (2008), as disciplinas ensinadas nas escolas são quase que por definição, logicamente significativas.

Além do material potencialmente significativo, Ausubel afirma que a pré-disposição do aprendiz é essencial para que ocorra a aprendizagem significativa. O aprendiz deve manifestar disposição em relacionar de maneira não-arbitrária e não-literal o novo conhecimento a sua estrutura cognitiva (Moreira, 2008). Neste caso, por mais significativo que possa ser o material, se o aprendiz desejar memorizar a nova informação de maneira

arbitrária tem-se uma aprendizagem mecânica e da mesma forma, se o aprendiz desejar relacionar de maneira não-arbitrária e não-literal, porém, se o material não é potencialmente significativo, não ocorre aprendizagem significativa.

Uma questão importante que pode normalmente surgir no processo ensino aprendizagem diz respeito à falta de subsunções que ancoram o novo conhecimento. Considera-se aqui a falta de subsunções nas situações em que o aprendiz já se encontra na situação de aprender por recepção. Ausubel propõem então, o uso de organizadores prévios que sirvam de ancoradouro para o novo conhecimento.

... propõe o uso de organizadores prévios que sirvam de ancoradouro para o novo conhecimento e levem ao desenvolvimento de conceitos subsunções que facilitem a aprendizagem subsequente. Organizadores prévios são materiais introdutórios, apresentados antes do próprio material a ser aprendido, porém, em um nível mais alto de abstração, generalidade e inclusividade do que o material (Moreira, 2008).

Assim, a função dos organizadores prévios é servir de ponte entre o que o aluno sabe e o que precisa saber, a fim de que o conhecimento seja aprendido de forma significativa.

2.3 Desenvolvimento do projeto

Descrição das aulas

1ª Aula - Aplicação do pré-teste. Apresentação do projeto no laboratório de eletrotermofototerapia. Lançamento da atividade exploratória de objeto virtual de aprendizagem sobre temperatura e calor.

A primeira atividade realizada no desenvolvimento da proposta foi a aplicação em sala de aula do pré-teste. No pré-teste (Anexo A) o aluno foi convidado a responder sobre conceitos importantes para a compreensão do funcionamento e aplicações dos aparelhos utilizados em procedimentos de eletrotermofototerapia. Cabe ressaltar que as perguntas formuladas no pré-teste são referentes a assuntos de Física abordados no Ensino Médio.

Pensamos neste caso, que o pré-teste pode vir a expor os conhecimentos prévios dos alunos e a existência ou não de subsunções específicos. Por se tratar de um curso superior, espera-se que os alunos possuam os conhecimentos científicos mínimos, porém, sabemos da grande deficiência do nosso aluno no que se refere às ciências exatas. Por outro lado, trata-se de um instrumento de avaliação da proposta, principalmente sobre o nível de aprendizagem alcançado pelos estudantes. Por fim, para o aluno, trata-se de uma ideia geral dos conceitos que serão trabalhados durante o desenvolvimento das aulas.

No capítulo 4, analisaremos as respostas mais relevantes à nossa discussão em oposição às respostas do pós-teste; pensando assim, em uma comparação, demonstrando concepções alternativas e mudanças conceituais. Durante a realização do pré-teste, os alunos demonstraram grande preocupação sobre a avaliação do teste, manifestando que não sabiam nada sobre os assuntos e que o teste poderia prejudica-los; desse modo, coube aqui, para os alunos, uma explicação sobre o que seria um pré-teste e qual a sua finalidade e objetivo.

Após a realização do pré-teste, os alunos foram encaminhados para o laboratório de eletrotermofototerapia da clínica-escola de fisioterapia do IESA para a apresentação da proposta, e dos equipamentos que seriam utilizados no decorrer das aulas (fig. 1).

Nessa oportunidade, realizou-se a apresentação aos alunos dos aparelhos utilizados em eletrotermofototerapia, dando uma breve descrição do seu funcionamento e aplicações. Foram apresentados os seguintes aparelhos: TENS, FES, Corrente Russa, Interferencial Vetorial, Laser, Ultrassom e o Infravermelho. Após a apresentação dos referidos aparelhos, ocorreu uma breve descrição das atividades que seriam desenvolvidas e dos assuntos que seriam trabalhados, relacionando-os aos equipamentos que os utilizam.

Durante a apresentação dos aparelhos, os alunos demonstraram grande interesse, surgindo colocações de que já haviam utilizado alguns dos equipamentos apresentados em terapias realizadas para tratamento de problemas físicos, além de dúvidas sobre quais equipamentos são utilizados em clínicas de estética e emagrecimento. Nota-se aqui, a grande curiosidade dos alunos ao que se refere a equipamentos como o ultrassom, na estética e a corrente russa, normalmente vendidas pela TV ou internet, que apresentam resultados duvidosos quanto a emagrecimento.



Figura 1: Apresentação da proposta no laboratório de eletrotermofototerapia

A demonstração dos equipamentos no laboratório teve o objetivo de motivar os alunos para o desenvolvimento da proposta. Conforme citado no referencial teórico, Ausubel defende que um dos requisitos para que a aprendizagem seja significativa é a motivação do aluno. Dessa forma, pensamos que a demonstração dos equipamentos de eletrotermofototerapia para futuros terapeutas poderia ser um motivador em potencial para a participação na proposta. Cabe ressaltar que os alunos que participaram das aulas estavam no primeiro semestre do curso e que essa atividade foi a primeira realizada no laboratório de eletrotermofototerapia com fins didáticos.

Ao final da demonstração dos equipamentos do laboratório, lançamos a atividade exploratória sobre um objeto de aprendizagem virtual (Anexo B) disponível em <http://divulgarciencia.com/categoria/applets/page/2>. Nas atividades exploratórias propostas durante o desenvolvimento das aulas, o aluno deveria responder a algumas questões após explorar e manipular a animação virtual, entregando a tarefa para o professor na aula seguinte. As questões da primeira atividade referiam-se a conceitos relativos aos estados físicos da matéria e sua relação com a temperatura de uma determinada substância. Escolhemos atividades virtuais por não possuímos laboratório de Física no IESA, além de serem atividades que os alunos poderiam realizar em casa, não necessitando de um tempo extra, em sala de aula, para sua realização.

Entendemos que as atividades exploratórias de objetos de aprendizagem virtual se concretizam como organizadores prévios levando ao desenvolvimento de subsunções que facilitem a aprendizagem subsequente. Embora Ausubel os defina como materiais introdutórios em um nível mais alto de abstração, vimos que, em sua grande maioria, os alunos não possuem os conceitos específicos para a compreensão dos assuntos que foram abordados.

2ª Aula - Desenvolvimento da aula sobre energia, temperatura e calor. Debate sobre as questões da atividade exploratória de temperatura.

Na segunda aula, trabalhamos com a utilização do texto de apoio sobre Energia e Termometria (Anexo C). No primeiro momento, apresentamos o princípio da conservação da energia, aplicado a diversas atividades de produção e consumo de energia. Observa-se que independentemente do aparelho de eletrotermofototerapia que será utilizado, todos transformam a energia elétrica recebida em algum outro tipo de energia, o que talvez justifique o uso da palavra eletroterapia em substituição a eletrotermofototerapia.

Simultaneamente à apresentação da energia térmica, da lei zero da termodinâmica, dos termômetros e das escalas de temperatura, debatemos as respostas das questões lançadas na última aula sobre estados físicos da matéria e temperatura. A figura (2) apresenta a tela principal da animação sobre os estados físicos.

Na primeira questão, os alunos deveriam observar a diferença no estado de agregação das moléculas em função da temperatura (supondo uma pressão constante). Ao observar a agitação molecular mesmo no estado sólido, é possível verificar que a uma temperatura de 102 K, as moléculas ainda possuem um pequeno movimento de vibração. Na segunda questão é possível verificar a relação entre a temperatura e o estado de agregação e na terceira questão, a redução da agitação molecular até o instante em que cessa a agitação molecular. Devemos, contudo, alertar ao aluno que o gelo que surge ao diminuir a temperatura é apenas uma representação simplista e que não é simples a redução a 0 K. Na quarta questão trabalhamos com os conceitos relativos ao calor.

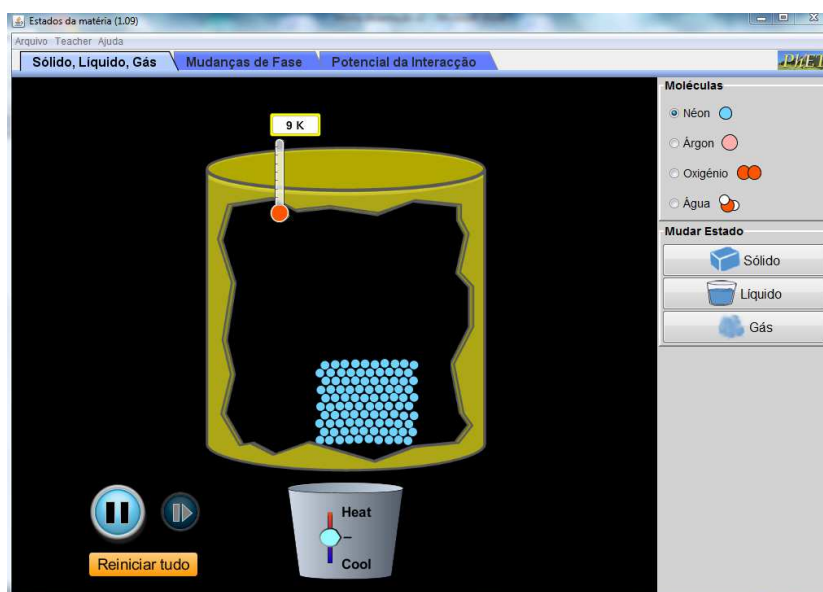


Figura 2: Animação estados da matéria
Fonte: <http://divulgarciencia.com/categoria/applets/page/2>

Para o debate das respostas das atividades exploratórias realizadas no intervalo da aula anterior, as animações foram reproduzidas em projetor na sala de aula, onde alguns alunos eram escolhidos para explicar suas conclusões sobre a atividade. Durante as explicações foi possível perceber que os alunos nunca tinham manipulado uma animação com fins didáticos. A atividade foi envolvente e levou um grande número de alunos a expressar suas percepções sobre as atividades propostas. Na avaliação dos alunos foi uma atividade interessante e

divertida, porém, foi possível verificar que a participação não foi tão efetiva no grupo de alunos que trabalham durante o dia.

3ª Aula - Desenvolvimento da aula sobre trocas de calor corporal. Lançamento da atividade exploratória de objeto virtual de aprendizagem sobre ondas.

Na terceira aula discutimos as trocas de calor corporal. Vale ressaltar que os processos de transmissão do calor por condução, convecção e irradiação, são na verdade, também, os meios com que o corpo dissipa o calor para o meio. Convém abordar que os processos de Termogênese (produção de calor corporal) e Termólise (dissipação de calor corporal) são ambos necessários, sendo justamente o equilíbrio entre esses dois processos que mantém a temperatura corporal constante.

A condutividade térmica de diferentes materiais e tecidos vivos, em especial, é o que determina, por exemplo, porque o calor produzido por ultrassom dissipa-se muito mais rapidamente pelo osso que pelo músculo. Importante também reforçar que o principal meio de dissipação de calor do corpo humano, (cerca de 60%) é por irradiação através de ondas de infravermelho e, portanto, não pode ser observado pelo olho humano. Trabalhamos um exemplo relacionado ao poder emissivo da pele humana, com o objetivo de demonstrar a quantidade de energia que dissipamos em condições normais, além de estabelecer a relação entre a emissividade e a absorção.

Ao final da aula, foi lançada a segunda atividade exploratória de objeto de aprendizagem virtual sobre ondas e elementos de onda (Anexo D), disponível em http://www.fisicanimada.net.br/?q=ondas/propagacao_ondas.

4ª Aula - Desenvolvimento da aula sobre classificações das ondas e elementos de onda. Debate sobre as questões da atividade exploratória de ondas.

Na quarta aula iniciamos o estudo das ondas com auxílio do texto de apoio (Anexo E). Primeiramente classificamos as ondas quanto à direção de propagação, quanto à direção de vibração e propagação e quanto à natureza. Vale aqui ressaltar, os muitos comentários dos alunos afirmando que no Ensino Médio o conteúdo de ondas não foi trabalhado ou, em alguns casos, simplesmente citados pelo professor. Simultaneamente aos elementos de uma onda, ocorreu a apresentação e debate sobre as questões propostas na última aula referentes à atividade de exploração da animação sobre ondas e elementos de onda. A figura (3) apresenta a tela principal da animação sobre ondas.

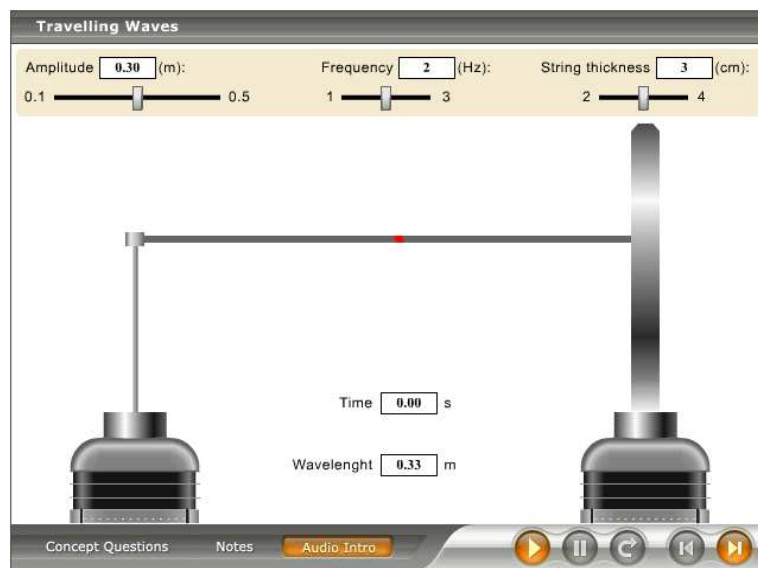


Figura 3: Animação sobre ondas
 Fonte: http://www.fisicanimada.net.br/?q=ondas/propagacao_ondas

A primeira questão teve como objetivo demonstrar as características de uma onda transversal, enquanto a onda propaga-se para a direita, por exemplo, é possível verificar o ponto vermelho em movimento vibratório vertical. Na segunda questão, o aluno deveria aumentar somente a frequência e observar a redução no comprimento de onda. Na terceira questão, temos como objetivo que o aluno perceba que a amplitude não interfere no comprimento de onda e na última que o aluno sintetize suas percepções gerais sobre a animação.

5ª Aula - Desenvolvimento da aula sobre espectro eletromagnético. Apresentação e demonstração da lâmpada de infravermelho.

Na quinta aula ocorreu a demonstração do espectro eletromagnético com a utilização do material de apoio (Anexo E). A compreensão do espectro, julgamos, é de vital importância para o entendimento da natureza das ondas eletromagnéticas. Normalmente na área da saúde utiliza-se a expressão radiação, desse modo a compreensão das radiações ionizantes e não ionizantes é importante para o profissional de fisioterapia. Cabe aqui ressaltar, a grande discussão que ocorreu devido ao celular, o forno de micro-ondas e a câmara de bronzeamento artificial. Foi um momento interessante para o professor discutir um pouco sobre os perigos ou não perigos de determinadas radiações eletromagnéticas.

Com auxílio do texto de apoio sobre o infravermelho (Anexo F) realizou-se a demonstração do infravermelho em sala. Para essa atividade utilizou-se uma lâmpada de

infravermelho com potência de 450 W e um termômetro graduado no intervalo -10°C a 110°C . O objetivo dessa atividade foi a demonstração do calor produzido e irradiado pela lâmpada expondo o termômetro durante 3 min a uma distância de 20 cm da lâmpada. Os alunos observaram que nesse intervalo de tempo ocorreu uma variação de 20°C no termômetro, comprovando que ocorreu propagação de energia do interior da lâmpada que se encontra a baixa pressão (vácuo) para o meio externo. As figuras (4 e 5) mostram o desenvolvimento da atividade.



Figura 4: Aquecimento por infravermelho turma 1.



Figura 5: Aquecimento por infravermelho turma 2.

6ª Aula - Desenvolvimento da aula sobre fenômenos ondulatórios. Proposta de leitura sobre o laser.

Na sexta aula desenvolveu-se o assunto referente aos fenômenos ondulatórios: reflexão, refração, dispersão, difração, interferência e polarização. Os fenômenos ondulatórios são importantes para a compreensão da produção do laser, e dos fenômenos da reflexão e refração do ultrassom no interior dos tecidos. Como organizador prévio para o Laser sugeriu-se a leitura do texto “Os fundamentos da luz Laser” (Bagnato, 2001), disponível em <<http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol2/Num2/a02.pdf>>.

7ª Aula - Apresentação do Laser. Lançamento da atividade exploratória de objeto virtual de aprendizagem sobre ultrassom.

Com auxílio do texto de apoio, (Anexo G) realizou-se a apresentação do Laser. Na demonstração do laser utilizou-se um Applet (fig. 6) disponível em <http://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/lasers>. Nessa animação é possível bombardear a câmara com fótons a fim de excitar elétrons pela diferença de energia entre os níveis

(configure your atoms' electronic energy levels) e regulando a refletividade de um dos espelhos é possível produzir um feixe de Laser.

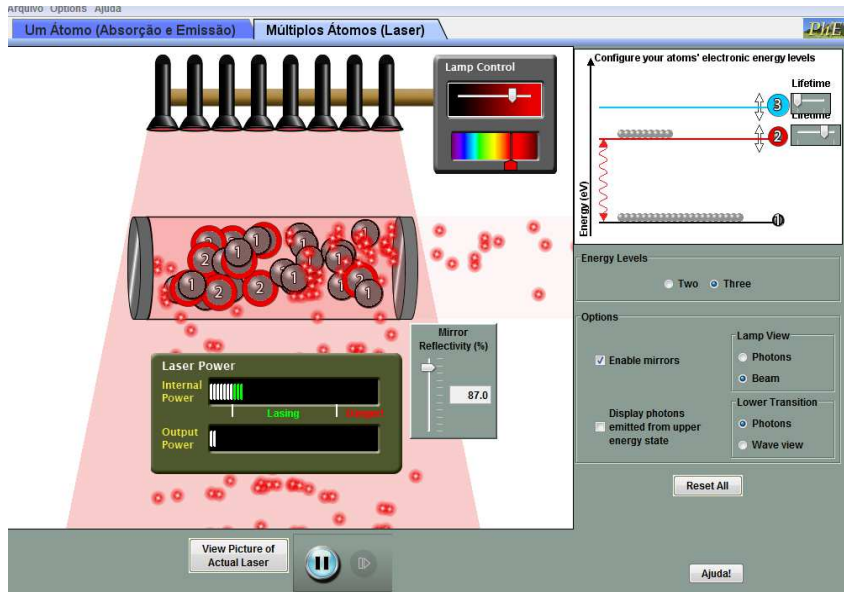


Figura 6: Applet sobre a produção de Laser

Fonte: http://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/lasers

O aparelho de laserterapia foi demonstrado em sala de aula com a caneta de 660 nm que produz luz vermelha visível (fig. 7) e com a caneta de 904 nm que produz radiação invisível. A aplicação de determinada frequência de laser é realizada no mesmo aparelho, sendo necessário, contudo, a troca da caneta que contém o material alvo a ser bombardeado (fig. 8).



Figura 7: Luz visível do Laser



Figura 8: Diferentes canetas laser

Ao final da aula, foi lançada a atividade exploratória sobre o ultrassom (Anexo H), disponível em <http://www.artesmedicas.com/piezoelasticidade.htm>.

8ª Aula – Desenvolvimento da aula sobre o ultrassom. Demonstração do ultrassom. Lançamento da atividade exploratória de objeto virtual de aprendizagem sobre corrente elétrica.

O desenvolvimento da oitava aula baseou-se no ultrassom. Primeiramente o trabalho ocorreu com base no texto de apoio (Anexo I) e discussão das questões lançadas na última aula sobre a atividade exploratória sobre o ultrassom.

Na atividade exploratória de objeto virtual sobre ultrassom o aluno deveria responder questões referentes ao efeito piezolétrico e efeito piezolétrico inverso. A figura (9) apresenta a tela principal da animação sobre o ultrassom.

Na primeira questão da atividade exploratória se espera que o aluno observe o efeito piezolétrico através do acendimento da lâmpada, enquanto que na segunda questão, que observe o efeito inverso, ou seja, um estímulo elétrico produz uma vibração no cristal – princípio da formação de ondas mecânicas em um transdutor. Na terceira questão é possível o aluno perceber que o processo inverso se repetindo a altas frequências gera ondas ultrassônicas.



Figura 9: Atividade exploratória sobre o ultrassom
Fonte: <http://www.artesmedicas.com/piezoeltricidade.htm>

Para a demonstração do ultrassom, utilizou-se uma pequena quantidade de água para verificação do efeito piezolétrico inverso, onde é possível observar a evaporação da água no transdutor (fig. 10), devido à absorção das ondas mecânicas. Esse procedimento é normalmente utilizado pelo fisioterapeuta para verificar o funcionamento do equipamento. A figura (11) mostra a demonstração da aplicação do ultrassom em sala de aula.

Ao final da aula foi lançada a atividade de exploração sobre corrente elétrica (Anexo J), disponível em <<http://www.ensinolivre.pt/?q=node/184>>.



Figura 10: Efeito piezoelectrico



Figura 11: Demonstração do ultrassom

9ª Aula – Desenvolvimento da aula sobre princípios das cargas elétricas e modelo padrão das partículas elementares.

Para o desenvolvimento da nona aula iniciamos com base no texto de apoio (Anexo K), que apresenta os conceitos de carga elétrica e suas propriedades, campo elétrico e potencial elétrico. Em contribuição ao texto de apoio, utilizamos a animação disponível em <http://www.labvirt.fe.usp.br/applet.asp?time=18:25:09&lom=10429>. Na animação é possível observar a interação entre cargas de mesmo sinal e de sinais contrários.

Para a apresentação do modelo padrão utilizou-se os vídeos 1 a 5 do “Discreto charme das partículas elementares” da professora Maria Cristina Batoni Abdalla disponível em <www.youtbe.com>. A apresentação do modelo padrão em por finalidade mostrar aos alunos algo além do que normalmente é apresentado, levando-o a perceber que a ciência não possui todas as respostas, mas pelo contrário, muitas questões ainda devem ser propostas e respondidas.

10ª Aula – Desenvolvimento da aula sobre corrente elétrica.

Para o desenvolvimento da aula sobre corrente elétrica utilizou-se o texto de apoio sobre eletricidade (Anexo K). Posteriormente, ocorreu a discussão sobre as respostas da animação sobre circuitos elétricos, disponível em <http://www.ensinolivre.pt/?q=node/184> (kit de construção de circuitos DC). Na primeira atividade exploratória o aluno deveria criar um

circuito simples com uma bateria, um resistor e uma lâmpada e observar o movimento dos elétrons no interior do condutor. Na segunda atividade a proposta era alterar a d.d.p da bateria e observar o movimento dos elétrons e o brilho da lâmpada.

Na terceira atividade, o aluno deveria verificar a função de um interruptor além da relação entre corrente elétrica e resistência. E na quarta atividade escolheu-se a exploração de um amperímetro e um voltímetro mostrando a função e o modo de ligação desses instrumentos em um circuito. A figura (12) apresenta a tela inicial do Applet sobre circuitos de corrente contínua. Deve-se aqui ter cuidado com a representação dos elétrons por bolinhas, que é incorreto, porém, nesta situação torna-se simples a diferenciação devido ao trabalho anterior sobre o modelo padrão.



Figura 12: Animação sobre circuitos elétricos
Fonte: <http://www.ensinolivre.pt/?q=node/184>

11ª Aula – Desenvolvimento da aula sobre efeitos da corrente elétrica

Na décima primeira aula, utilizando do texto de apoio sobre eletricidade (Anexo K) se trabalhou a condutividade elétrica corporal e os efeitos da corrente elétrica; efeito térmico, efeito químico, efeito magnético e efeito luminoso. Especificamente, no corpo humano, os efeitos de contração muscular, analgesia e choque provocados por correntes elétricas.

12ª Aula – Desenvolvimento da aula sobre efeito excitomotor da corrente elétrica. Demonstração da corrente Russa e do F.E.S

Tendo como base o texto de apoio sobre efeito excitomotor (Anexo L), se demonstrou os equipamentos de Corrente Russa e o F.E.S (fig. 13). Vale aqui ressaltar a grande

curiosidade por parte dos alunos quanto aos efeitos das correntes elétricas no fortalecimento muscular, principalmente dos equipamentos vendidos pela TV ou pela internet.



Figura13: Demonstração do FES e da Corrente Russa

13ª Aula – Desenvolvimento da aula sobre efeito analgésico da corrente elétrica. Demonstração do T.E.N.S e do Interferencial Vetorial.

O efeito analgésico da corrente elétrica foi trabalhado na décima terceira aula. O texto de apoio sobre analgesia (Anexo M) serviu de base para a discussão dos princípios dos equipamentos utilizados em eletroterapia por analgesia. No decorrer das atividades foram demonstrados os equipamentos de TENS e o Interferencial (fig. 14).



Figura 14: Interferencial vetorial

14ª Aula – Aplicação do pós-teste e considerações finais.

Na última aula foi aplicado o pós-teste (Anexo A) a fim de averiguar a aprendizagem dos alunos acerca do projeto desenvolvido. Notou-se aqui, a necessidade de um tempo maior para a realização do pós-teste em comparação com o tempo de realização do pré-teste, visto que um grande grupo de alunos não respondeu as questões do pré-teste, interferindo na escolha dos testes mais significativos para a avaliação da proposta. Por fim, houve uma discussão sobre o desenvolvimento do projeto a fim de levantar elementos que serão discutidos nas considerações finais, no capítulo 5.

3. RESPOSTAS DOS PRÉ e PÓS-TESTES SELECIONADOS

A seguir transcrevemos as respostas do pré o pós-testes a fim de analisarmos a ocorrência ou não de uma aprendizagem efetiva em função do desenvolvimento da proposta. As questões escolhidas para o pré-teste são abertas e gerais, permitindo que o aluno se expresse livremente sobre determinada questão. Desse modo, julgamos que as mesmas questões do pré-teste poderiam estar no pós-teste, visto que as perguntas de um pré e pós-teste devem ter o mesmo nível de dificuldade.

Evidentemente, o uso das mesmas questões no pré e pós-teste pode levar a um resultado equivocado, visto que os alunos podem antever o pós-teste baseando-se somente nas questões do pré-teste. Porém, neste caso, os alunos não foram alertados da realização de um pós-teste nem do dia em que este seria realizado. O pré-teste foi realizado na primeira aula como primeira atividade, enquanto o pós-teste foi realizado como última atividade da última aula.

Para a avaliação bimestral da disciplina de Biofísica, utilizamos as respostas do pós-teste, além das respostas das atividades de exploração de objetos virtuais de aprendizagem. As respostas do pós-teste foram avaliadas com peso 2,0, enquanto que cada uma das atividades de exploração virtual com peso 0,5 (temperatura e calor, ondas, ultrassom e corrente elétrica). Ao final do bimestre tínhamos, portanto, uma avaliação individual de peso 6,0, a avaliação do pós-teste com peso 2,0 e as atividades exploratórias com peso 2,0, totalizando 10,0.

Uma análise das respostas em termos de uma detecção de aprendizagem efetiva será feita no próximo capítulo, no qual as repostas do pré e pós-testes serão confrontadas.

As perguntas dos pré e pós-testes são abrangentes, pois nosso intuito foi permitir ao aluno que escrevesse de forma livre os pensamentos evocados pelas questões apresentadas. Não temos dúvida que a questão 2, “O que é calor”, por exemplo, é absolutamente difícil para um aluno sem treinamento em Física, mas por outro lado, calor é tema de Física no Ensino Médio. Assim, ao ser colocado de forma ampla, não esperamos do aluno uma resposta padronizada para uma questão específica e sim, ouvir dele, quais conceitos ele consegue expressar sobre calor e usar a própria pergunta como estímulo para as aulas posteriores.

Devido ao fato de termos trabalhado com 80 alunos equidistribuídos em duas turmas e das questões colocadas de forma ampla, optamos por fazer uma análise qualitativa do desempenho das turmas. Uma análise mais quantitativa certamente iria requerer propostas

diferentes para as questões dos testes. Ainda assim, caberia questionar se o número de 80 alunos em duas turmas daria resultados quantitativos significativos.

Na opção de uma avaliação qualitativa, selecionamos apenas cinco alunos, denominados, aluno 1, aluno 2 e assim por diante, para transcrever literalmente as respostas dos pré e pós-testes. A escolha foi feita de modo a ser representativa nas turmas. A escolha dos 5 alunos se baseou nas respostas mais significativas, tanto no pré quanto no pós-teste. Escolhemos alunos que, pelo menos, tentaram responder às questões do pré-teste, visto que a grande maioria entregou o questionário do pré-teste em branco. Outro aspecto levado em conta na escolha dos alunos foi a assiduidade e pontualidade nas aulas, visto que, o grupo de alunos que trabalham durante o dia, normalmente faltam às aulas ou chegam atrasados. Desse modo, considerando alunos que tentaram responder ao pré-teste e que são frequentes, o número de possibilidades se restringiu a uma dezena.

Finalmente, apresentamos as questões seguidas das respectivas respostas do pré e pós-testes nessa ordem. Uma análise qualitativa das respostas será apresentada no próximo capítulo.

Questão 1 - O que é temperatura?

Respostas do pré-teste

Aluno 1 – “Temperatura é a medida do quente e do frio”.

Aluno 2 – “Temperatura seria a medida em graus de uma determinada coisa, pessoa, clima em fim, a temperatura em determinadas situações”.

Aluno 3 – “Ela pode variar (quente e frio)”.

Aluno 4 – “É o nível de calor que é medido. No corpo o nível de calor pode ser medido pelo termômetro. Não só o nível de calor, mas também o frio”.

Aluno 5 – “Temperatura são as variedades entre frio e calor”.

Respostas do pós-teste

Aluno 1 – “A temperatura é associada ao grau de agitação molecular de um determinado corpo ou objeto”.

Aluno 2 – “A temperatura está associada a agitação molecular, mais agitação maior a temperatura”.

Aluno 3 – “Está relacionada com a agitação molecular”.

Aluno 4 – “Está relacionada com a agitação molecular, quanto maior agitação maior a temperatura”.

Aluno 5 – “É a alta ou baixa concentração de energia que um corpo tem”.

Questão 2 - O que é calor?

Respostas do pré-teste

Aluno 1 – “Calor é a energia em movimento”.

Aluno 2 – “O calor seria uma alta temperatura a qual é quente”.

Aluno 3 – “É a variável da temperatura, quando está alta, geralmente quando a circulação sanguínea está alta”.

Aluno 4 – “É o aquecimento sentido no corpo, em aparelhos que a proporcionam através da energia. É a elevação da temperatura”.

Aluno 5 – “É uma alta temperatura que é submetido um corpo”.

Respostas do pós-teste

Aluno 1 – “Calor é a energia em trânsito que passa de um corpo para outro. Um corpo de maior temperatura passa calor para um de menor temperatura. Um corpo sozinho não possui calor”.

Aluno 2 – “É uma energia em trânsito que passa de um corpo para outro devido à diferença de temperatura”.

Aluno 3 – “É a energia em trânsito que passa do corpo de maior temperatura para o de menor”.

Aluno 4 – “É a energia em trânsito, transmitida de um corpo para outro”.

Aluno 5 – “É a quantidade de energia que um corpo possui”.

Questão 3 - O calor pode passar de um corpo para outro através de três maneiras. Quais são essas maneiras? Explique se possível resumidamente cada uma delas.

Respostas do pré-teste

Aluno 1 – “Condução: quando um corpo conduz o calor por todo o material; Convecção: quando aquece um líquido; Radiação: quando se propaga calor do sol ou quando nos aquecemos na frente da lareira”.

Aluno 2 – “Uma maneira seria aquecer a outra pessoa através do calor humano”.

Aluno 3 – “Encostando um corpo com outro”.

Aluno 4 – “Pelo toque, quando uma pessoa toca em outra em determinado momento”.

Aluno 5 – não respondeu

Respostas do pós-teste

Aluno 1 – “Condução: a energia é passada através de um sólido; Convecção: ocorre com fluídos e gases o ar quente sobe e o frio desce através de correntes de convecção; Irradiação: ocorre através de ondas de infravermelho”.

Aluno 2 – “Condução: seria a propagação de calor de uma molécula para outra. Ex.: panela quando esquenta; Radiação: transferência de calor, por onde nosso corpo perde calor; Convecção: é a transferência de calor através de diferentes massas com diferentes densidades”.

Aluno 3 – “Condução, convecção e irradiação”.

Aluno 4 – “Condução: é o contato; Convecção: massa fria desce, massa quente sobe; Irradiação: evaporação do calor”.

Aluno 5 – “Condução: quando há um meio para passar o calor; Convecção: quando não há meio; Irradiação: passagem de calor por raios”.

Questão 4 - Qual a diferença entre ondas mecânicas e ondas eletromagnéticas?

Respostas do pré-teste

Aluno 1 – “Ondas eletromagnéticas são atraídas por forças de atração ou repulsão, já ondas mecânicas não possuem essa característica”.

Aluno 2 – “Ondas mecânicas seriam através de um meio físico. As ondas eletromagnéticas seriam através da eletricidade”.

Aluno 3 – não respondeu.

Aluno 4 – “Onda mecânica é produzida através de algum movimento mecanizado. Onda eletromagnética é produzida através do torque de duas ou mais superfícies magnetizadas”.

Aluno 5 – “As ondas mecânicas estão relacionadas à meios físicos e as ondas eletromagnéticas através de ondas”.

Respostas do pós-teste

Aluno 1 – “Ondas mecânicas necessitam de um meio para propagação. Ex.: som; Ondas eletromagnéticas não necessitam de um meio para propagação. Elas se originam de um campo magnético que gera um campo elétrico e vice-versa. Ex.: luz”.

Aluno 2 – “As ondas mecânicas precisam de um meio para se propagar e as ondas eletromagnéticas não precisam necessariamente de um meio para sua propagação”.

Aluno 3 – “As ondas mecânicas precisam de um meio para se propagar e as eletromagnéticas não”.

Aluno 4 – “Mecânicas: necessitam de um meio para se deslocar; Eletromagnéticas: se propagam sem a necessidade de matéria”.

Aluno 5 – “As ondas mecânicas precisam de um meio para se propagar, enquanto as ondas eletromagnéticas não precisam de meio algum para se propagar”.

Questão 5 - O que é uma onda transversal? E uma onda longitudinal?

Respostas do pré-teste

Aluno 1 – “Ondas transversais são acústicas. Ondas longitudinais não são acústicas”.

Aluno 2 – “Onda transversal é aquela que fica na diagonal e onda longitudinal seria uma linha longa”.

Aluno 3 – não respondeu.

Aluno 4 – “Ondas que atuam transversalmente”.

Aluno 5 – não respondeu.

Respostas do pós-teste

Aluno 1 – “Ondas transversais vibram num sentido e se propagam em outro; Ondas longitudinais vibram e se propagam na mesma direção e sentido”.

Aluno 2 – “Uma onda transversal: vibram e se propagam em sentidos diferentes; Onda longitudinal: vibram e se propagam no mesmo sentido”.

Aluno 3 – “Nas ondas transversais as vibrações são do mesmo sentido da onda. Nas longitudinais as vibrações não são do mesmo sentido da onda”.

Aluno 4 – “Transversal: a direção de propagação e vibração é oposta. Ex.: ondas eletromagnéticas; Longitudinal: vibram e se propagam na mesma direção. Ex.: ondas mecânicas (som)”.

Aluno 5 – não respondeu.

Questão 6 - Qual a relação entre período e frequência de uma onda?

Respostas do pré-teste

Aluno 1 – “São diretamente proporcionais”.

Aluno 2 – “Período em que se iniciou e a frequência com que ela obteve”.

Aluno 3 – não respondeu

Aluno 4 – “O período é o que vai determinar a frequência da onda”.

Aluno 5 – “Período é o tempo que a onda está atuando e a frequência é a intensidade”.

Respostas do pós-teste

Aluno 1 – “Frequência é o número de vibrações por minuto. O período é inversamente proporcional a frequência”.

Aluno 2 – “Período está associado ao tempo de uma oscilação da onda. Frequência seria o número de oscilações”.

Aluno 3 – “Nenhuma. O período não interfere na frequência e vice-versa”.

Aluno 4 – “Período é o tempo que uma onda leva para realizar uma oscilação completa. Frequência é o número de oscilações em um segundo”.

Aluno 5 – “Quanto maior o período menor a frequência”.

Questão 7 - Quais os tipos de ondas eletromagnéticas que existem?

Respostas do pré-teste

Aluno 1 – “Ondas transversais e longitudinais”.

Aluno 2 – “Linhas telefônicas”.

Aluno 3 – “As elétricas e magnéticas”.

Aluno 4 – “não conheço nenhuma”.

Aluno 5 – “não sei”.

Respostas do pós-teste

Aluno 1 – “Todas as ondas do espectro eletromagnético, existem as ionizantes e as não ionizantes”.

Aluno 2 – “Infravermelho, micro-ondas, raios-x”.

Aluno 3 – “unidimensionais, bidimensionais e tridimensionais”.

Aluno 4 – “Todas as que se encontram dispostas no espectro eletromagnético, distribuídas conforme a sua frequência e seu comprimento de onda”.

Aluno 5 – “Ondas de rádio, infravermelho e ultravioleta”.

Questão 8 - O que é corrente elétrica?

Respostas do pré-teste

Aluno 1 – “Corrente elétrica é uma forma de energia que possui cargas elétricas.”.

Aluno 2 – “Seria através da eletricidade onde está a corrente elétrica”.

Aluno 3 – “Eletricidade constante”.

Aluno 4 – “É uma corrente por onde circula/transporta uma determinada energia. Meio de difusão da eletricidade”.

Aluno 5 – “É composta por energia”.

Respostas do pós-teste

Aluno 1 – “É o movimento gerado por uma diferença de potencial. A resistência é o atrito dos elétrons.”.

Aluno 2 – “É a passagem de elétrons livres no interior de um condutor sólido”.

Aluno 3 – “É o movimento ordenado dos portadores de carga no interior de um condutor”.

Aluno 4 – “É o movimento ordenado de cargas elétricas em um condutor”.

Aluno 5 – “É a movimentação dos elétrons que faz surgir a corrente elétrica”.

Questão 9 - Quais são os portadores de carga elétrica em materiais sólidos, líquidos e gases?

Respostas do pré-teste

Aluno 1 – “Sólidos: cabos de aço; Líquido: soluções aquosas com HCl; Gases: CO₂ (dióxido de carbono), gás metano CH₄”.

Aluno 2 – “não sei”.

Aluno 3 – “não sei”.

Aluno 4 – não respondeu.

Aluno 5 – não respondeu

Respostas do pós-teste

Aluno 1 – “Nos sólidos são os elétrons livres; nos líquidos são os cátions e ânions e nos gases são os elétrons, cátions e ânions”

Aluno 2 – “Sólidos: elétrons livres; Líquidos: cátions e ânions; gases: elétrons, cátions e ânions”.

Aluno 3 – “Sólidos: elétrons livres; Líquidos: ânions e cátions; gases: elétrons, ânions e cátions”.

Aluno 4 – “Sólidos: elétrons livres; Líquidos: cátions e ânions; gases: elétrons, cátions e ânions”.

Aluno 5 – “Sólidos: elétrons livres; líquidos: corpo humano”.

Questão 10 - O que é energia? Quais as formas de energia que você conhece?

Respostas do pré-teste

Aluno 1 – “Energia é a forma como as moléculas interagem entre si. Existe energia mecânica, energia cinética, energia potencial”.

Aluno 2 – “A energia a qual gera luz”.

Aluno 3 – “Solar, eólica, hidráulica”.

Aluno 4 – Proporciona meios de comunicação, movimento de um corpo. Ex: energia elétrica, eólica.

Aluno 5 – não respondeu

Respostas do pós-teste

Aluno 1 – “Energia não pode ser conceituada, porém, ela somente é transformada e nunca criada em destruída. Existem a energia cinética, potencial, mecânica, térmica, eólica, luminosa e muitas outras”.

Aluno 2 – “A energia é uma grandeza que pode ser convertida ou transformada de uma forma ou outra, mas nunca criada nem destruída. Luminosa, térmica, sonora”.

Aluno 3 – “Não pode ser criada nem destruída. Térmica, elétrica, sonora”.

Aluno 4 – “A energia é movimento. Energia cinética, térmica, elétrica e eólica”

Aluno 5 – “É difícil conceituar energia devido as suas diferentes formas. Elétrica, térmica, cinética, luminosa, eólica e outras”.

4. Avaliação e respostas dos pré e pós-testes selecionados

Apresentamos neste capítulo, o critério de avaliação adotado na disciplina e a taxa de aprovação, assim como uma avaliação qualitativa do desempenho de 5 alunos nos pré e pós-testes.

4.1 Avaliação semestral do desempenho dos alunos na Biofísica

A avaliação das disciplinas nos cursos do IESA é realizada bimestralmente. No caso da Biofísica, por se tratar de uma disciplina do primeiro semestre, as avaliações são realizadas em Abril e Junho com peso de 10,0 pontos a cada bimestre. Ao final do semestre o aluno deve obter média 7,0 para aprovação sem exame. Caso não obtenha a média, entra em exame, onde a nota mínima para aprovação é 5,0.

Devido às dificuldades encontradas na Disciplina de Biofísica citadas na introdução e, após sucessivas conversas com a coordenação do curso optou-se em modificar o plano de ensino da disciplina. No início do ano de 2011 escolhemos dividir a ementa da disciplina em dois momentos: no primeiro momento, ou no primeiro bimestre, desenvolvemos as bases para a cinesiologia e no segundo trabalhamos a proposta aqui apresentada.

A cinesiologia é o estudo dos movimentos do corpo humano. Desta forma, trabalhamos durante os meses de Março e Abril, a cinemática e a dinâmica, dedicando uma atenção especial as grandezas vetoriais e operações com vetores, força e interações da força no corpo humano, enquanto que a proposta desenvolvida e apresentada neste trabalho de conclusão foi desenvolvida durante 28 horas/aula ou 14 encontros, durante os meses de Maio e Junho.

Ao final do semestre, não pudemos observar uma redução no número de alunos reprovados na disciplina de Biofísica. No ano de 2009, de um total de 91 alunos, 9 alunos reprovaram (9,9 %), no ano de 2010, de um total de 75 alunos, 4 alunos reprovaram (5,3 %). Já em 2011, de um total de 80 alunos, 9 alunos reprovaram (11,25 %).

Aparentemente, o percentual maior de reprovações em 2011 pode colocar em dúvida a efetividade da proposta, porém, temos a convicção de que os alunos de 2011 possuem um entendimento e clareza da Física muito superiores aos alunos dos anos anteriores. Em nenhum momento, aluno algum questionou as aulas ou a metodologia utilizada. Nos anos anteriores escutávamos comentários sobre a finalidade de estudar esse ou aquele assunto, visto que o

trabalho seguia a ementa aqui apresentada. Durante o desenvolvimento da disciplina de Biofísica tendo como base a proposta apresentada, os alunos entenderam a Biofísica como integrante de um currículo de Fisioterapia. Cito o comentário de uma aluna que reprovou na disciplina em 2009 e que em 2011 cursou novamente. “Agora sim professor, agora você acertou, e como estou no 5º Semestre, tudo isso me ajudou muito”. Comentários, considerações e elogios foram percebidos no desenvolver de toda a proposta.

4.2 Avaliação qualitativa das respostas dos pré e pós-testes.

Conforme mencionado no capítulo anterior, selecionamos 5 alunos entre os 80 que participaram no desenvolvimento do projeto para transcrever literalmente suas respostas dos pré e pós-testes. Os alunos são denominados aluno 1, aluno2, etc. e a escolha dos 5 foi feita de forma a ser representativa nas turmas (ver capítulo 3). Entendemos que o número de 5 alunos possa não ser suficiente para a análise descritiva da proposta, porém, nosso objetivo foi compreender como ocorreu a evolução conceitual em termos qualitativos, visto que a clientela é bastante heterogeneia cognitivamente. A seguir colocamos as questões e apresentamos uma discussão sobre as respostas dos alunos.

Questão 1 - O que é temperatura?

Verificou-se no pré-teste que os alunos, em sua grande maioria, confundem o conceito de temperatura com o de calor ou com a sensação de quente e frio, afirmando, conforme o aluno 4 deixa explícito, que o calor pode ser medido com um termômetro. O que percebemos aqui, é que embora o Ensino Médio contemple os assuntos de escalas termométricas, quantidade de calor e transições de fases no ensino médio² seu domínio sobre esses temas continua muito próximo dos conceitos amplamente populares dos mesmos.

Para trabalhar o conceito de temperatura, que é deveras abstrato, usamos além das apresentações do texto de apoio (Anexo C), a atividade de exploratória virtual sobre os estados de agregação da matéria, disponível em <<http://divulgarciencia.com/categoria/applets/page/2>> e observamos que houve nas repostas do pós-teste, um progresso significativo no desempenho desses alunos. Nenhum aluno relacionou temperatura com calor e a maioria citou agitação molecular. O aluno 5, no

² Vários autores de livros para o ensino médio abordam esses assuntos. Entre eles: Ramalho (2007), Aberto Gaspar (2001) e Beatriz Alvarenga (2007).

entanto, respondeu a questão de forma evasiva. Ele chega a mencionar energia, mas não fez referência a energia cinética.

Questão 2 - O que é calor?

Conforme já observado na questão 1, o pré-teste evidencia uma total confusão sobre os conceitos de calor e temperatura. Os alunos associam calor a temperatura e vice-versa. Calor e temperatura são traduções das sensações de quente e frio e se confundem. No pós-teste, todos os alunos relacionaram calor com energia e parecem entender que essa energia pode ser transferida do corpo de maior para o de menor temperatura. O aluno 5 ainda responde de forma muito sucinta, sendo difícil avaliar o grau de assimilação dos novos conceitos em relação aos seus pré-conceitos sobre calor e temperatura.

Para trabalhar com o conceito de calor, utilizamos o mesmo texto de apoio e a mesma animação utilizada para o estudo da temperatura.

Questão 3 - O calor pode passar de um corpo para outro através de três maneiras. Quais são essas maneiras? Explique se possível resumidamente cada uma delas.

Os mecanismos de transferência de calor são importantes para a física dos equipamentos de eletrotermofototerapia que se constituem nas ferramentas de trabalho de um fisioterapeuta. Era esperado que os alunos mencionassem os mecanismos: condução, convecção e irradiação e que, a grosso modo, associassem condução com contato entre sólidos, convecção com deslocamentos de massas de ar ou líquidos a diferentes temperaturas e irradiação com ondas eletromagnéticas.

No pré-teste, apenas o aluno 1 fez menção aos três mecanismos e os conceituou de forma correta. Já no pós-teste, após trabalharmos com o texto de apoio (Anexo C), todos os alunos mencionaram os 3 mecanismos corretamente. O aluno 3 não explicou os mecanismos e o aluno 5 mostrou entendimento parcial dos mesmos.

Questão 4 - Qual a diferença entre ondas mecânicas e ondas eletromagnéticas?

O entendimento sobre a natureza das ondas é o que permite posteriormente, a compressão dos fenômenos ondulatórios bem como a diferenciação entre o ultrassom e o laser, por exemplo. Verifica-se que no pré-teste nenhum aluno respondeu de forma satisfatória a questão. Os alunos 1 e 4 relacionaram algo a eletricidade e magnetismo, enquanto os alunos 2 e 5 parecem conhecer vagamente a natureza das ondas.

No pós-teste, após o trabalho com o texto de apoio (Anexo E) e com a animação sobre ondas disponível em <http://www.fisicanimada.net.br/?q=ondas/propagacao_ondas>, observa-se que todos os alunos relacionam às ondas mecânicas a necessidade de um meio de vibração e as ondas eletromagnéticas a não necessidade de um meio material. O aluno 1 citou exemplos das ondas e relacionou as ondas eletromagnéticas a geração de um campo magnético e, conseqüentemente, a geração de um campo elétrico.

Questão 5 - O que é uma onda transversal? E uma onda longitudinal?

Conforme relatado por uma grande maioria dos alunos, o conteúdo de ondas não foi apresentado no ensino médio e, para outros, o conteúdo fora trabalhado de maneira muito superficial. Desse modo, podemos compreender a dificuldade dos alunos na resposta do pré-teste. Nenhum aluno demonstrou clareza na diferenciação entre onda transversal e longitudinal, o aluno 2 relacionou onda longitudinal somente a uma linha longa.

Nas respostas do pós-teste, após a utilização do texto de apoio (Anexo E) e da animação sobre ondas, também utilizada para a questão 4, é possível observar uma evolução nos conceitos, porém, o aluno 3 ainda confunde os conceitos de onda longitudinal e transversal e o aluno 5 não respondeu a questão.

Questão 6 - Qual a relação entre período e frequência de uma onda?

Conforme observado nas questões 4 e 5, o assunto referente a ondas era, praticamente, desconhecido da grande maioria dos alunos. Na questão 6 somente o aluno 4 insinuou uma relação entre período e frequência, enquanto que o restante não possui conhecimentos sobre estas grandezas e muito menos uma possível relação entre elas.

Nas respostas do pós-teste, após a utilização do texto de apoio (Anexo E) e principalmente da animação sobre ondas disponível em <http://www.fisicanimada.net.br/?q=ondas/propagacao_ondas>, é possível verificar primeiramente, a compreensão dos conceitos de frequência e período visto que os alunos os definiram corretamente. Com exceção dos alunos 2 e 3, o restante afirmou a relação inversamente proporcional entre as grandezas período e frequência. O aluno 3 além de não demonstrar conhecimento sobre os conceitos de período e frequência, afirmou não haver relação entre estes.

Questão 7 - Quais os tipos de ondas eletromagnéticas que existem?

O conhecimento das ondas eletromagnéticas, especificamente do espectro eletromagnético é de fundamental importância para o Fisioterapeuta, visto que, muitos tratamentos utilizam ondas eletromagnéticas como agente terapêutico. Além das ondas de infravermelho e da luz do laser, é comum na área da saúde processos que utilizam os raios-x, a radioterapia ou mesmo as micro-ondas.

Ao analisarmos as repostas do pré-teste, verificamos que os alunos não possuíam conhecimento do espectro eletromagnético, ocorrendo uma total confusão de conceitos. Após o trabalho com o texto de apoio sobre o espectro eletromagnético, a demonstração da lâmpada de infravermelho e a demonstração do laser, além do trabalho no applet sobre o laser disponível em <http://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/lasers>, é possível verificar nas respostas do pós-teste uma evolução conceitual. Todos os alunos demonstraram conhecer o espectro eletromagnético, com exceção do aluno 3 que não respondeu corretamente a questão. O aluno 1 afirmou ainda a existência de ondas ionizantes e não ionizantes, enquanto o aluno 4 relacionou a distribuição no espectro em função da frequência e do comprimento de onda.

Questão 8 - O que é corrente elétrica?

A corrente elétrica se constitui na base da eletroterapia, vários são os equipamentos que a utilizam ou que futuramente irão a utilizar. Ao Fisioterapeuta, resta compreender os princípios das cargas elétricas e suas interações a fim de compreender a corrente elétrica. No pré-teste os alunos não demonstraram conhecimento sobre corrente elétrica, embora no geral tenham, mesmo que superficialmente, relacionado corrente elétrica e energia.

Após o trabalho com a utilização do texto de apoio (Anexo K) e com a animação sobre corrente elétrica disponível em <<http://www.ensinolivre.pt/?q=node/184>>, verifica-se nas respostas do pós-teste que todos os alunos compreenderam os processos que levam a geração e existência de uma corrente elétrica. O aluno 1 relacionou ainda a d.d.p como geradora da corrente e a resistência como uma dificuldade à passagem da corrente.

Questão 9 - Quais são os portadores de carga elétrica em materiais sólidos, líquidos e gases?

Na Física do Ensino Médio, a corrente elétrica é normalmente tratada em condutores metálicos, embora possa ocorrer também em líquidos e gases. No caso do corpo humano, teremos, devido a aplicações de eletroterapia, correntes em meios líquidos, soluções nos

tecidos que permitem o movimento dos portadores de carga em uma ou outra direção. Desse modo, é importante o Fisioterapeuta conhecer quando da aplicação de um determinado aparelho de eletroterapia, o que ocorre internamente nos tecidos.

No pré-teste com exceção do aluno 1 que demonstrou certo conhecimento, o restante desconhecia completamente os portadores de carga. No pós-teste, após o trabalho com o texto de apoio (anexo K), é possível verificar que com exceção do aluno 5, que não citou os portadores de carga em líquidos e gases, o restante respondeu a questão satisfatoriamente.

Questão 10 - O que é energia? Quais as formas de energia que você conhece?

Conforme citado anteriormente, todos os equipamentos utilizados em eletrotermofototerapia utilizam energia e a transformam em ondas mecânicas (ultrassom), em movimento de cargas elétricas (FES, TENS, Interferencial, Corrente Russa), em calor (Infravermelho) ou em luz (Laser). Dessa forma, julgamos importante para o profissional que utilizará esses equipamentos ter uma compreensão sobre um conceito tão amplo quanto energia.

Conforme pode ser observado nas respostas do pré-teste, o aluno 1 citou alguns tipos de energia, porém, os demais apresentaram respostas muito vagas, não permitindo uma análise mais detalhada. Nas respostas do pós-teste, é possível verificar uma evolução conceitual sobre energia e suas transformações. Os alunos 1 e 5 demonstraram dificuldade em conceituar energia, e com exceção do aluno 4, todos os demais citaram transformações de energia, permitindo que se perceba que a ideia de transformação está de certa forma compreendida.

De modo geral, podemos verificar, de acordo com os resultados do pré e pós-teste, que a proposta obteve resultados significativos quanto à aprendizagem dos alunos. Nosso objetivo inicial não era obter respostas mecânicas sobre o questionário do pré ou pós-teste. As questões amplas e abertas permitiam ao aluno se expressar livremente nos dois questionários, levando a critérios diferentes de análise das respostas. Procuramos que os alunos percebam os conceitos e leis dentro de um contexto mais amplo: a diversidade biológica.

Segundo afirma Vygotsky³, o desenvolvimento cognitivo do indivíduo não pode ser entendido sem referência ao contexto em que está inserido. Dessa forma, a interação entre

³ Moreira, 1999

professor e aluno é o que permitiu a aquisição de instrumentos (no caso dos equipamentos) e signos, culturalmente aceitos.

Por outro lado, prezamos para que ocorresse uma aprendizagem significativa proposta por Ausubel⁴. Primeiramente, verificamos o conhecimento prévio dos alunos através do pré-teste e, a partir desses resultados, construímos um material de apoio potencialmente significativo que deveria se encontrar dentro da zona de desenvolvimento definida por Vygotsky. Conforme pode ser observado no material de apoio, nosso objetivo não foi de colocar uma série de equações e deduções, visto que, o nosso aluno possui uma grande deficiência nos conhecimentos de física do ensino médio, mas sim, trazer os conceitos mais pertinentes da física que poderiam auxiliar nossos alunos na utilização dos aparelhos de eletrotermofototerapia durante sua formação. As atividades exploratórias e os textos complementares podem ser vistos como organizadores prévios para a eventual inexistência de subsunçores específicos.

⁴ Moreira, 2008

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta dissertação é o relato de um projeto que foi aplicado em duas turmas noturnas de 40 alunos cada, em 14 aulas, nos meses de Maio a Junho de 2011. Ao final deste trabalho, baseados na hipótese de que a física dos equipamentos de eletrotermofototerapia, que se constituem matéria-prima na vida de um fisioterapeuta moderno, poderia ser usada como alavanca para motivar os alunos de fisioterapia a estudarem, com prazer, a disciplina de Biofísica, considero que nossos resultados foram bastante satisfatórios.

A comparação entre o pré-teste e o pós-teste nos permite afirmar que a utilização de conceitos de Física, que fundamentam a utilização e a operação dos aparelhos usados em eletrotermofototerapia, junto com a utilização de um material potencialmente significativo (textos de apoio), aliado às atividades virtuais, pode contribuir para o processo de ensino e aprendizagem de conceitos da Biofísica para fisioterapeutas.

Iniciamos o trabalho na disciplina de Biofísica para Fisioterapia em março de 2009. Dessa forma, 2011 é o terceiro ano que ministramos essa disciplina e um bom indicador da efetividade da proposta foram a ausência de comentários e questionamentos pejorativos sobre a disciplina.. Nos anos anteriores, era comum escutar comentários e interrogações dos alunos, tanto sobre conteúdo trabalhado, quanto sobre sua utilidade para a formação futura.

Entende-se também, que a experiência adquirida pelo professor no decorrer dos anos é importante para a contextualização da Biofísica no currículo, porém, a proposta desenvolvida neste projeto levou a disciplina a um novo entendimento e a uma nova relação com o restante do curso. No decorrer desta proposta em nenhum momento se percebeu dúvidas ou resistência a determinados assuntos por parte dos alunos. É prudente não perder a oportunidade de enfatizar que nem todos os alunos tiveram um rendimento ótimo, mas ficou evidente a correlação empenho/interesse dos alunos comparados aos anos anteriores. De qualquer modo, via de regra, são os alunos com baixo rendimento que nos desafiam a pensar e questionar a nossa atuação como professor.

Olhando o trabalho como um todo, acreditamos que a demonstração, na primeira aula, dos equipamentos/aparelhos da rotina de trabalho dos fisioterapeutas, como meio de instigar a curiosidade e o interesse dos alunos pela disciplina, foi o ponto alto do projeto. Dentre todos os equipamentos trabalhados, o ultrassom merece destaque em relação à curiosidade por parte dos alunos. Observa-se, de modo geral, que alunos desenvolvem certo fascínio pela área da

Fisioterapia Estética e, dentro desse contexto, o ultrassom é amplamente utilizado, principalmente na área de queima dos tecidos adiposos por cavitação.

Percebemos, no entanto, que a área da eletroterapia poderia ser mais bem explorada, principalmente, no mecanismo da Eletroestimulação e Eletroanalgesia. Muito embora, os mecanismos de estimulação e analgesia por corrente elétrica sejam trabalhados na disciplina de Fisiologia, há a possibilidade de se avançar além da nossa proposta inicial em um futuro trabalho nessa linha. Outro aspecto que também poderá vir a ser melhorado se refere ao tempo em que a proposta foi desenvolvida, seria necessário um tempo maior para o trabalho com situações problema e exercícios sobre os diferentes assuntos abordados.

Como produto educacional, desenvolvemos uma mídia digital, em formato de CD, onde apresentamos todos os textos de apoio utilizados no decorrer das aulas. Esperamos que o material desenvolvido nesta proposta possa auxiliar a outros professores na difícil tarefa de dar sentido à Biofísica em um currículo para a Fisioterapia.

A maior dificuldade que encontramos na disciplina de Biofísica foi como torná-la agradável e respeitada em sua importância dentro do currículo. Por outro lado, simultaneamente às aulas de Biofísica, deslocava-me 450 km de Santo Ângelo a Porto Alegre todas semanas para as aulas do mestrado profissional. Durante a realização do mestrado, muitas dificuldades foram encontradas, sejam financeiras, ou de disponibilidade de tempo, já que trabalho mais de 50 horas semanais.

O mestrado profissional em ensino de física nos forneceu um conhecimento muito além daquele aprendido durante a graduação, permitindo-nos repensar a disciplina de Física do Ensino Médio de uma maneira mais consciente e, conseqüentemente, nos possibilitando um olhar mais profundo na disciplina de Biofísica. Foi através da nossa inquietude frente à Biofísica e do conhecimento adquirido no mestrado profissional que pudemos realizar este trabalho.

Temos agora a consciência tranquila, sabemos que hoje a Biofísica traz aos alunos algo mais que equações e exercícios, algo que é importante para o contexto profissional a que está inserida. A Biofísica torna-se assim uma disciplina em que a Física mostra sua utilidade, uma oportunidade de ensinar física e profissão.

REFERÊNCIAS

ABDALLA, M. C.B. Sobre o Discreto Charme das Partículas Elementares. *Física na Escola*, v. 6, n. 1, 2005.

AGNE, Jones E. *Eletrotermoterapia: teoria e prática*. Santa Maria: Pallotti, 2004.

ALGO SOBRE. Radiação infravermelha. Disponível em <<http://www.algosobre.com.br/fisica/radiacao-infravermelha.html>>. Acesso em: 12 de mar. 2011.

BLOGS DE CIÊNCIA. Simulador: Estados físicos e mudanças de estado. Disponível em <<http://divulgarciencia.com/categoria/applets/page/2/>>. Acesso em: 05 abr. 2011.

BRAIN. M. Como funcionam as ondas de rádio. [tradução de HowStuffWorks Brasil]. Disponível <<http://www.abert.org.br/site/images/stories/pdf/comofuncionamasondasderadio.pdf>>. Acesso em: 12 de mar. 2011.

CAVALHEIRO, C.A. Espectro visível. Disponível em <<http://www.infoescola.com/fisica/espectro-visivel/>>. Acesso em 18 de mar. 2011.

CIÊNCIA E TECNOLOGIA. O que é radiação de micro ondas? Disponível em <<http://cienctec.com.br/wordpress/index.php/o-que-e-radiacao-de-microondas/>>. Acesso em: 05 abr. 2011.

DURÁN, José Enrique Rodas. *Biofísica – fundamentos e aplicações*. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2003.

EISBERG, R.; RESNICK, R. *Física Quântica – Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas*. Tradução de Paulo Costa Ribeiro, Enio Frota da Silveira e Marta Feijó Barroso. 13. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1979.

FÍSICA ANIMADA.NET.BR. Propagação de ondas. Disponível em <http://www.fisicanimada.net.br/?q=ondas/propagacao_ondas>. Acesso em: 20 abr. 2011.

GARCIA, Eduardo. A.C. *Biofísica*. – 2.ed. – São Paulo: Sarvier, 2002

GASPAR, Alberto. *Física*. São Paulo. Editora Ática, 2001.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R; WALKER, J. *Fundamentos de Física 4 – Ótica e Física Moderna*. [Tradução de Denise Helena da Silva Sotero, Gerson Bazo Costamilan, Luciano Videira Monteiro e Ronaldo Sérgio de Biasi]. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1995.

KITCHEN, Sheila. *Eletroterapia: prática baseada em evidências*. [tradução da il.ed. original Libia Breterniz Ribeiro; revisão científica Raquel Casarotto]. -2ed. – Barueri, SP: Manole, 2003.

LABORATÓRIO DIDÁTICO VIRTUAL. Cargas e campos. Disponível em <<http://www.labvirt.fe.usp.br/applet.asp?time=18:25:09&lom=10429>>. Acesso em: 2 mai. 2011.

LOW, J.; REED, A. *Eletroterapia Explicada: Princípios e Prática*. – 3. Ed. - São Paulo: Manole, 2001.

MEDEIROS, A. Entrevista com o Conde Rumford. *Física na Escola*, v. 10, n. 1, 2009.

MORAES, M. B. S. A.; TEIXEIRA, R.M.R. Circuitos elétricos: novas e velhas tecnologias como facilitadoras de uma aprendizagem significativa no nível médio. – Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, 2006.

MOREIRA, M.A. *Teorias de Aprendizagem*. São Paulo: EPU, 1999.

MOREIRA, M.A. *Comportamentalismo, Construtivismo E Humanismo*. Porto Alegre, 2008.

MOREIRA, M.A.; CABALLERO, C. *A teoria da aprendizagem significativa*. Porto Alegre/Burgos, 2008.

NOVAS TECNOLOGIAS LIGADAS À SAÚDE. Radioterapia. Disponível em<<http://novastecnologiassaude.blogspot.com/search/label/Radioterapia>>. Acesso em: 25 abr. 2011.

OKUNO, E.; CALDAS, I.L.; CHOW, C. *Física para ciências biológicas e biomédicas*. – 2.ed. - São Paulo: Harbra, 1986.

PHET. Kit de construção de circuitos DC. Disponível em <<http://www.ensinolivre.pt/?q=node/184>>. Acesso em: 15 abr. 2011.

PRADO JR. H. Efeito piezoelétrico. O princípio do ultrassom. Disponível em <<http://www.artesmedicas.com/piezoelasticidade.htm>>. Acesso em: 20 abr. 2011.

RAMALHO JÚNIOR, *Os fundamentos da física*/Francisco Ramalho Júnior, Nicolau Gilberto Ferraro, Paulo Antônio de Toledo Soares. – v. 2, 3 - 9. Ed. São Paulo: Moderna, 2007.

SEELING. M. Radiação Ultravioleta. Jun, 2003. Disponível em <<http://www.segurancaetrabalho.com.br/download/rad-uv-seelig.pdf>>. Acesso em 18 mar. 2011.

UFRGS. Física Moderna. A descoberta dos raios X. Disponível em <http://www.if.ufrgs.br/tex/fis142/fismod/mod06/m_s01.html>. Acesso em 20 abr. 2011.

UFRGS. Física Moderna. Capítulo 5 - Raios-X. Disponível em <http://www.if.ufrgs.br/tex/fis142/fismod/mod05/m_s01.html>. Acesso em 20 abr. 2011.

BAGNATO, Vanderley, S. Os Fundamentos da Luz Laser. *Física na Escola*, v. 2, n. 2, 2001.

YOUNG, Hugh D. Física II: termodinâmica e Ondas/ Young e Freedman; [tradução de Cláudia Santana Martins]. 12.ed. – São Paulo: Addison Wesley, 2008.

YOUNG. a, Hugh D. Física III: *eletromagnetismo*/ Young e Freedman; [tradução de Sonia Midori Yamamoto]. – São Paulo: Addison Wesley, 2009.

YOUNG. b, Hugh D. Física IV: *ótica e física moderna*/ Young e Freedman; [tradução de Cláudia Martins]. – São Paulo: Addison Wesley, 2009.

Apêndice I

CNEC / IESA		
INSTITUTO CENECISTA DE ENSINO SUPERIOR DE SANTO ÂNGELO		
CURSO DE FISIOTERAPIA		
Disciplina Biofísica		
Professor Alexandre Novicki	Ano / Sem 2009 / 1º	Carga Horária 72 h/a
CONTEÚDO PROGRAMÁTICO		
Semana	Conteúdo Teórico	
1ª	Apresentação da disciplina. Introdução, terminologia e medidas, terminologia, notação científica, erros e medidas, a física e a biomedicina.	
2ª	Grandezas físicas e suas medidas, relações entre as grandezas físicas, gráficos e escalas.	
3ª	Biofísica da visão e da audição. Propriedades gerais das ondas, propagação de ondas, energia de ondas, refração, lentes, o olho humano, defeitos do olho, receptores de visão.	
4ª	O som, aspectos da onda sonora, escala de intensidade sonora, o ouvido humano. Aplicação do som na medicina, ultrassom, formação de imagens, ultrassom na fisioterapia, efeitos biológicos do ultrassom.	
5ª	Radiações. Tipos de radiação, dualidade partícula-onda, unidades de radiação, decaimento.	
6ª	Aplicações das radiações, raios-x, radiologia diagnóstica, radioterapia, efeitos da radiação.	
7ª	Fluídos. Pressão, princípio de Pascal, tensão superficial, ação capilar, escoamento de fluídos ideais, princípio de Bernoulli, escoamento de fluídos reais, escoamento laminar e turbulento.	
8ª	Física do sistema circulatório, pressão sanguínea, pressão nas paredes dos vasos, medida da pressão sanguínea.	
9ª	Avaliação do 1º bimestre	
10ª	Equilíbrio ácido-básico. Potencial hidrogeniônico (pH), homeostasia, soluções tampão biológicas, distúrbios ácido-básicos.	
11ª	Física dos pulmões e respiração. As vias aéreas, interação entre sangue e pulmões, trocas gasosas, alvéolos, medidas de volumes pulmonares.	
12ª	Termodinâmica no corpo humano. Temperatura e calor, escalas termométricas, calorimetria, calor específico, calor latente.	
13ª	Leis da termodinâmica no corpo humano. Energia, trabalho, potência e eficiência. Variações de energia no corpo humano, razão metabólica basal, perda de calor pelo corpo.	

14 ^a	Termologia e calorimetria nas áreas médicas. Temperatura normal, hipertermia e febre. Termoterapia e crioterapia.
15 ^a	Eletricidade. Corrente elétrica, efeito Joule, resistência, condutância, tensão elétrica (ddp).
16 ^a	Potencial de membrana, potencial de ação.
17 ^a	Biomagnetismo.
18 ^a	Avaliação do 2º bimestre
19 ^a	Exame
Ementa	
Fenômenos ondulatórios, Grandezas físicas e propagação de ondas. Noções gerais de radioatividade e radiações. Fluídos em sistemas biológicos. Biofísica da circulação e respiração. Biofísica da visão e audição. Biomagnetismo e laser. Eletricidade do corpo humano.	
Objetivos	
Fornecer fundamentos de física, disponibilizar aplicações práticas da física em sistemas biológicos, desenvolver técnicas físicas empregadas em experiências biológicas.	
Metodologia	
Aulas expositivas, complementadas pela leitura de textos. Aulas presenciais. Seminários Aulas práticas desenvolvidas no laboratório de Bioquímica.	
Bibliografia Básica	
DURÁN, José E. R. Biofísica: Fundamentos e Aplicações . São Paulo: Person Prentice Hall, 2003. GARCIA, Eduardo A. C. Biofísica . São Paulo: Sarvier, 2002. HENEINE, Ibrahim Felipe. Biofísica básica . Rio de Janeiro: Atheneu, 2003. OKUNO, Emico; CALDAS, Iberê L.; CHOW, Cecil. Física para Ciências Biológicas e Biomédicas . São Paulo: Harper & Row do Brasil, 1982.	
Bibliografia Complementar	
NUSSENZVEIG, H.M. Curso de Física Básica . Volume 1. Mecânica. 4. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1996. NUSSENZVEIG, H.M. Curso de Física Básica . Volume 2. Fluídos, Oscilações e Ondas. 4. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1996. NUSSENZVEIG, H.M. Curso de Física Básica . Volume 3. Eletromagnetismo. 4. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1996. NUSSENZVEIG, H.M. Curso de Física Básica . Volume 4. Ótica, Relatividade, Física Quântica. 4. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1996.	

ANEXO A

PRÉ-TESTE E PÓS-TESTE

Prezado aluno.

O questionário abaixo é uma ferramenta importante no desenvolvimento do trabalho intitulado “**A Física dos equipamentos utilizados em Eletrotermofototerapia: uma proposta para o Ensino da Biofísica**”. Desse modo, responda às questões com a maior seriedade possível. Não se preocupe, use as “suas palavras”.

1) O que é temperatura?

2) O que é calor?

3) O calor pode passar de um corpo para outro através de três maneiras. Quais são essas maneiras? Explique se possível resumidamente cada uma delas.

4) Qual a diferença entre ondas mecânicas e ondas eletromagnéticas?

5) O que é uma onda transversal? E uma onda longitudinal?

6) Qual a relação entre período e frequência de uma onda?

7) Quais os tipos de ondas eletromagnéticas que você conhece?

8) O que é corrente elétrica?

9) Quais são os portadores de carga elétrica em materiais sólidos, líquidos e gases?

10) O que é energia? Quais as formas de energia que você conhece?

ANEXO B

Applet sobre estados físicos e mudanças de estado

Acesse o site <http://divulgarciencia.com/categoria/applets/page/2/> e clique na animação “**simulador: estados físicos e as mudanças de estado**”.

- 1) Clique para selecionar as moléculas de água. Observe a estrutura de duas moléculas de hidrogênio e uma de oxigênio. Sem mexer na temperatura clique na sequência em sólido, líquido e gás. O que você observa quanto à agitação molecular e a interação entre as moléculas? Porque mesmo no estado sólido as moléculas não ficam paradas?
- 2) Reinicie a animação e selecione água novamente. Partindo do estado sólido forneça calor (clicando na parte de baixo e deslocando a barra para cima), observe o aumento da temperatura. Aqueça até atingir 1000 K. O que você observa durante o aquecimento?
- 3) Agora retire o calor até atingir a temperatura de 0 K. O que você observa durante a redução da temperatura? Porque ao se atingir a temperatura de 0 K as moléculas param de se movimentar? (claro que aquele “gelinho” que aparece é uma representação muito simplista do 0 K e que não é tão simples atingir uma temperatura tão baixa).
- 4) O que o “gelinho” e o “foguinho” representam em termos de calor?

ANEXO C

TEXTO DE APOIO: Energia e Termometria

Conservação da energia

A energia existe sob diferentes formas: mecânica (cinética e potencial), elétrica, térmica, luminosa, sonora e química entre outras. Sempre que analisamos um sistema em que um tipo de energia diminui, certamente outro tipo aumentará. Trata-se do *princípio de conservação da energia*: a energia é uma grandeza que pode ser convertida ou transformada de uma forma em outra, mas nunca criada nem destruída. A figura 1 mostra diferentes transformações de energia que utilizamos atualmente.

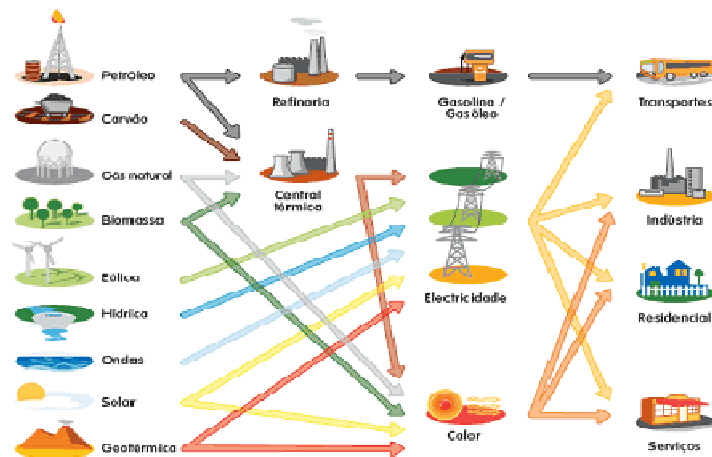


Figura 1: Fontes de energia.
Fonte: <http://proponhoumatese.blogspot.com/p/energia-espiritual.html>

No caso da Fisioterapia, em particular, temos também como válido o princípio da conservação da energia. Para exemplificar podemos citar alguns equipamentos utilizados em Eletrotermofototerapia:

Ultrassom	energia elétrica → energia sonora
Infravermelho	energia elétrica → energia térmica
FES	energia elétrica → energia térmica
Laser	energia elétrica → energia luminosa

Segundo Agne (2004), o termo eletroterapia é utilizado para designar de maneira genérica a eletroterapia (corrente Russa, T.E.N.S, F.E.S, interferêncial vetorial) propriamente dita, como também, a fototerapia (laser) e a termoterapia (ultrassom e infravermelho)

Energia térmica

Assim como a energia cinética está associada à velocidade de um corpo, a energia térmica está associada a sua temperatura. Desse modo, torna-se necessário uma discussão em torno do conceito de temperatura.

As moléculas constituintes da matéria estão sempre em movimento (inclusive no estado sólido) em torno de suas posições de equilíbrio. A esse movimento vibratório das moléculas denominamos *agitação térmica*. Observa-se que quando um corpo recebe energia na forma de calor, ocorre um aumento na agitação de suas moléculas, assim como quando um corpo perde ou cede calor ocorre uma redução na agitação molecular.

A figura 2 mostra os estados de agregação da matéria. No estado sólido fig. (2.c), as forças de coesão (forças de interação entre moléculas de uma mesma substância) são intensas, permitindo somente uma vibração molecular em torno de uma posição de equilíbrio formando uma rede cristalina. No estado líquido fig. (2.b) a agitação molecular é mais intensa fazendo com que a distância entre as moléculas seja geralmente maior e as forças de coesão agora reduzidas, ainda mantêm certa interação entre as moléculas, permitindo somente que umas deslizem sobre as outras (viscosidade). No estado gasoso fig. (2.a) a agitação molecular é intensa e as forças de coesão estão reduzidas a ponto de permitir um movimento praticamente livre das moléculas.

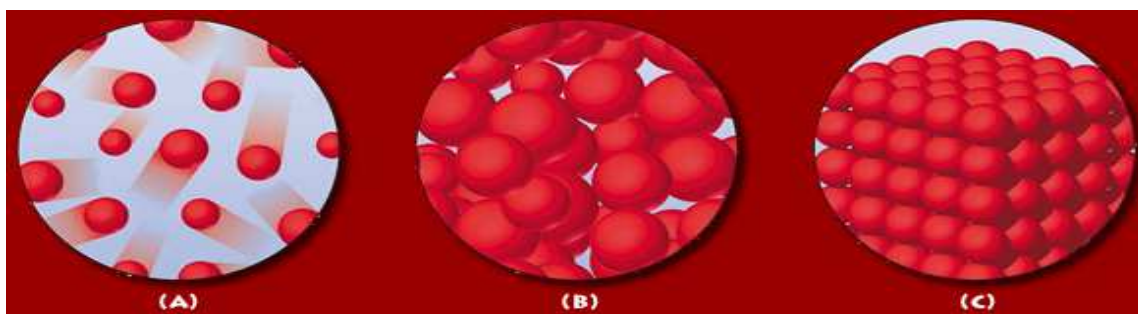


Figura 2: Estados de agregação das moléculas. Em (a) estado gasoso, (b) estado líquido e (c) estado sólido.
Fonte: http://www.qmc.ufsc.br/quimica/pages/aulas/gas_page1.html

É possível observar as diferenças entre as interações moleculares nos três estados físicos, a partir da atividade de simulação computacional proposta no início da aula.

Podemos, de certa forma, dizer que ao fornecermos gradativamente calor a um corpo mantendo a pressão constante, ocorre um aumento de agitação molecular e, conseqüentemente, uma mudança no seu estado de agregação molecular. É o que definimos como ponto de fusão e ebulição para uma determinada temperatura. Desse modo, podemos afirmar que *temperatura é uma grandeza associada ao grau de agitação molecular*.

Imagine agora o que ocorre quando dois corpos com temperaturas diferentes são colocados em contato. Observa-se que o corpo de maior temperatura esfria, enquanto que o corpo de menor temperatura aquece até o momento em que ambos atingem a mesma temperatura. Neste momento dizemos que os corpos atingiram o equilíbrio térmico, ou seja, a mesma temperatura.

Lei Zero

A lei zero da termodinâmica estabelece as condições de equilíbrio térmico entre corpos. Se dois corpos estão em equilíbrio térmico com um terceiro, então todos estão em equilíbrio térmico entre si (fig. 3).

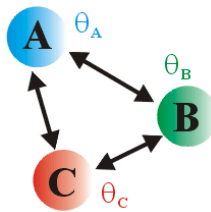


Figura 3: Corpos em equilíbrio térmico
Fonte: www.apice.coop.br

$$\text{Se } T_A = T_C \text{ e } T_B = T_C, \text{ então, } T_A = T_B$$

É através da lei zero que podemos medir a temperatura de um corpo utilizando um termômetro, por exemplo. Quando colocamos o termômetro em contato com o corpo, esperamos certo tempo para que o termômetro atinja o equilíbrio térmico com o corpo. Assim, podemos afirmar que, na verdade, estamos obtendo a temperatura de equilíbrio térmico entre o termômetro e o corpo.

Termômetros

São aparelhos destinados a medir temperatura. No entanto, como visto anteriormente, a temperatura é uma grandeza associada à agitação molecular. Então, como é possível um termômetro medir a agitação molecular?

Na verdade, não podemos medir a agitação molecular, mas podemos utilizar certas propriedades dos materiais que variam com a temperatura, por exemplo, o volume de um líquido ou gás, as dimensões de um sólido ou a resistência elétrica de um condutor. A figura (4.a) apresenta termômetros que se utilizam do fato da agitação molecular ocasionar um

aumento nas dimensões de um corpo (dilatação térmica), a figura (4.b) apresenta um termômetro digital que tem seu funcionamento baseado na variação da resistência elétrica de um condutor com a variação da temperatura e a figura (4.c) apresenta um termômetro que utiliza a variação de volume de um líquido como propriedade termométrica.

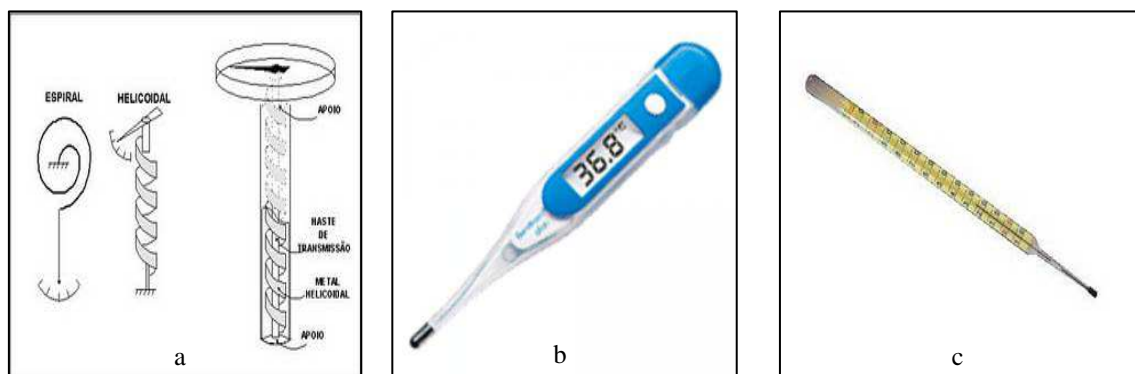


Figura 4: Diferentes tipos de termômetros em função de propriedades termométricas.
Fonte: <http://ansnafisica.blogspot.com/2009/03/termometros.html>

Um tipo de termômetro muito utilizado na área da saúde que utiliza a dilatação de um líquido (mercúrio) como propriedade termométrica e que apresenta características interessantes no seu funcionamento é o termômetro clínico representado na figura (5).



Figura 5: Termômetro clínico.
Fonte: <http://tareafacilmc.blog.com/fisica>

Segundo Garcia (2002) a escala deste termômetro é restrita a um intervalo reduzido, próximo a temperatura corporal normal de 31°C a 41°C , apresenta um estrangulamento que permite que o líquido após atingir um determinado nível não retorne, e por fim, uma lente que permite uma melhor visualização da coluna de mercúrio, já que o filete de líquido é extremamente estreito, para permitir uma maior sensibilidade.

Escalas de temperatura

No decorrer dos tempos, muitas foram as tentativas de se medir e expressar temperaturas. As escalas dos termômetros primitivos adotavam como temperatura mais

elevada a temperatura do corpo humano e a mais baixa a da neve, sendo esse intervalo dividido em 12 partes iguais (Garcia, 2002).

Atualmente são mais comumente utilizadas três escalas de temperatura: Celsius (°C), Fahrenheit (°F) e Kelvin (K). A escala Celsius é adotada pela maioria dos países e como atribui 0°C e 100°C para os pontos de fusão do gelo e ebulição da água, respectivamente, torna-se uma escala de fácil representação. A escala Fahrenheit é utilizada por países que utilizam o sistema inglês de medida e possibilita medir temperaturas em regiões frias que na escala Celsius seriam representadas por valores negativos. A escala Kelvin é também denominada escala absoluta, pois o zero na escala Kelvin representa o zero absoluto, temperatura na qual cessa a agitação molecular, ou seja, na escala Kelvin o zero representa o zero mesmo.

Podemos estabelecer uma relação entre essas três escalas a partir dos pontos fixos a uma pressão de 1 atm. A figura (6) apresenta as três escalas citadas.

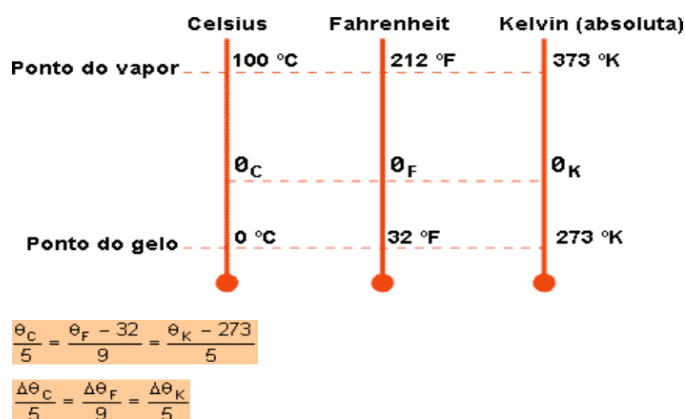


Figura 6: Escalas de termométricas com seus respectivos pontos fixos Fonte: <http://cienciasexataso.blogspot.com>

Calor

Quando um corpo recebe calor a agitação molecular aumenta e, conseqüentemente, sua temperatura também aumenta. Caso ocorra perda de calor, ocorre uma redução na agitação molecular e uma diminuição na temperatura. Dessa forma, podemos definir calor como *energia em trânsito que passa de um corpo para outro, devido a uma diferença de temperatura entre eles*. Uma ideia muito presente, mas errônea, é a de que os corpos possuem calor e que quanto maior a temperatura, maior a quantidade de calor acumulada. Na verdade, o calor é uma forma de energia de movimento, ou seja, só tem sentido falar em calor em quanto a energia térmica flui de um corpo a outro.

O calor como forma de energia somente foi compreendido a partir do século XIX com os trabalhos de Willian Thompson (Conde de Rumford), Joseph Mayer e James Prescott Joule. Antes disso, o calor era entendido como um fluido imponderável denominado calórico (Medeiros, 2009).

No sistema internacional de pesos e medidas, a unidade de calor é dada em Joule (J), porém, é muito comum a utilização da caloria (cal) em função do calórico, como unidade de energia térmica, principalmente na área da saúde.

Por definição 1 caloria (cal) é a quantidade de calor necessária para elevar a temperatura de 1 g de água de 1°C no intervalo de 14,5°C a 15,5°C (Gaspar, 2001).

Joule estabeleceu o equivalente mecânico do calor, ou seja, a relação entre energia e calor. Assim:

$$1 \text{ cal} = 4,186 \text{ J}$$

No caso da quilocaloria (Kcal), vale a relação:

$$1 \text{ kcal} = 1000 \text{ cal}$$

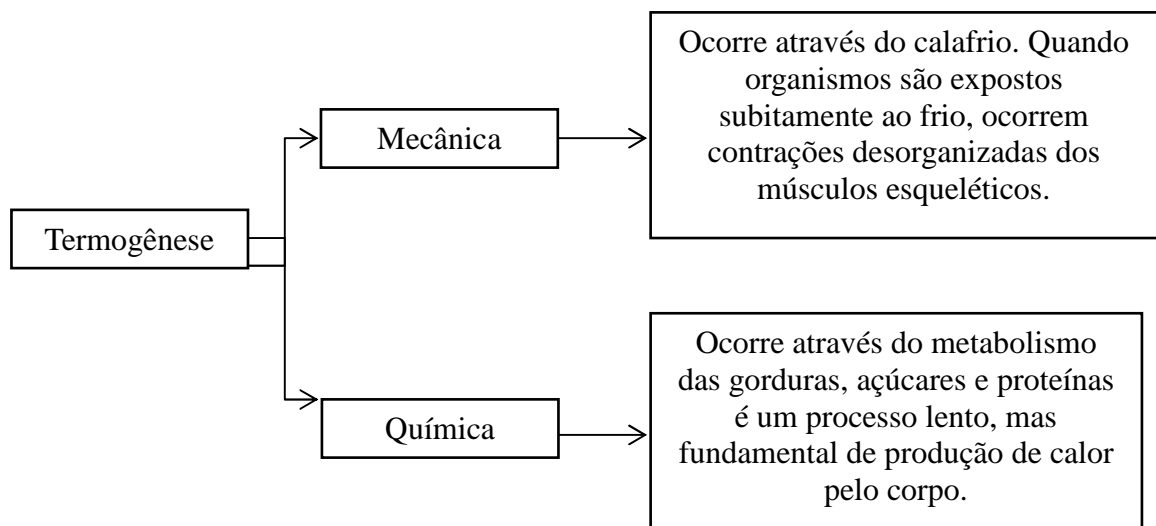
Existe ainda a British Termal Unit (BTU), unidade inglesa para calor. É muito utilizada em equipamentos e máquinas que envolvem energia térmica.

$$1 \text{ BTU} = 252, \text{ cal} = 1.055 \text{ J}$$

Trocas de calor corporal

De acordo com Garcia (2002), o homem como animal homeotermo tem a capacidade de controlar a própria temperatura e para isso utiliza-se de dois processos: Termogênese e Termólise.

Termogênese – processo de produção do calor pelo corpo.



Termólise – processos de dissipação de calor pelo corpo.

O corpo humano perde calor através dos seguintes processos:

- Vaporização
- Condução
- Convecção
- Radiação

Vaporização

É a passagem de uma substância do estado líquido para o gasoso. A vaporização pode ser realizada por ebulição, calefação e evaporação. No corpo humano a vaporização ocorre principalmente ao nível da pele e dos pulmões. A perda de calor por vaporização corresponde de 20% a 25% do calor total perdido pelo corpo. A cada grama de suor o corpo perde 0,58 kcal (Guyton, citado por Garcia, 2002).

Condução

A condução é a forma de transmissão do calor entre corpos quando existe contato entre eles. É o processo onde o calor passa de molécula para molécula através da agitação molecular figura (7). No corpo humano a condução ocorre pelo contato das roupas, na prática de esportes nos exercícios na água.

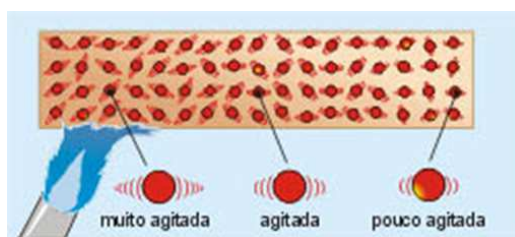
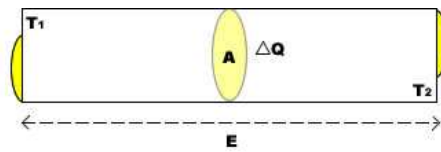


Figura 7: Transmissão do calor por condução
Fonte: <http://portaldoprofessor.mec.gov.br>

Quando o calor flui do corpo com maior para o de menor temperatura, dizemos que existe um *fluxo de calor* (Φ) (Gaspar, 2001) que depende da quantidade de calor que atravessa uma secção transversal em função do tempo figura (8).



$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{k \cdot A \cdot (T_1 - T_2)}{E} \longrightarrow \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \Phi$$

$$\Phi = \frac{k \cdot A \cdot (T_1 - T_2)}{E}$$

ΔQ = quantidade de calor transmitida da região (1) para região (2)

k = coeficiente de condutividade térmica (depende do material)

A = área

E = espessura

T = temperatura

Δt = intervalo de tempo

Figura 8: Fluxo de calor entre das regiões com temperaturas diferentes

Fonte: http://revisaovirtual.com/site/Artigos_111_termologia

Um fato importante na condução do calor no interior dos tecidos vivos é a condutividade térmica dos mesmos. Diferentes tecidos corporais apresentam diferentes condutividades térmicas possibilitando, por exemplo, que o calor se espalhe muito mais rapidamente pelos ossos do que pelos músculos. Na tabela 1 apresentamos a condutividade térmica de diferentes materiais inclusive de tecidos vivos. Materiais com baixa condutividade térmica são denominados isolantes térmicos.

Tabela I: Condutividade térmica de substâncias e tecidos

Material	Condutividade térmica (Ks) (cal/m.s.°C)	Ks/Kar Condutividade térmica em função do ar
Ar	0,026	1,00
Madeira	0,2	7,69
Água	1,4	53,85
Vidro	2,6	100
Areia	93	3576
Alumínio	235	9038
Cobre	401	15423
Gordura	0,45	17,31
Pele	0,898	35,54
Sangue	1,31	50,38
Musculo	1,53	58,85
Osso	2,78	106,92

Fonte: Garcia, 2002 (adaptado)

Exemplo de aplicação de fluxo de calor

Em um determinado tratamento por ultrassom, aplica-se na perna de um paciente ultrassom contínuo a fim de se produzir uma elevação na temperatura local de 4°C. Considerando-se uma área de propagação para o calor tanto pelo músculo quanto pelo osso de 4 cm², determine o fluxo de calor pelo músculo e pelo osso, a 10 cm de distância da região de aplicação do ultrassom.

Resolução:

Osso

$$\varnothing = \frac{k \cdot a \cdot (t_q - t_f)}{e} = \frac{2,78 \text{ cal. } 4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot (4^\circ\text{C})}{\text{m.s.}^\circ\text{C. } 0,1\text{m}} = 0,044 \text{ cal/s}$$

Músculo

$$\varnothing = \frac{k \cdot a \cdot (t_q - t_f)}{e} = \frac{1,53 \text{ cal. } 4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot (4^\circ\text{C})}{\text{m.s.}^\circ\text{C. } 0,1\text{m}} = 0,024 \text{ cal/s}$$

Desse modo podemos observar que o fluxo de calor pelo osso é praticamente duas vezes maior que o fluxo de calor pelo músculo.

Convecção

A convecção é o processo de transmissão do calor que ocorre pelo movimento das massas de fluidos. Segundo Gaspar (2001), quando uma massa de gás ou líquido é aquecida, ocorre uma dilatação e aumento do volume que conseqüentemente reduz a densidade, possibilitando que pela diferença de densidades essa massa adquira um movimento ascendente. Caso ocorra um resfriamento, o volume diminui e a massa apresenta movimento descendente. A esse movimento de massas subindo ou descendo denominamos correntes de convecção. A figura (9) ilustra situações em que o calor se transmite por convecção.

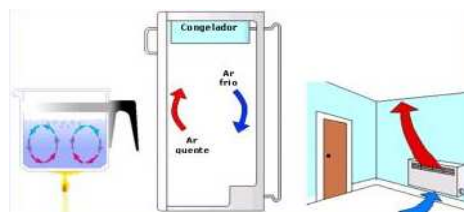


Figura 9: Convecção térmica
Fonte: www.oocities.org/br/saladefisica

As correntes de convecção são responsáveis por diversos fenômenos que observamos no dia-a-dia como o aquecimento de um líquido ou a refrigeração de um ambiente. No corpo humano, devido à dificuldade de medida, não consideramos as perdas por convecção (Garcia, 2002).

Radiação ou irradiação

A transmissão de energia por ondas eletromagnéticas é denominada radiação ou irradiação, sendo que quando a energia é transmitida por infravermelho temos então a irradiação térmica. Assim, a irradiação térmica é o processo de transmissão do calor através de ondas eletromagnéticas na faixa do infravermelho. É o processo mais importante de propagação do calor (Gaspar, 2001).

Podemos observar a irradiação térmica quando recebemos calor do sol, pois como sabemos entre a Terra e o Sol não existe matéria, somente o vácuo, visto que as ondas eletromagnéticas não necessitam obrigatoriamente de meio material de propagação, ou quando sentimos o calor de uma lâmpada incandescente quando colocamos a mão em suas proximidades sem tocá-la.

Quando a energia radiante incide na superfície de um corpo em parte é absorvida, aumentando assim a agitação molecular e, conseqüentemente, sua temperatura, e o restante é retransmitidos para o meio. Todos os corpos com temperaturas acima do zero absoluto trocam radiação na faixa do infravermelho com o meio e conforme podemos observar na figura⁵ (10),

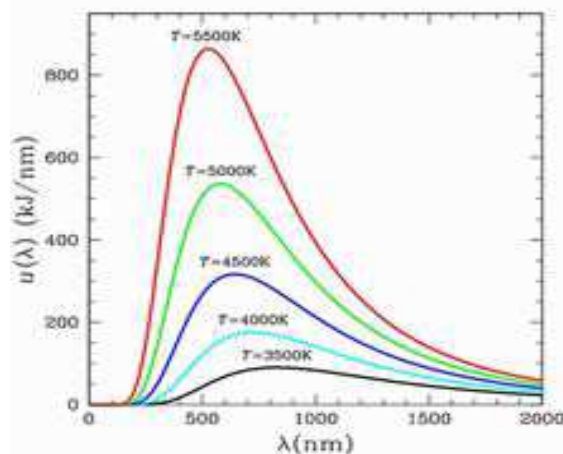


Figura 10: Emissividade em função da temperatura
Fonte: <http://www.hgh.fr>

⁵ A imagem se constitui em um resultado empírico conhecido como lei de Stefan que expressa que existem picos de radiação espectral em função da temperatura.

quanto maior a diferença de temperatura entre a superfície e o meio, maior a quantidade de energia radiada.

Dessa forma, todo corpo bom absorvedor de calor é também um bom emissor, enquanto que um corpo bom refletor é mau emissor. O *corpo negro* é um modelo idealizado de um emissor perfeito. Sendo um emissor perfeito, o corpo negro é também um absorvedor perfeito. Corpos negros são corpos cujas superfícies absorvem toda a radiação térmica incidente sobre eles (Eisberg, 1979).

No corpo humano, 60% da perda de calor ocorrem por irradiação térmica (Garcia, 2002) sendo o resfriamento corporal diretamente relacionado ao poder emissivo. O fluxo de calor para o meio exterior será tanto mais intenso quanto maior for a área do emissor e maior a diferença de temperatura entre o meio e o emissor. Isso explica porque em ambientes a baixas temperaturas, afirmamos sentir frio, quando na verdade, estamos emitindo uma quantidade maior de energia para o exterior.

A pele é o meio de radiação de calor utilizado pelo corpo. Segundo Garcia (Garcia, 2002), os estudos mostram que a pele humana, não importando sua cor, tem uma potência de radiação igual a 97% do corpo negro. Na figura (11) podemos observar a irradiação de calor pelo corpo humano com o auxílio de uma câmera de infravermelho. Regiões com maior temperatura como o tórax e a cabeça são mais irrigadas pelo sangue e conseqüentemente emitem mais radiação. Regiões escuras são pouco irrigadas e conseqüentemente emitem menos radiação.



Figura 11: Irradiação de calor pelo corpo humano
Fonte: <http://komoissofunciona.blogspot.com>

Exemplo de aplicação

A pele de uma pessoa é um bom emissor, tendo emissividade próxima de 1. Considere então que a pele de uma pessoa tem área exposta de $0,27 \text{ m}^2$. Supondo que a temperatura da pele é de 37°C e o ambiente esteja a 27°C , determine:

a) O poder emissivo da pele

$$E = e \cdot \sigma \cdot T^4$$

$$E = 1,5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 310^4$$

$$E = 523 \text{ W/m}^2$$

b) A potência líquida que a pele irradia para o ambiente

$$P = e \cdot \sigma \cdot T_p^4 \cdot a - e \cdot \sigma \cdot T_a^4 \cdot a$$

$$P = 1,5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 310^4 \cdot 0,27 - 1,5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 300^4 \cdot 0,27$$

$$P = 141,3 - 124 = 17,3 \text{ W}$$

A potência líquida estabelece uma relação entre o que o corpo emite de radiação e o que ele absorve do meio. Estamos constantemente emitindo radiação, porém estamos também absorvendo.

ANEXO D

Applet sobre ondas

Acesse o site: http://www.fisicanimada.net.br/?q=ondas/propagacao_ondas e responda as seguintes questões:

- 1) Regule a amplitude para 1m, a frequência para 1Hz e a espessura da corda (string thickness) em 2cm e de play. Que tipo de onda se formou? Por quê? O que representa o ponto vermelho? Qual é o movimento descrito pelo ponto vermelho? Qual o comprimento de onda formado (wavelength)?
- 2) Agora mude a frequência para 3 Hz. O que você observa? Quanto vale agora o comprimento de onda?
- 3) Regule agora a amplitude para 0,5 m e a frequência para 1 Hz. Qual o valor observado para o comprimento de onda?
- 4) Com base na animação, qual a relação que se pode estabelecer entre frequência e comprimento de onda? E entre comprimento de onda e amplitude?

ANEXO E

TEXTO DE APOIO: Ondas

Uma onda surge quando um sistema é perturbado de sua posição de equilíbrio e a perturbação se propaga de uma região a outra do sistema. Podemos citar como exemplo o lançamento de uma pedra sobre a superfície da água figura (1).



Figura 1: Ondas na superfície da água.
Fonte: //artemontanha.blogspot.com

É fácil observarmos que no ponto onde a pedra atinge a água ocorre um deslocamento do líquido, mas como a superfície do líquido tende a retornar a posição inicial, a perturbação tende a se afastar do ponto de impacto, formando uma sucessão de diversas perturbações concêntricas. *Cada uma das perturbações é denominada pulso e o movimento do pulso constitui uma onda.*

Podemos ainda observar o movimento de um corpo flutuante, nas proximidades do ponto onde a pedra atingiu a água. O corpo oscila verticalmente conforme os pulsos se propagam, porém não observamos um movimento no sentido de propagação da onda, o que nos leva a afirmar que em sua propagação ou deslocamento, uma onda transfere energia entre dois pontos, porém nunca transferindo matéria (fig. 2).

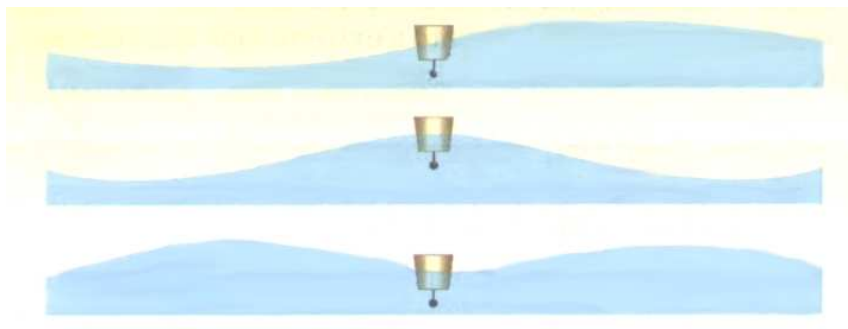


Figura 2: Oscilação vertical de um objeto devido a uma oscilação.

Fonte: <http://ww2.unime.it/weblab/awardarchivio/ondulatria/ondas.htm>

As ondas podem ser classificadas de acordo com a direção de propagação da energia, quanto à direção de propagação e quanto à natureza.

Quanto à direção de propagação da energia:

Unidimensionais – propagam-se em uma única dimensão (fig. 3). Ex. ondas em cordas



Figura 3: Onda Unidimensional
Fonte: <http://davinci.if.ufrgs.br>

Bidimensionais – propagam-se em duas dimensões ou em um plano (fig. 4). Ex. as ondas na superfície dos líquidos.

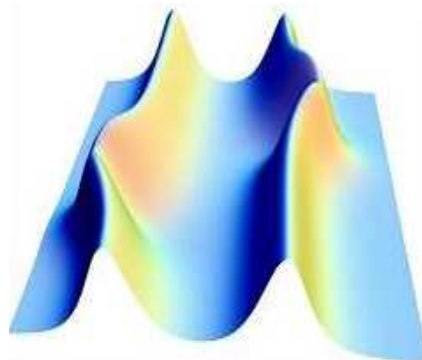


Figura 4: Ondas bidimensionais em líquidos
Fonte: <http://ciencias7.blogs.sapo.pt/5413.html>

Tridimensionais – propagam-se em todas as dimensões (fig. 5). Ex. ondas sonoras e ondas eletromagnéticas.

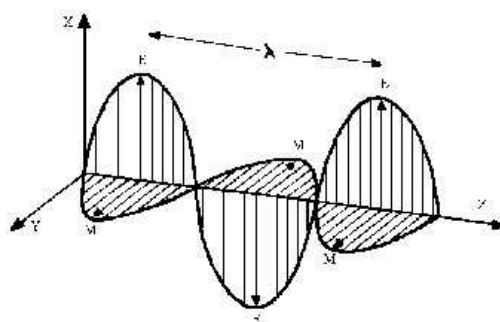


Figura 5: Ondas tridimensionais
Fonte: <http://www.brasilecola.com/fisica>

Quanto à direção de propagação:

Ondas transversais – têm a direção de propagação perpendicular à direção de vibração (fig. 6) como, por exemplo, as ondas eletromagnéticas.



Nas ondas transversais, a propagação e a vibração são perpendiculares

Figura 6: Onda transversal
Fonte: <http://educacao.uol.com.br/fisica>

Ondas longitudinais – a direção de propagação é a mesma da direção de vibração (fig. 7). As ondas em líquidos e gases assim como o som são exemplos desse tipo de onda.

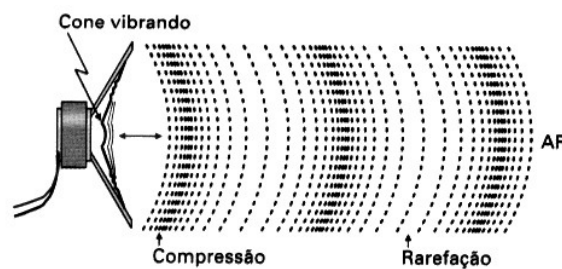


Figura 7: Onda Longitudinal
Fonte: <http://www.infoescola.com/fisica>

Quanto à natureza:

Ondas mecânicas

São ondas que necessitam obrigatoriamente de um meio material para se propagar, ou seja, transportam energia através da vibração das partículas do meio. A velocidade de propagação das ondas mecânicas depende exclusivamente das características do meio em que a onda se movimenta (fig. 8). Em geral a velocidade é maior nos líquidos que nos gases e maior nos sólidos que nos líquidos.



Figura 8: Velocidade do som
Fonte: <http://www.sobiologia.com.br>

Como exemplo de ondas mecânicas pode-se citar: o som, as ondas em cordas e na superfície de líquidos. Uma aplicação muito importante das ondas mecânicas em processos de terapia é o ultrassom (fig. 9), que se constitui em uma vibração mecânica acima da frequência audível.



Figura 9: Ultrassom terapêutico
Fonte: <http://pt.dreamstime.com>

Ondas eletromagnéticas

Segundo Young (2009), a partir dos trabalhos científicos de Coulomb, Ampère e Faraday, que estabeleceram os princípios da eletricidade, o físico escocês Maxwell desenvolveu na década de 1860 uma teoria na qual generalizou esses princípios.

A lei de Faraday nos ensina que a variação de um campo magnético produz um campo elétrico (Halliday, 1995). A figura (10) representa um esquema proposto por Faraday, ao movimentar-se o ímã próximo a um condutor, origina-se no condutor um campo elétrico que movimenta as cargas do condutor (corrente induzida).

Maxwell então verificou que o processo inverso também era possível, ou seja, que um campo elétrico variável é uma fonte de campo magnético (Halliday, 1995). A figura (11) mostra um esquema em que ao se aumentar a carga elétrica das placas verifica-se uma variação do campo elétrico e conseqüentemente a criação de um campo magnético.

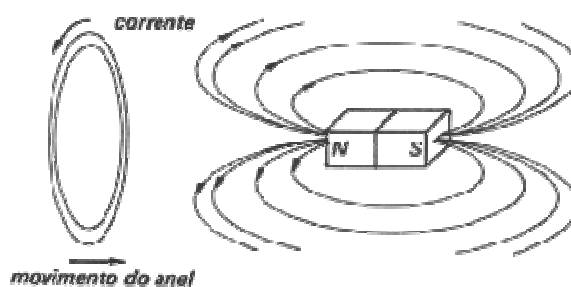


Figura 10: Um campo magnético variável produz um campo elétrico
Fonte: <http://www.algosobre.com.br>

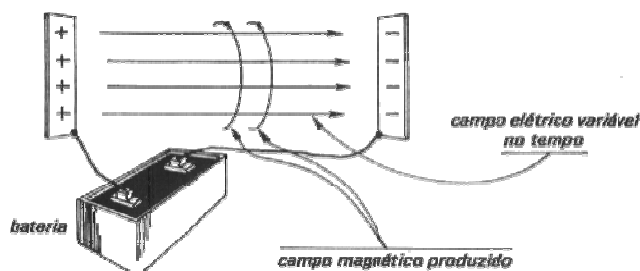


Figura 11: Um campo magnético variável produz um campo elétrico
 Fonte: <http://www.algobre.com.br>

Desse modo, Maxwell estabeleceu os princípios básicos que descrevem os fenômenos eletromagnéticos:

Um campo elétrico variável no tempo produz um campo magnético;

Um campo magnético variável no tempo produz um campo elétrico.

A verificação experimental de sua teoria só foi possível a partir da consideração de um novo tipo de onda, as **ondas eletromagnéticas**. Essas ondas surgem como consequência de dois efeitos: Um campo magnético variável produz um campo elétrico que por sua vez produz um campo magnético (fig. 12). Esses dois campos em constantes e recíprocas induções propagam-se pelo espaço (Halliday, 1995).

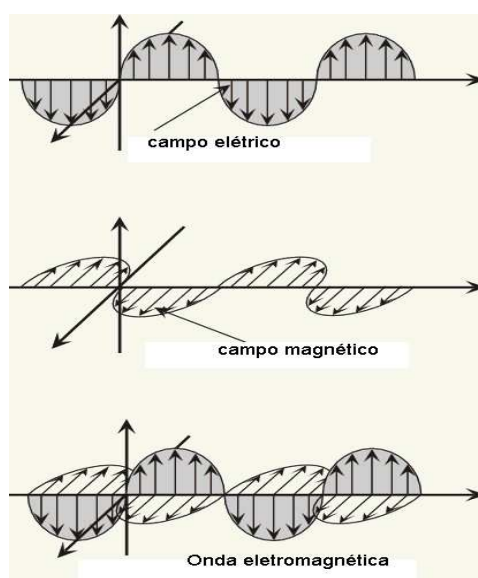


Figura 12: Ondas eletromagnéticas

Fonte: <http://www.deltateta.com.br>

Ao contrário das ondas mecânicas, as ondas eletromagnéticas não necessitam obrigatoriamente de um meio material para sua propagação, ou seja, ondas eletromagnéticas podem se propagar no vácuo com velocidade constante “c” (3.10^8 m/s) igual a da luz e em meios materiais com velocidade menor que a sua velocidade no vácuo. Vale frisar que a luz, propriamente dita, é uma onda eletromagnética com frequência na região do espectro visível.

Elementos de uma onda:

Para descrever matematicamente uma onda, é necessário uma série de grandezas como velocidade, amplitude, frequência, período e comprimento de onda. A figura (13) apresenta uma onda periódica⁶ com seus principais elementos.

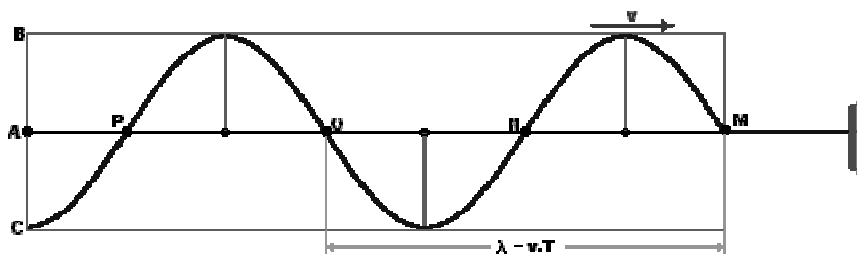


Figura 13: Onda periódica
Fonte: <http://www.infoescola.com/fisica>

Velocidade (v) – é a rapidez com que uma onda desloca-se em um determinado meio ou no vácuo (caso onda eletromagnética).

Amplitude – corresponde à oscilação máxima de uma onda, é a altura da crista ou do vale.

Frequência (f) – representa o número de oscilações que uma onda realiza em um determinado intervalo de tempo. Também pode ser definida como o inverso do período. A unidade de frequência no S.I é o Hertz (Hz) que representa o numero de oscilações completas que uma onda executa em um segundo.

$$f = \frac{\text{n}^{\text{a}} \text{ de oscilações completas}}{\text{tempo}} \qquad f = \frac{1}{T}$$

⁶ São trens de ondas produzidas por uma fonte com oscilações regulares, de período constante. Se as oscilações forem harmônicas simples, vão se propagar ondas harmônicas simples (Gaspar, 2001).

Período (T) – representa o tempo necessário para uma onda realizar uma oscilação completa.

$$T = \frac{\text{tempo decorrido}}{\text{n}^\circ \text{ de oscilações completas}} \quad T = \frac{1}{f}$$

Comprimento de onda (λ) – corresponde à distância entre duas cristas consecutivas, dois vales consecutivos ou a distância correspondente a uma oscilação completa. O comprimento de onda é inversamente proporcional à frequência para uma dada velocidade, isto é, quanto maior o comprimento de onda menor a frequência.

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

Espectro eletromagnético

O espectro eletromagnético representado na figura (14) apresenta o intervalo conhecido da radiação eletromagnética. Sua constituição é baseada em duas características fundamentais das ondas: comprimento de onda e frequência, medidos no vácuo, a medida que a frequência aumenta o comprimento de onda diminui.

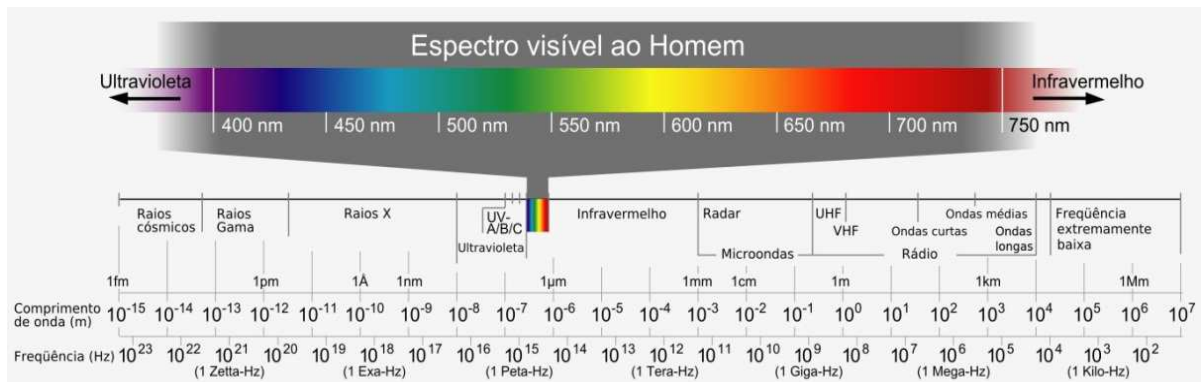


Figura 14: Espectro eletromagnético enfatizando a radiação visível

Fonte: fisicasesmisterios.webnode.com.br

O espectro eletromagnético compreende um intervalo contínuo de frequências e comprimento de ondas, onde determinamos diferentes faixas correspondentes aos diversos tipos de ondas eletromagnéticas existentes. A figura (15) apresenta outra representação do espectro eletromagnético relacionando o comprimento de onda a outros elementos.

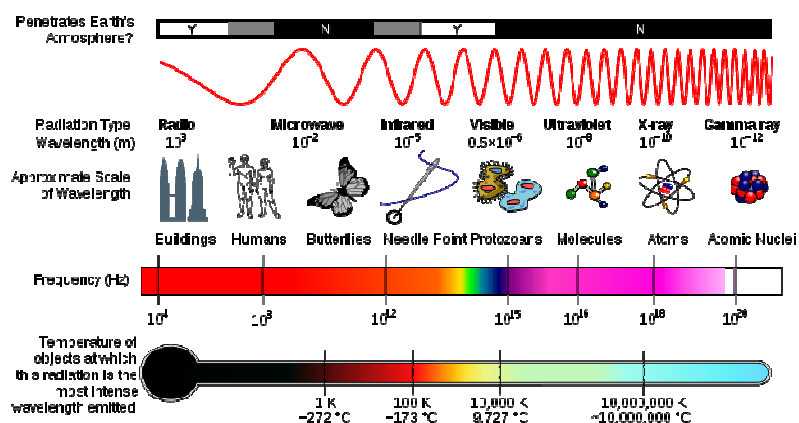


Figura 15: Espectro eletromagnético relacionado o comprimento de onda
 Fonte: http://pt.wikipedia.org/wiki/Espectro_eletromagnetico

O conhecimento das ondas eletromagnéticas é de vital importância para o Fisioterapeuta, já que alguns equipamentos de terapia utilizam esse tipo de vibração ondulatória como elementos de tratamento. Entre os equipamentos de terapia que utilizam ondas eletromagnéticas para terapia podemos citar: as lâmpadas de infravermelho e o laser.

Ondas de rádio

As ondas de rádio são radiações eletromagnéticas com frequências entre 10^5 Hz a 10^8 Hz e comprimentos de onda de alguns metros a centenas de quilômetros (fig. 16). São produzidas quando uma carga elétrica oscila em uma antena, produzindo assim um campo elétrico variável e conseqüentemente um campo magnético também variável. São usadas em transmissões de dados, imagens, vídeo entre outros⁷.

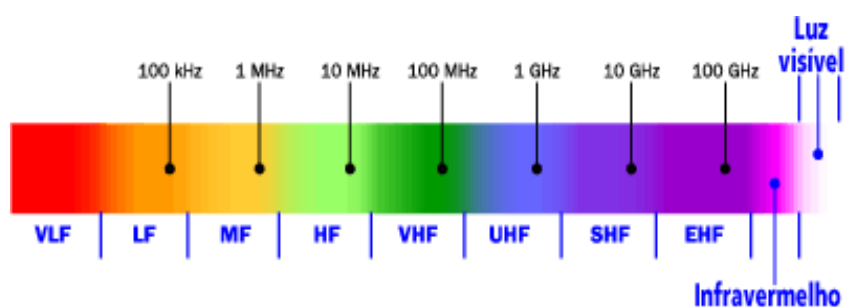


Figura 16: Espectro das ondas de rádio
 Fonte: <http://www.hsw.uol.com.br/>

⁷ Como funcionam as ondas de rádio. Disponível em <http://www.abert.org.br/site/images/stories/pdf/comofuncionamasondasderadio.pdf>. Acesso em: 12 de mar. 2011.

O processo inverso ocorre quando a onda eletromagnética chega a uma antena, o campo elétrico da onda induz o movimento dos elétrons da antena a uma mesma frequência de oscilação da onda. Esse processo permite então, que capturemos no rádio diferentes frequências.

O espectro das ondas de rádio permite muitas utilizações, as mais comuns são:

Rádio AM - 535 quilohertz a 1.7 mega-hertz

Canais de TV - 54 a 88 mega-hertz do canal 2 até o 6

Rádio FM - 88 mega-hertz a 108 mega-hertz

Canais de TV - 174 a 220 mega-hertz do canal 7 até o 13

Micro-ondas

As micro-ondas são ondas eletromagnéticas com frequências entre 10⁹ Hz a 10¹¹ Hz e comprimento de onda de 1m a 1 mm.

Existem várias aplicações para esse tipo de onda, entre as mais importantes estão a utilização em telecomunicações (celulares), fornos de micro-ondas e radares⁸.

As micro-ondas utilizadas em fornos de micro-ondas utilizam uma frequência em torno de 2,5 GHz. No interior do aparelho o magnétron produz um campo magnético através da vibração dos elétrons. Através desse campo, as micro-ondas polarizam as moléculas de água fazendo com que girem cerca de 2500 milhões de vezes por segundo, produzindo dessa forma calor. As micro-ondas têm a capacidade de penetrar profundamente nos alimentos produzindo um aquecimento interno uniforme, reduzindo assim o tempo de aquecimento.

Infravermelho

A radiação infravermelha é uma parte da radiação eletromagnética cujo comprimento de onda é maior que o da luz visível e menor que o das micro-ondas. A região de frequência do infravermelho se estende de 10¹² Hz a 10¹⁴ Hz.

Este tipo de radiação pode ser compreendido como ondas de calor, dessa forma qualquer corpo que esteja a uma temperatura superior ao zero absoluto (0 Kelvin), irradiará ondas de infravermelho. Assim uma fogueira, um aquecedor, um metal aquecido ou o próprio corpo humano e de outros animais são bons emissores de ondas de infravermelho, já que o

⁸ O que é radiação de micro ondas? Disponível em <<http://cienctec.com.br/wordpress/index.php/o-que-e-radiacao-de-microondas/>>. Acesso em: 05 abr. 2011.

poder emissivo é proporcional à temperatura (quanto maior a temperatura, maior a emissão de ondas de calor na faixa do infravermelho).

Um importante fato aplicado às radiações infravermelhas está relacionado ao processo de transmissão de calor do Sol à Terra. Porém, uma aplicação importante descoberta pelo homem está na medicina. Fotografias obtidas com infravermelho revelam informações que não são detectadas por outros processos, a termografia térmica permite obter informações não reveladas por raios-x, por exemplo. O uso desse método tem se revelado de grande auxílio no diagnóstico de doenças inflamatórias, como artrites e distensões musculares⁹.

Luz Visível

A luz visível ou simplesmente luz é uma radiação eletromagnética com frequência compreendida entre 10^{14} Hz a 10^{15} Hz. Neste intervalo existem inúmeras frequências ou como costumeiramente nos referimos; inúmeras cores. É comum dividir o intervalo da luz visível em sete grupos¹⁰. A tabela I apresenta as sete cores fundamentais com suas respectivas frequências e comprimento de onda.

Tabela I: Cores do espectro visível com respectivos comprimentos de onda e frequência em relação ao vácuo.

Cor	Comprimento de onda (nm)	Frequência (THz)
Vermelho	625 a 740	480 a 405
Laranja	590 a 625	510 a 480
Amarelo	565 a 590	530 a 510
Verde	500 a 565	600 a 530
Ciano	485 a 500	620 a 600
Azul	440 a 485	680 a 620
Violeta	380 a 440	790 a 680

Fonte: <http://www.infoescola.com/fisica/espectro-visivel/>

Ultravioleta

A radiação ultravioleta possui um comprimento de onda menor que a luz visível e maior que os raios-X, de 380 nm a 1 nm. A faixa de frequência compreendida por essa radiação é denominada ultravioleta por estar além do violeta do espectro visível.

⁹ Radiação infravermelha. Disponível em <<http://www.algosobre.com.br/fisica/radiacao-infravermelha.html>>. Acesso em: 12 de mar. 2011.

¹⁰ Espectro visível. Disponível em <<http://www.infoescola.com/fisica/espectro-visivel/>>. Acesso em 18 de mar. 2011.

São subdivididas em três faixas¹¹:

UVA – corresponde à maior parte do espectro ultravioleta, penetra profundamente na pele e é responsável pela síntese da vitamina D no organismo. A radiação UVA é também a responsável pelo bronzeamento da pele, pois estimula a produção de melanina que produz o escurecimento da pele. O excesso de radiação nessa faixa pode provocar ainda o surgimento de rugas e o envelhecimento precoce da pele.

UVB – possui maior frequência que a UVA, atinge as camadas mais superficiais da derme e provoca uma dilatação dos capilares sanguíneos e conseqüentemente vermelhidão por exposição. Alguns filtros solares bloqueiam apenas a ação do UV-A, outros apenas o UV-B, mas o ideal é usar um filtro solar que além de um FPS (fator de proteção solar) auto, tenha também proteção UV-A e UV-B.

UVC - Esta parte do espectro eletromagnético das radiações ultravioletas não alcança a terra, pois são absorvidos pela camada de ozônio da atmosfera. A radiação UVC é germicida e mostra-se altamente danosa à pele humana, devido ao seu alto teor de energia. Seu efeito bactericida faz com que seja utilizada em dispositivos de esterilização.

Raios X

Os raios X são radiações eletromagnéticas com comprimento de onda de pm a nm (10^{-12} a 10^{-9}). São radiações muito energéticas, cuja geração é realizada pela transição de elétrons através das camadas do átomo ou pela desaceleração de elétrons¹².

Foi Wilhelm Conrad Röntgen em 1895 quem descobriu os Raios X. A descoberta dos Raios-X ocorreu quando Röntgen estudava o fenômeno da condução da eletricidade num tubo de Crookes¹³.

O dispositivo gerador de Raios-X é chamado de tubo de Coolidge ou ampola de raios X (fig. 17). Este dispositivo é composto de um cátodo que emite elétrons através do efeito termoiônico e do ânodo onde ocorre a desaceleração dos elétrons. A ampola constitui-se de

¹¹ SEELING. M. Radiação Ultravioleta. Jun, 2003. Disponível em <<http://www.segurancaetrabalho.com.br/download/rad-uv-seelig.pdf>>. Acesso em 18 mar. 2011.

¹² Raios-X. Disponível em <http://www.if.ufrgs.br/tex/fis142/fismod/mod05/m_s01.html>. Acesso em: 20 abr. 2011.

¹³ A descoberta dos raios x. Disponível em <http://www.if.ufrgs.br/tex/fis142/fismod/mod06/m_s01.html>. Acesso em: 20 abr. 2011.

um tubo onde se faz o vácuo e onde os elétrons são acelerados em direção ao ânodo por uma grande diferença de potencial.

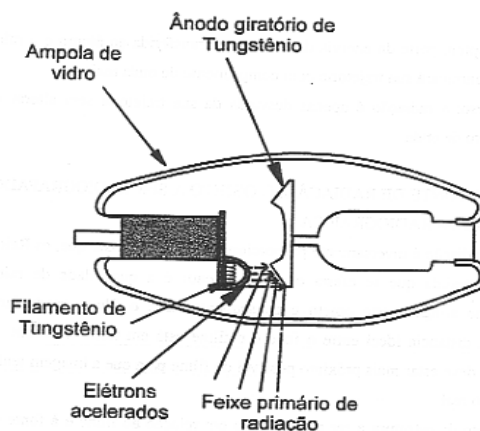


Figura 17: Ampola de raios-x
Fonte: <http://www.hsw.uol.com.br/>

Raios Gama

Os raios gama são radiações altamente energéticas, são as ondas com a maior frequência e menor comprimento de onda do espectro eletromagnético, possuindo comprimentos de onda de até 10^{-18} m. É um tipo de radiação emitida pelos núcleos dos átomos radioativos ou naturais que se rearranjam emitindo partículas.

O maior risco da radiação gama está na interação com o tecido humano, visto que essa radiação produz nos organismos mutações genéticas. Por outro lado, as radiações ionizantes podem ser usadas com grande eficiência na esterilização de aparelhos hospitalares.

Uma das aplicações mais modernas das radiações ionizantes está na Radioterapia¹⁴. Radioterapia é um processo usado no tratamento de tumores através da destruição dos tecidos infectados pela absorção da energia das radiações sendo que a dose da radiação aplicada deve ser muito bem controlada, a fim de não danificar o tecido saudável. Graças à radioterapia, muitas pessoas hoje podem ser curadas ou terem uma significativa melhora na qualidade de vida.

Fenômenos ondulatórios

Reflexão

A reflexão de ondas é o fenômeno que ocorre quando uma onda atinge um obstáculo e muda a direção de propagação, mantendo seu meio de propagação. Seus principais parâmetros

¹⁴ Novas tecnologias ligadas à saúde. Disponível em <<http://novastecnologiassaude.blogspot.com/search/label/Radioterapia>>. Acesso em: 25 abr. 2011.

como o comprimento de onda, velocidade e frequência não são alterados pela reflexão. A figura (18) apresenta um esquema de uma onda sofrendo reflexão.

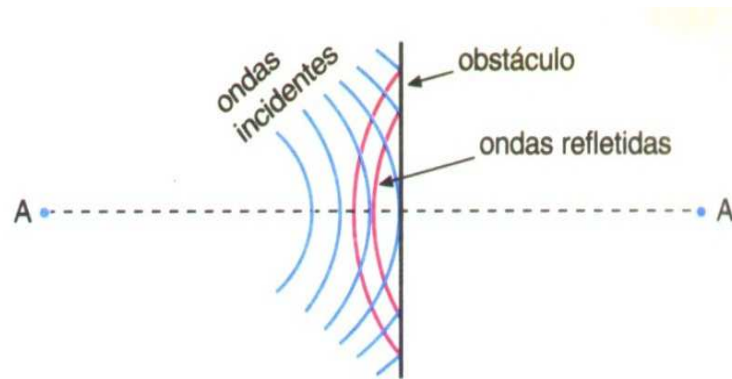


Figura 18: Reflexão de ondas
 Fonte: <http://ww2.unime.it/weblab/awardarchivio/ondulatoria/ondas.htm>

Refração

Ocorre quando uma onda que se propaga em um determinado meio (fig. 19), incide em uma superfície de separação entre dois meios e a atravessa, passando a se propagar nesse segundo meio. Nessa passagem de um meio para outro se verifica que a velocidade de propagação e o comprimento de onda se modificam, porém, a frequência permanece constante. A mudança de direção da onda pode ser explicada pela lei de Snell-Descartes.

$$\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

Onde:

i = ângulo de incidência

r = ângulo de refração

v_1 e v_2 = velocidades da onda nos meios 1 e 2 respectivamente

λ_1 e λ_2 = comprimentos de onda nos meios 1 e 2 respectivamente

n_2 e n_1 = índices de refração dos meios 1 e 2 respectivamente

A razão entre índice de refração entre dois meios é a razão entre a velocidade da luz no meio 1 (v_1) e a velocidade da luz no meio 2 (v_2) (Gaspar, 2001). Podemos ainda, de certa forma afirmar que o índice de refração é a resistência à passagem da luz que um determinado meio oferece. Para o vácuo, o índice de refração da luz é 1, portanto, é o menor valor possível.

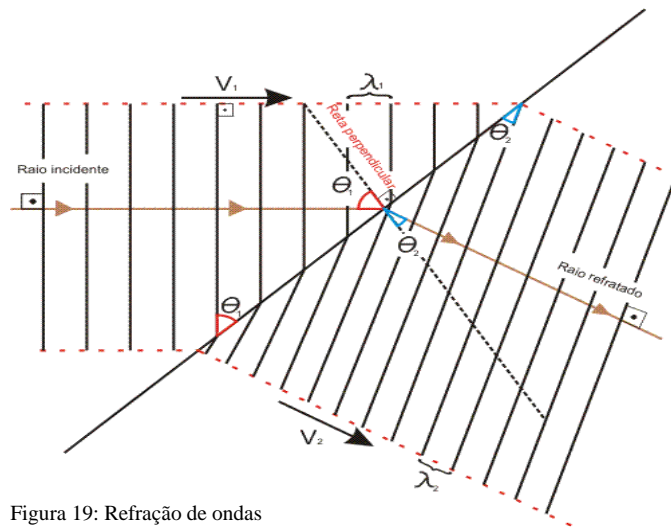


Figura 19: Refração de ondas
 Fonte: <http://www.sofisica.com.br/conteudos/Ondulatória/Ondas/refracao.php>

Na refração podemos observar um comportamento diferente quanto à luz e ao som. A figura (20a) mostra que quando a luz passa de um meio menos refringente (com índice de refração menor) para um meio mais refringente, sua direção se aproxima da normal, no caso do som, na figura (20b) pode-se observar o afastamento da normal.

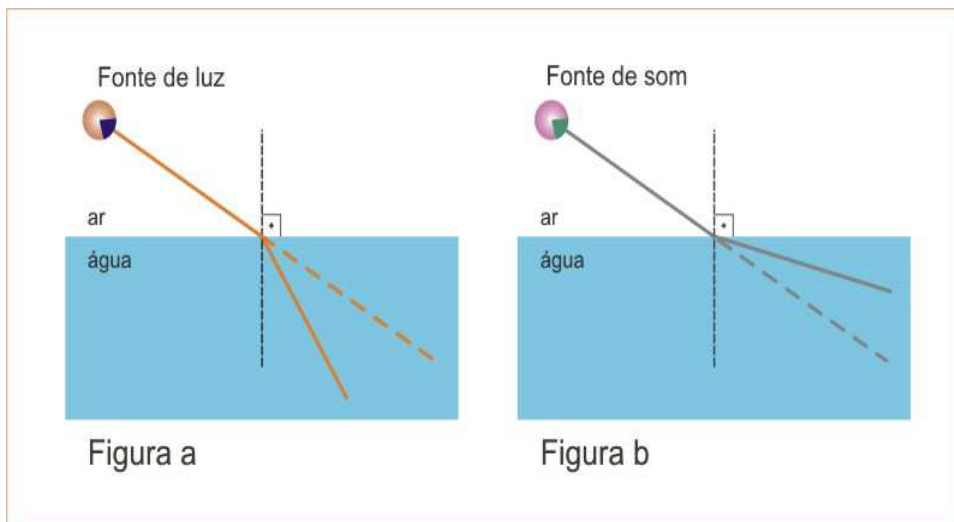


Figura 20: Refração da luz e do som
 Fonte: <http://osfundamentosdafisica.blogspot.com/2010/09/ondas.htm>

Difração

A difração pode ser explicada pelo princípio de Huygens: quando pontos de uma abertura são atingidos pela frente de onda, eles se tornam fontes de ondas secundárias que mudam a direção de propagação da onda principal, contornando o obstáculo (Ramalho, 2007). Porém, o fenômeno da difração somente será perceptível quando as dimensões do comprimento de onda da onda incidente forem da mesma magnitude da ordem de grandeza do obstáculo (fig. 21).

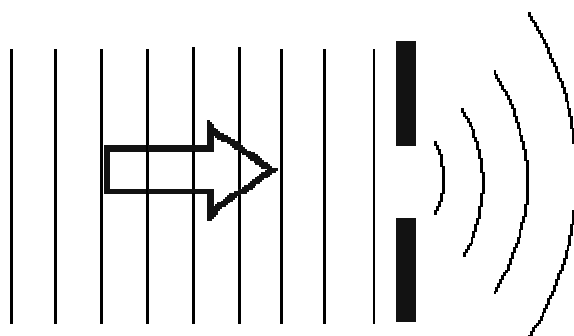


Figura 21: Difração de ondas
Fonte: <http://educar.sc.usp.br/licenciatura/2003/of/Difracao.html>

Interferência

A interferência de ondas é um fenômeno resultante da superposição de duas ou mais ondas (Ramalho, 2007). Quando duas ou mais ondas se encontram em um determinado ponto, ocorre nesse ponto uma soma algébrica das propriedades das ondas. Depois do cruzamento das ondas, cada uma segue como se não houvesse ocorrido a superposição. O princípio da superposição garante que ondas, ao contrário de partículas, não alterem suas características quando interagem (Gaspar, 2001). A superposição pode ter um caráter de aniquilação, quando as fases não são as mesmas (interferência destrutiva) ou pode ter um caráter de reforço quando as fases combinam (interferência construtiva). A figura (22) apresenta os tipos de interferência que podemos encontrar em ondas.

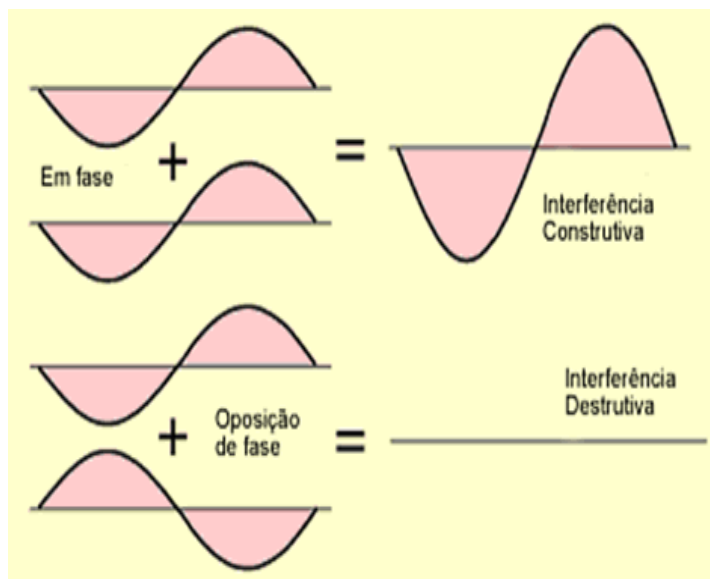


Figura 2: Interferência de ondas
 Fonte: <http://esec.pt/~pcarvalho/pondas.html>

Polarização

Polarizar uma onda significa filtrar suas diferentes direções de vibração, ou seja, obter vibrações numa única direção. A figura (23) mostra diferentes maneiras de se polarizar a luz. A polarização ocorre somente com ondas transversais como a luz, desse modo não podemos polarizar ondas mecânicas como o som, por exemplo.

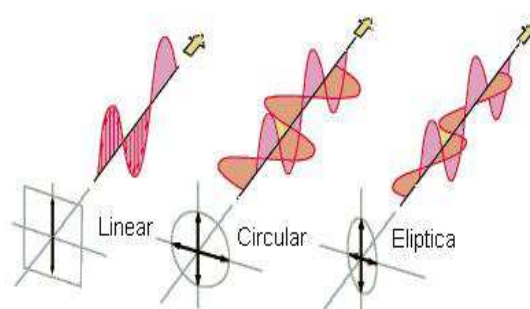


Figura 23: Polarização de ondas eletromagnéticas
 Fonte: <http://www.ifi.unicamp.br>

Dispersão

Segundo Young (2009. b), a luz branca é uma superposição de diferentes frequências ou cores. No vácuo, a luz e todas suas componentes, apresentam a mesma velocidade, porém no interior de um material a velocidade varia de acordo com o comprimento de onda. Assim,

quando a luz atravessa um determinado material, o índice de refração aumenta quando o comprimento de onda diminui ou quando a frequência aumenta. A luz que possui comprimento de onda maior se desloca com velocidade superior àquela que possui comprimento de onda menor (2009. b). A figura (24) mostra a dispersão da luz branca ao atravessar um prisma de vidro. A frequência das cores aumenta a partir do vermelho para o violeta.

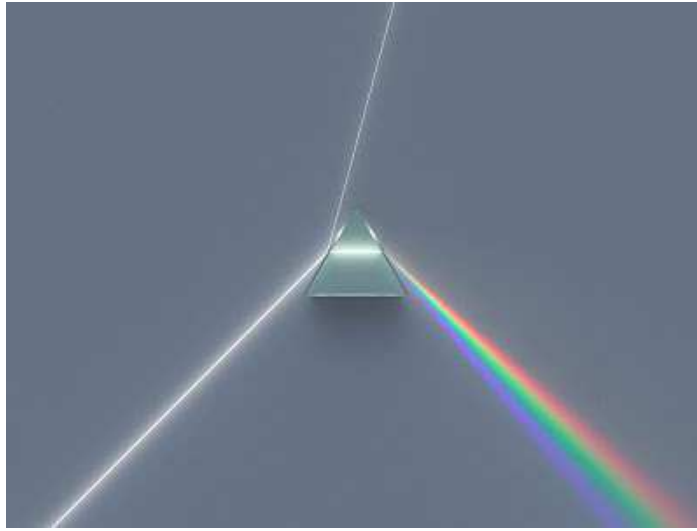


Figura 24: Dispersão da luz branca em um prisma

<http://profbiriba.blogspot.com/2011/01/aula-dispersao-da-luz-por-um-prisma.html>

ANEXO F

Lâmpada de Infravermelho

É um equipamento que utiliza ondas eletromagnéticas de infravermelho a fim de produzir aquecimento. Classifica-se como energia radiante, pois não existe um contato direto com o corpo. A figura (1) ilustra uma lâmpada de infravermelho emitindo calor por radiação. Os geradores de radiação infravermelha, assim como as lâmpadas, produzem radiação pela passagem de uma corrente elétrica em um filamento de tungstênio dentro de um bulbo de vidro, que contém um gás inerte a baixa pressão.



Figura 1: Lâmpada de infravermelho

Podemos ainda contar com geradores de ondas infravermelhas não luminosas, como os filamentos resistivos enrolados em porcelana.

As radiações de infravermelho apresentam comprimentos de onda variando de 770 a 10.000 nm sendo consideradas terapêuticas as frequências próximas de 10.000 nm (Agne, 2004). As radiações infravermelhas podem ser refletidas, absorvidas, refratadas e sofrer difração, contudo, a absorção e a reflexão os efeitos mais desejáveis biologicamente e clinicamente.

Kitchen (2003), afirma que as radiações infravermelhas produzem aquecimento devido a absorção da radiação, que produz aumento na agitação molecular e, conseqüentemente, alterações térmicas.

Segundo Agne (2004, p. 228) em nível local são considerados os seguintes efeitos:

- Eritema de rápido aparecimento, produzindo por vasodilatação cutânea em função do aumento da temperatura. A duração desse eritema pode chegar até 1 hora.

- Efeito anti-inflamatório e de cicatrização, decorrente do maior aporte de nutrientes e células de defesa.
 - Aumento da sudorese.
 - Relaxamento muscular pela maior irrigação sanguínea, facilitando a preparação para o exercício.
- De forma geral, o aquecimento em todo o organismo produz:
- Vasodilatação superficial generalizada que pode produzir redução da pressão arterial,
 - Sedação e relaxamento geral.

O infravermelho se constitui em uma forma de aquecimento, sendo sua penetração bastante controversa. Segundo Agne (2004), há um consenso de que o calor atinja de 5 a 10 mm abaixo da pele sendo, portanto, o infravermelho considerado uma modalidade de aquecimento superficial. Porém a potência da fonte (lâmpada), o tipo de tecido irradiado, o ângulo de aplicação e o comprimento de onda utilizado constituem fatores que interferem e determinam a penetração do infravermelho. A dosagem é determinada por fatores como a potência da lâmpada, a distância da fonte a pele e o tempo de aplicação.

As principais indicações do calor por infravermelho ocorrem quando há necessidade de aumento da temperatura dos tecidos, buscando o relaxamento muscular. Nunca esquecendo que o calor é um coadjuvante no tratamento, precedendo outras técnicas (Agne, 2004).

ANEXO G

Laser

A palavra Laser significa “Luz Amplificada por Emissão Estimulada de Radiação” (Light Amplification by the Stimulated Emission of Radiation). Embora Albert Einstein tenha descoberto a emissão estimulada da radiação, somente em 1960 Theodore Maiman (fig. 1), produziu o primeiro disparo desse tipo especial de luz com auxílio de um rubi (Kitchen, 2003).



Figura 1: Theodore Maiman e o seu laser de rubi
Fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/Theodore_Maiman

O átomo pode ser compreendido de uma maneira simples, como um núcleo formado de prótons e nêutrons e uma região externa denominada eletrosfera onde circulam, em determinadas órbitas, os elétrons.

O estado natural e, portanto, de menor energia de um átomo é configurado quando os elétrons vão preenchendo as órbitas de menor para maior energia obedecendo ao Princípio de Exclusão de Pauli¹⁵. Esse estado é denominado de estado fundamental do átomo. A figura (2) apresenta um esquema do átomo com os níveis K, L e M. Cada uma dessas órbitas, também chamadas de camadas, possui uma energia diferente, sendo que quanto mais distante a camada estiver do núcleo, maior a sua energia¹⁶.

Quando um átomo é exposto a uma fonte de energia como a luz, por exemplo, os elétrons podem absorver parte dessa energia e saltar para níveis de energia maiores (fig. 3a) ou mais energéticos. Segundo Bagnato (2001), quando o elétron adquire energia e pula para uma órbita mais externa ele estará “instável”, em um estado de ordem não natural.

¹⁵ “Em um átomo multieletrônico nunca pode haver mais de um elétron ocupando o mesmo estado quântico” (Eisberg, 1979).

¹⁶ Segundo energia de ligação do átomo de hidrogênio (Eisberg, p.141, 1979).

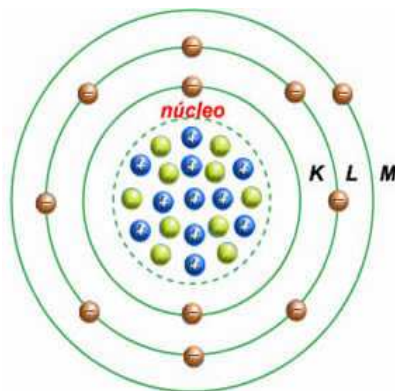


Figura 2: Modelo atômico de Bohr com os respectivos níveis de energia
 Fonte: <http://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/estudo-atomo-bohr.htm>

O fenômeno de absorção de energia por parte dos elétrons não é permanente, pois o átomo sempre tende a retornar ao seu estado de menor energia ou estado fundamental. Assim, o elétron retorna a órbita de menor energia (fig. 3b) liberando uma quantidade discreta de energia (o chamado fóton) que é justamente a diferença de energia entre os níveis (ou camadas) envolvidos na transição eletrônica¹⁷.

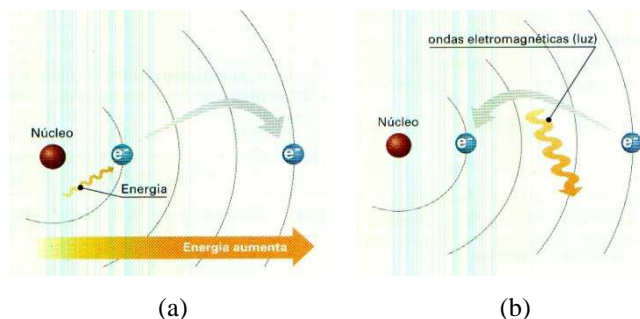


Figura 3: Absorção e emissão de energia
 Fonte: <http://www.profpc.com.br>

A emissão de luz (ou fótons) pelos elétrons do átomo excitado, ao retornar ao estado fundamental, é facilmente observada em qualquer fenômeno com emissão de luz como a chama do fogo, um metal superaquecido, o filamento de uma lâmpada incandescente ou a emissão de luz em uma lâmpada fluorescente. O que difere o laser de uma emissão normal de luz é a maneira como os elétrons emitem essa radiação. Enquanto a emissão normal ocorre de forma aleatória a todo instante e em diferentes níveis, a emissão do laser é um processo de emissão estimulada que emite fótons de forma coerente. Os fótons emitidos saem todos em

¹⁷ De acordo com o 4º postulado de Bohr (Eisberg, 1979).

uma mesma direção (são colimados), são emitidos todos juntos (são correntes) e tem toda a mesma frequência (uma mesma cor).

Quando um elétron se encontra em um estado excitado e, portanto, com excesso de energia, existe a tendência natural de que ele retorne ao seu estado de mais baixa energia (o estado fundamental). O retorno ao estado fundamental pode ser espontâneo, o elétron emite um fóton ou alguns fótons e retorna ao estado fundamental espontaneamente ou a emissão de fótons pode ser estimulada. Na emissão estimulada, um fóton externo que passe pelo átomo, pode estimular um elétron excitado a emitir outro fóton de mesma energia e na mesma direção que o fóton externo.

No caso de átomos que produzem laser, para que ocorra a emissão de energia sobressalente, torna-se necessário um “estímulo”, que nesse caso, também é um fóton. Assim, um fóton que passa pelo átomo pode estimular o elétron excitado a emitir um fóton e retornar ao estado fundamental. Temos desse modo, os dois fótons emergindo juntos, com a mesma energia e na mesma direção. A partir daí podemos imaginar que esses dois fótons irão estimular a emissão de outros fótons por outros elétrons que estejam excitados e assim sucessivamente. Assim, a luz do laser provém justamente da emissão que ocorre quando elétrons decaem de seus níveis energéticos de forma estimulada, produzindo um feixe de luz onde todas as pequenas porções (fótons) comportam-se identicamente (Bagnato, 2001).

O laser se inicia com a incidência de luz sobre uma barra de rubi ou um gás como o Hélio Neon. A luz fornece a energia necessária para excitar um grande número de átomos até o instante em que ocorra a emissão dos primeiros fótons. Para melhorar a estimulação colocam-se espelhos nas extremidades (fig. 4). Sua função é justamente a de fazer com que os fótons que emergem do sistema voltem para ele, produzindo mais e mais emissão estimulada (Bagnato, 2001). A emissão do raio laser ocorre quando a concentração de fótons atinge o limite de refletividade de um dos espelhos.

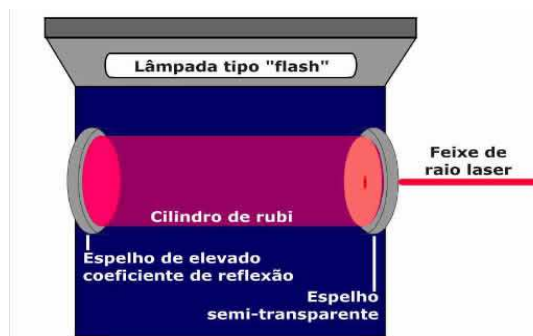


Figura 4: Esquema da produção do laser
Fonte: <http://www.bpiropo.com.br/cf20050704.htm>

Segundo Kitchen (2003), a radiação gerada pelos aparelhos a laser difere de fontes similares nos três aspectos seguintes:

1. O laser é monocromático - o fóton incidente possui exatamente a mesma energia do fóton emitido, a figura (5) mostra os espectros de emissão de uma fonte incandescente como uma lâmpada e do laser. Note que o laser apresenta um único comprimento de onda ao contrário do espectro emitido pela outra fonte.



Figura 5: Esquema da produção do laser
Fonte: <http://www.bpiropo.com.br/cf20050704.htm>

2. O laser é colimado – os fótons produzidos mantem-se paralelos, praticamente sem divergência em função da distância. Essa propriedade mantém o feixe concentrado, mesmo atravessando tecidos.
3. Sua radiação é coerente – as vibrações do laser se encontram em concordância de fase, seu trem de onda tem a mesma direção e comprimento de onda.

Segundo Agne (2004), os lasers são classificados em categorias (I, II, IIIA, IIIB, e IV), segundo intensidades e perigos:

I e II – são lasers de potência muito baixa, emitem radiação na faixa do infravermelho e não produzem efeitos na pele. São utilizados em leitores de CD e códigos de barras.

IIIA e IIIB – são lasers de potência média, emitem luz vermelha visível ou infravermelho invisível. São utilizados em laser terapia não produzindo efeitos térmicos significativos, embora sejam altamente prejudiciais à retina do olho.

IV- lasers de alta potência são utilizados em cirurgias para coagulação ou corte.

Na área da fisioterapia se utiliza laser de média potência abaixo da potência utilizada em cirurgias. A tabela I apresenta os principais tipos de lasers utilizados em fisioterapia.

Tabela I: Lasers utilizados em fisioterapia

Tipo de Laser	λ	Forma de emissão	Percepção do feixe	Potência
HeNe	632,8 nm	Contínua	Visível	2 a 15 mW
AlGaInP	660 nm	Contínua e pulsada	Visível	15 a 30 mW
AsGa	904 nm	Pulsada	Não Visível	15 a 30 mW
AsGaAl	830 nm	Contínua e pulsada	Não Visível	30 mW

Fonte: Agne, 2004 p.315.

A terapia por laser (fototerapia) por se constituir em uma modalidade recente muito ainda tem a ser explorada, porém permite que sejam observados efeitos como a analgesia local, ação antiedematosa e anti-inflamatória além da cicatrização de feridas. Segundo Agne (Agne, 2004).

Para descrever o efeito biológico da radiação laser, é habitual seguir um esquema segundo o qual a energia depositada nos tecidos produza uma ação primária ou direta, com efeitos locais do tipo foto térmico, fotoquímico e fotoelétrico ou bioelétrico. Esses efeitos locais provocam outros, os quais constituem a ação indireta (estímulo a microcirculação e aumento do trofismo), que poderá repercutir numa ação regional ou sistêmica.

O laser, devido as suas características possui uma infinidade de aplicações principalmente na área da laserterapia (Agne, 2004). Seus efeitos são amplos e permitem inúmeras aplicações e tratamentos, pois produzem uma série de efeitos diretos e indiretos nos tecidos vivos. Devemos, contudo tem um cuidado muito especial com a emissão da radiação laser nos olhos, pois produz queima da retina e, conseqüentemente, cegueira.

ANEXO I

Ultrassom

O aparelho de ultrassom utilizado em fisioterapia, (fig. 1) consiste basicamente de uma fonte de ondas ultrassônicas com o objetivo de produzir aquecimento superficial ou profundo dos tecidos. Para a compreensão do seu funcionamento devemos primeiramente compreender a produção do ultrassom, e posteriormente entender como ocorre, no interior dos tecidos, a transformação de ondas mecânicas em calor.



Figura 1: Equipamento de ultrassom utilizado em fisioterapia com frequência de 1MHz e 3MHz

O **som** pode ser definido como uma vibração tridimensional, mecânica e longitudinal, ou seja, pode se propagar em todas as direções; desloca-se através das vibrações das partículas do meio e vibra essas partículas na mesma direção em que se desloca (onda longitudinal). A figura (2) mostra uma onda sonora e suas respectivas regiões de compressão e expansão.

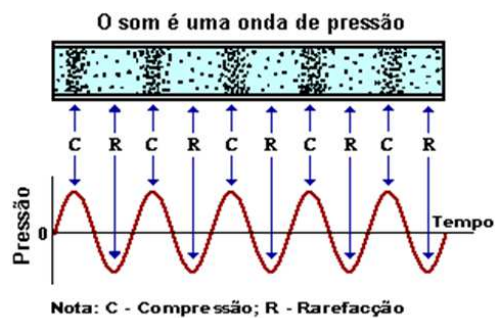


Figura 2: Ondas sonoras
Fonte: <http://www.prof2000.pt>

Embora nossa audição tenha se desenvolvido durante a evolução a fim de nos proteger de predadores ou permitir a comunicação, não somos capazes de perceber toda a distribuição de frequências para o som. O ouvido humano é sensível aos sons com frequências compreendidas entre 20 Hz e 20.000 Hz. Quando a frequência está abaixo de 20 Hz, classifica-se como infrassônica ou subsônica e acima de 20.000 Hz como ultrassônica (Agne, 2004), de forma que não percebemos sons com frequências abaixo de 20 Hz, e acima de 20.000 Hz. A figura (3) representa as frequências audíveis ao ouvido humano.

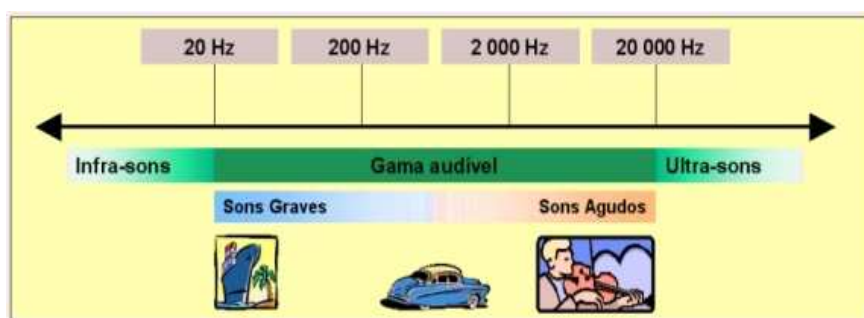


Figura 3: Frequência humana audível
Fonte: <http://www.prof2000.pt>

O aparelho de ultrassom utilizado em fisioterapia produz, dessa forma, ondas mecânicas longitudinais com frequências de 1MHz e 3 MHz. Para a produção das ondas sonoras, o aparelho possui um vibrador ultrassônico, denominado Transdutor. A figura (4) apresenta um transdutor de um aparelho de ultrassom.



Figura 4: Transdutor de um ultrassom

Transdutor é o termo que designa todo dispositivo que converte um tipo de energia em outro (Agne, 2004). Assim, um transdutor ultrassônico tem por finalidade transformar a

energia elétrica em energia mecânica e vice-versa. Segundo Agne (2004) seu funcionamento se baseia no efeito piezolétrico que descreve a propriedade de certos cristais naturais como o quartzo, que sobre determinada pressão mecânica emitem descargas elétricas. Caso os cristais sejam estimulados por sinais elétricos, temos o efeito piezolétrico inverso, ou seja, descargas elétricas produzindo vibrações. A figura (5) mostra a vibração de um transdutor com frequência de 1 MHz, sendo possível observar a vibração através da oscilação da água colocada sobre o transdutor.



Foto 5: Vibração ultrassônica de um transdutor

Parâmetros do Ultrassom

1) Frequência

A frequência está diretamente relacionada com a absorção e a atenuação do feixe, de forma que, a maior frequência, o US será absorvido mais rapidamente, o que caracteriza o US de 3 MHz como superficial (Agne, 2004). O controle de frequência permite ao fisioterapeuta controlar a penetração do feixe de ultrassom e em consequência disso a profundidade onde é aplicado. Verifica-se que quanto maior a frequência do feixe ultrassônico menor a penetração nos tecidos. A figura (6) mostra a relação entre a frequência e a profundidade do feixe nos tecidos.

Desse modo, o feixe de ultrassom com frequência de 1 MHz produz calor profundo (cerca de 5 cm) enquanto o feixe de 3 MHz produz calor superficial (3 cm).

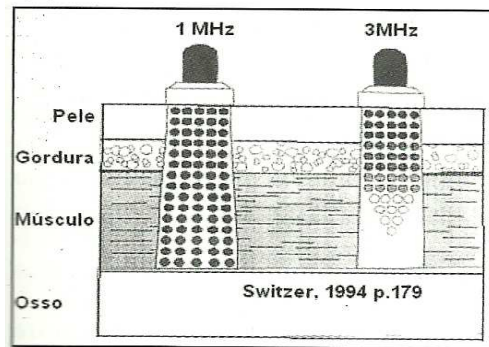


Figura 38: Penetração segundo a frequência do ultrassom
 Fonte: AGNE, p. 287, 2004

2) Intensidade

O feixe de ultrassom transporta a energia produzida pela vibração do transdutor, desse modo, podemos estabelecer a potência transmitida sob uma determinada área. A unidade de potência utilizada em feixes de ultrassom é dada em W/cm^2 . A maioria dos aparelhos utilizados em terapia possuem intensidades que variam de $0,1 W/cm^2$ a $3 W/cm^2$.

Efeitos do Ultrassom

Quando utilizamos um aparelho de ultrassom no organismo, estamos transformando energia elétrica em energia cinética que dependendo do tipo de tecido, da frequência e da potência, será transformada em energia térmica. Um feixe de ultrassom produz nos tecidos em que se propagam dois efeitos: **efeitos térmicos e não térmicos**. É importante que compreendamos plenamente esses mecanismos, já que alguns têm efeito estimulante no processo de regeneração da ferida, enquanto outros são potencialmente perigosos (Kitchen, 2003).

Efeitos térmicos – a transformação de energia cinética em térmica, através de um feixe de ultrassom, pode ocorrer tanto através das fases de compressão e expansão das ondas sonoras produzindo atrito intermolecular e movimento do líquido eletrolítico, quanto pela sua absorção. O grau de absorção da energia depende do coeficiente de absorção dos tecidos, da diferença de impedância entre diferentes tecidos, da frequência do feixe ultrassônico, da intensidade e do tempo de aplicação do ultrassom.

Em geral, os tecidos ricos em proteínas absorvem a energia das ondas sonoras a uma taxa muito superior se comparados com a água, o sangue e a gordura, tecidos em que a absorção é pequena. A tabela I apresenta o conteúdo de proteína e a respectiva absorção do ultrassom em diferentes tecidos.

Tabela I: conteúdo de proteína e absorção de US em vários tecidos.

Sangue	Menor conteúdo de proteína	Menor absorção de US
Gordura		
Nervo		
Músculo		
Pele		
Tendão		
Cartilagem		
Osso	Maior conteúdo de proteína	Maior absorção de US

Fonte: LOW, 2001. p.197

Efeitos não térmicos – os efeitos não térmicos são citados por Agne (Agne, 2004, p. 295).

- Vasodilatação da área com hipertermia e aumento do fluxo sanguíneo;
- Aumento da permeabilidade celular e a micro massagem produzida pelo ultrassom, auxilia no retorno venoso e linfático, favorecendo a reabsorção de edemas;
- Incremento do metabolismo local, com estimulação das funções celulares e da capacidade de regeneração celular;
- Incremento da flexibilidade dos tecidos ricos em colágeno, com diminuição da rigidez articular e da contratura, associada a cinesioterapia;
- Efeito analgésico e espasmolítico.

Cavitação

O ultrassom pode causar a formação de bolhas ou cavidades em fluidos contendo gases. Em altas amplitudes e pressões as bolhas podem explodir produzindo pressões acima de 1.000 Mpa e temperaturas acima de 10.000K (Kitchen, 2003). Esse processo pode levar ao colapso de células além da formação de uma grande quantidade de radicais livres.

Impedância acústica

Podemos definir a impedância acústica como a dificuldade ou resistência de um meio a passagem do som. A impedância acústica está relacionada com a velocidade com que uma partícula se move no momento de sua vibração e a pressão a que está submetida.

A impedância acústica (Z) é igual ao produto da densidade do meio (ρ) pela velocidade do ultrassom nesse meio (v).

$$Z = \rho \cdot v$$

Quando um feixe de ultrassom se propaga em um meio com impedância acústica Z_1 e encontra outro meio com impedância acústica diferente Z_2 , poderá ocorrer reflexão de parte do feixe. A intensidade do feixe refletido é diretamente proporcional à diferença acústica entre os meios, ou seja, quanto mais distintas as impedâncias acústicas entre os meios, maior será a reflexão e conseqüentemente o poder de penetração. A diferença de impedância é dada pela seguinte relação (Agne, 2004):

$$E = \frac{(Z_2 - Z_1)^2}{(Z_2 + Z_1)^2}$$

Se a diferença acústica é grande como a que ocorre entre o ar e a pele, a proporção de ultrassom refletido é próxima de 100%, impedindo a passagem do feixe para os tecidos. O gel utilizado entre o transdutor e a pele tem dessa forma a finalidade de conduzir a energia do feixe ultrassônico sem grandes reflexões, pois possui uma impedância acústica muito similar a dos tecidos humanos.

Deve ser observada aqui a diferença entre o ultrassom utilizado em fisioterapia para fins terapêuticos e o ultrassom utilizado em diagnósticos por imagem. Enquanto o ultrassom terapêutico tem por fim grande penetração e total absorção pelos tecidos, o ultrassom de diagnóstico produz imagens através das reflexões das ondas em diferentes impedâncias entre os tecidos e posterior captação pelo transdutor (efeito piezelétrico).

ANEXO J

Applet sobre corrente elétrica

Acesse o site <http://www.labvirt.fe.usp.br/applet.asp?time=18:25:09&lom=10429> e clique em ver simulação.

- 1) Você pode observar que os vetores apontam para a carga positiva e se afastam da carga negativa. Clicando com o botão direito é possível colocar mais cargas ou mais partículas. O que esses vetores representam? O que podemos afirmar a respeito desses vetores?
- 2) Porque ao se aproximar uma carga de uma das partículas o vetor fica maior e se afastando o vetor fica menor?

Acesse o site <http://www.ensinolivre.pt/?q=node/184> e clique em Kit de construção de circuitos DC.

- 1) Crie um circuito contendo uma bateria, um resistor e uma lâmpada. O que as “bolinhas” representam?
- 2) Agora clique com o botão direito na bateria e aumente a voltagem. O que ocorre com o brilho da lâmpada? E o movimento das bolinhas é afetado? Como?
- 3) Reinicie a animação e construa agora um circuito com um interruptor, uma lâmpada, um resistor e uma bateria. Qual a finalidade do interruptor nesse circuito? Clique agora no resistor e aumente sua resistência. O que é possível observar?
- 4) Coloque agora um amperímetro no circuito e um voltímetro. Não se esqueça de que o amperímetro deve ser ligado em série e o voltímetro em paralelo. O que é possível ler nesses instrumentos?

ANEXO K

TEXTO DE APOIO

Eletricidade

Os fenômenos elétricos são observados e conhecidos há séculos. O termo eletricidade tem origem na palavra *elektron*, nome grego para o Âmbar (fig. 1). No ano de 600 a.C, os gregos descobriram que, atritado com lã, o âmbar adquiria a propriedade de atrair outros objetos (Young, 2009. a).



Figura 1: Eletrização do Âmbar
Fonte: <http://www.ced.ufsc.br>

Somente a partir do século XX, a ideia do átomo como constituinte elementar da matéria apoia a convicção de que a eletricidade é uma propriedade das partículas que formam o átomo: *prótons*, partículas positivas que juntamente com nêutrons formam o núcleo atômico e os *elétrons*, partículas elementares negativas que orbitam em camadas o núcleo do átomo (fig. 2).

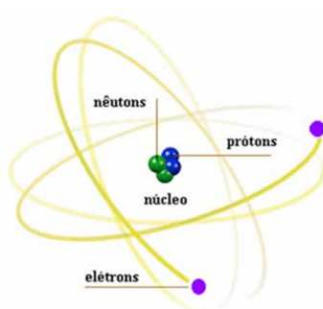


Figura 2: Esquema simplista do átomo
Fonte: <http://www.algosobre.com.br/fisica/atomo.html>

Na verdade, a partir da década de 60 postulou-se a existência de novas partículas elementares denominadas *quarks* como constituintes dos prótons e nêutrons. Os quarks têm cargas elétricas positivas ou negativas, com valores de $1/3$ ou $2/3$ da carga e do elétron. Dessa forma, os elétrons continuam a serem partículas elementares, porém, segundo Young (2009.

a), prótons e nêutrons são constituídos de quarks. O próton passa a ser composto por dois *quarks up* e um *quark down*, enquanto o nêutron é formado por dois *quarks down* e um *quark up*.

Assim:

- Elétron, com massa $m_e = 9,11 \times 10^{-31} \text{kg}$ e carga elétrica $q_e = -1,602 \times 10^{-19} \text{C}$;
- Próton, com massa $m_p = 1,675 \times 10^{-27} \text{kg}$ e carga elétrica $q_p = +1,602 \times 10^{-19} \text{C}$;
- Nêutron, com massa $m_n = 1,673 \times 10^{-27} \text{kg}$ e carga elétrica nula.

Carga elétrica é na verdade, uma propriedade de elétrons e prótons que lhes permite interagir entre si.

Propriedades da carga elétrica

- A carga elétrica de um sistema isolado se conserva (princípio da conservação da carga elétrica), isto é, cargas elétricas podem passar de um corpo para outro e não são criadas nem destruídas;
- A carga elétrica é quantizada, só existe em múltiplos da carga elementar e do elétron, então a carga de um corpo é dada por: $Q = n \cdot e$;
- Em um átomo o número de cargas elétricas positivas é igual ao número de cargas elétricas negativas, isto significa que um átomo é eletricamente neutro;
- Duas cargas elétricas positivas se repelem do mesmo modo que duas cargas negativas, porém, existe uma atração entre uma carga positiva e uma negativa;
- Quando um átomo ganha ou perde elétrons, deixa de ser neutro e passa a ser denominado íon. Lembrando que sempre são os elétrons que se movimentam de um átomo para outro, nunca os prótons. Denominamos um átomo de **ânion** (íon negativo) se o átomo receber elétrons e de **cátion** (íon positivo) se o átomo perder elétrons. A figura (3) mostra as possibilidades de eletrização de um átomo.

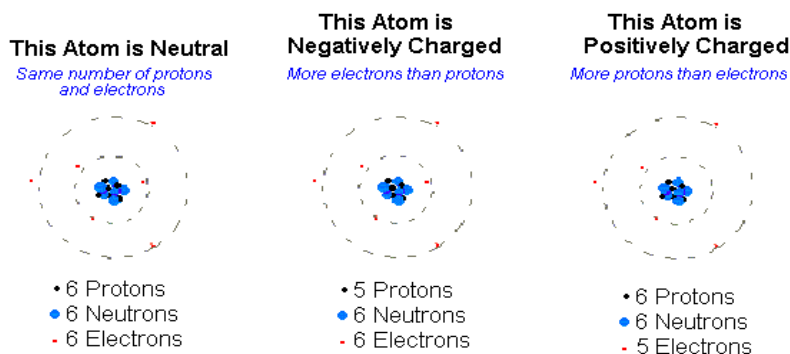


Figura 3: Átomo neutro e carregado
Fonte: <http://portaldoprofessor.mec.gov.br>

Força entre corpos carregados

Charles Augustin de Coulomb (1736-1806) estudou a força de interação entre partículas carregadas em 1784 (Young, 2009. a) e estabeleceu a seguinte relação:

$$F = k \frac{|q_1 q_2|}{r^2}$$

“O módulo da força elétrica entre duas cargas puntiformes é diretamente proporcional ao produto das cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas.”

Essa relação denominada Lei de Coulomb estabelece a intensidade da força de interação entre duas cargas elétricas (fig. 4). O valor da constante de proporcionalidade k na Lei de Coulomb depende do sistema de unidades (Young, 2009. a). Usando unidades do S.I, a constante k é $k \approx 8,988 \cdot 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$.

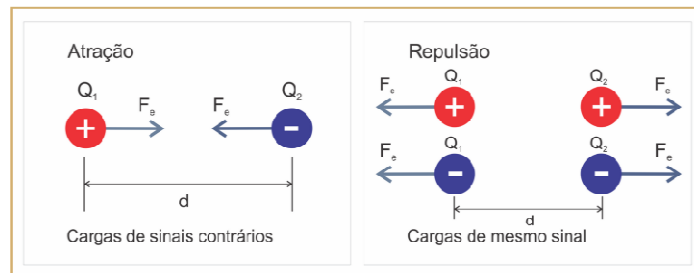


Figura 4: Força entre cargas
Fonte: <http://osfundamentosdafisica.blogspot.com>

Campo elétrico

Conforme vimos até agora, as cargas elétricas interagem entre si atraindo-se e repelindo-se. Porém uma pergunta é pertinente nesse caso. Como uma carga elétrica presente a presença de outra?

Podemos imaginar que existe uma região em torno de uma carga elétrica Q onde a presença de qualquer carga-teste q é percebida através de forças que atuam em q . Nessa região, onde há atuação de forças elétricas, dizemos que há um campo elétrico (\vec{E}) devido a carga Q . A força elétrica sobre um corpo carregado é exercida pelo campo elétrico produzido por outros corpos carregados (Young, 2009. a).

Para representar o campo elétrico de uma carga elétrica e também diferenciar campo elétrico de carga positiva de negativa, utilizamos as linhas de força ou linhas de campo,

representadas na figura (5). Desse modo, para uma carga positiva temos linhas de força de afastamento e para a carga negativa, linhas de força de aproximação.

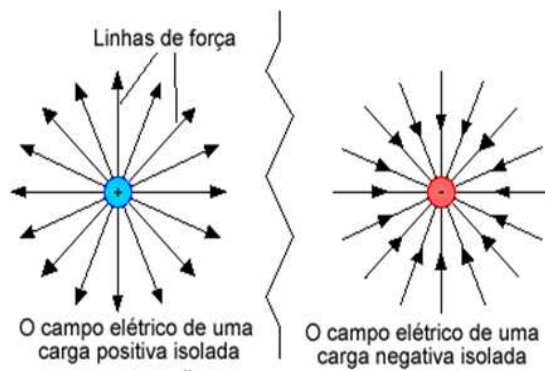


Figura 5: Linhas de campo
Fonte: <http://educacao.uol.com.br/fisica>

Relacionando a direção e o sentido da força elétrica \vec{F} com a direção e o sentido do campo elétrico \vec{E} , para partículas carregadas e submetidas a um campo externo, temos:

- Se $q < 0$, \vec{F} e \vec{E} tem mesma direção, porém sentidos contrários, ou seja, cargas negativas se movimentam no sentido contrário ao do campo elétrico.
- Se $q > 0$, \vec{F} e \vec{E} tem mesma direção e sentido, ou seja, cargas positivas se movimentam no mesmo sentido do campo elétrico.

A figura (6) apresenta a direção e sentido da força elétrica e do campo elétrico em uma carga positiva e uma carga negativa colocadas em uma região onde existe um campo elétrico.

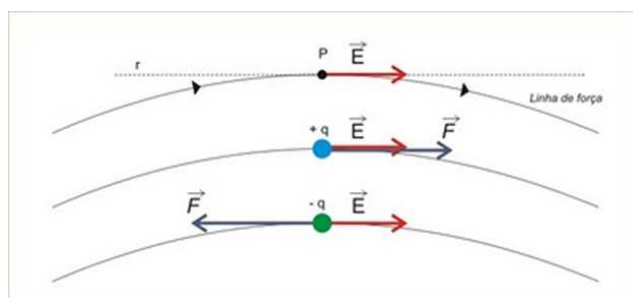


Figura 6: Cargas, forças e campo elétrico
Fonte: <http://educacao.uol.com.br/fisica>

Potencial elétrico (V)

O potencial elétrico está associado à distribuição de energia em um campo elétrico. Quando uma partícula carregada se desloca em um campo elétrico, o campo exerce uma força que realiza um *trabalho* sobre a partícula (Young, 2009. a). Se uma carga se movimenta no interior de um campo elétrico, é porque esta recebeu energia do potencial elétrico para realizar

esse deslocamento. Da mesma forma em que a energia potencial gravitacional depende da altura da massa em relação a um referencial, a energia potencial elétrica depende da posição da partícula carregada no interior do campo elétrico. De certa forma, podemos dizer que o potencial elétrico, ou melhor, a diferença de potencial (d.d.p) é a responsável pelo movimento de partículas carregadas no interior de um campo elétrico.

Corrente elétrica

Podemos ter três tipos de condutores elétricos:

1. Condutores metálicos – Os metais em geral, são bons condutores de eletricidade, pois possuem, devido a sua estrutura, **elétrons livres** na última camada. Desse modo, o movimento ordenado desses elétrons em um condutor que define a corrente elétrica. São bons condutores elétricos o cobre, alumínio e ouro, por exemplo. A figura (7) mostra um esquema do movimento dos elétrons no interior de um condutor metálico.

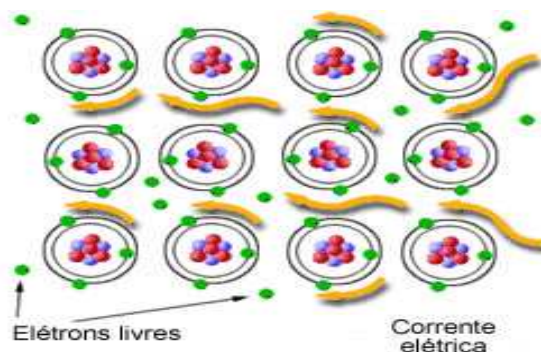


Figura 7: Movimento de elétrons livres em metais
Fonte: <http://www.infoescola.com/quimica/eletron-livre>

2. Condutores líquidos – a corrente elétrica nos líquidos é normalmente denominada corrente iônica. Nos líquidos, a corrente elétrica é devida ao **movimento de cátions ou ânions** em direções opostas devido às diferenças de potencial. Podemos citar como exemplo, as soluções básicas ácidas ou salinas como o sal de cozinha (NaCl) formada por cátions Na^+ e ânions Cl^- . A figura (8a) mostra o movimento aleatório de íons positivos e negativos em uma solução e a figura (8b) mostra o movimento ordenado dos íons devido a uma diferença de potencial.

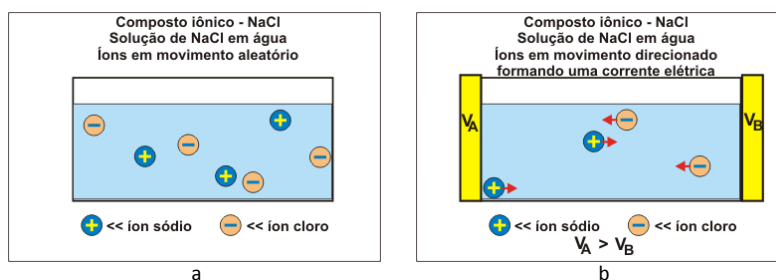


Figura 8: Íons em movimento aleatório e ordenado
 Fonte: http://alfaconnection.net/pag_avsf/ele0201.htm

3. Condutores gasosos – nesses condutores ocorre o movimento ordenado dos **elétrons e ânions** para o polo positivo e de **cátions** para o polo negativo. Normalmente, os gases tornam-se condutores se submetidos a grandes diferenças de potencial (gases ionizados). Como exemplo, podemos citar o fósforo, néon, mercúrio.

Desse modo:

Corrente elétrica, é o movimento ordenado dos portadores de carga elétrica no interior de um condutor.

Intensidade da corrente elétrica (i)

Observe a figura (9) que mostra o movimento de elétrons no interior de um condutor.

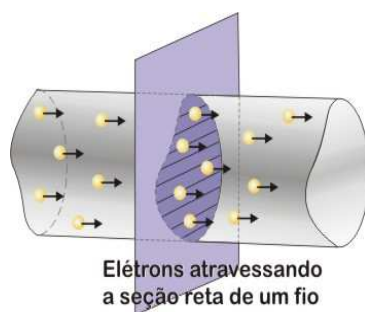


Figura 9: Movimento de elétrons
 Fonte: <http://www.novafisica.net/conteudo/corrente3.htm>

Se por uma secção reta de um condutor passa, em um intervalo de tempo Δt , uma quantidade de carga Q , temos então:

$$i = \frac{Q}{\Delta t}$$

Assim a unidade de corrente elétrica no S.I é o Coulombs por segundo e é denominada Ampére (A). Nos aparelhos de eletroterapia a corrente é baixa, da ordem de mA (10^{-3}) ou μ A (10^{-6}), pois os eletrodos estão em contato direto com a pele.

Quando falamos de corrente elétrica devemos sempre considerar o sentido real e o sentido convencional da corrente elétrica. O sentido real é dado pelo movimento dos elétrons do polo de menor potencial para o polo de maior potencial (negativo para o positivo), enquanto no sentido convencional adotamos o movimento contrário ao dos elétrons (fig. 10), como se as cargas positivas se deslocassem do polo positivo para o negativo.

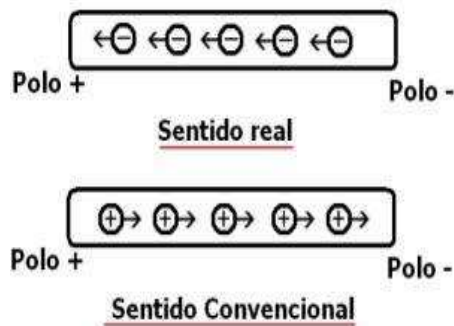


Figura 10: Sentido da corrente elétrica
Fonte: <http://www.infoescola.com/fisica/corrente-eletrica/>

Tipos de corrente elétrica

1. Corrente contínua (cc) – caracteriza-se pelo movimento dos portadores de carga em apenas uma direção, mantendo a polaridade e intensidade da corrente elétrica constante no decorrer do tempo. É a corrente em pilhas, baterias e dínamos (fig. 11).

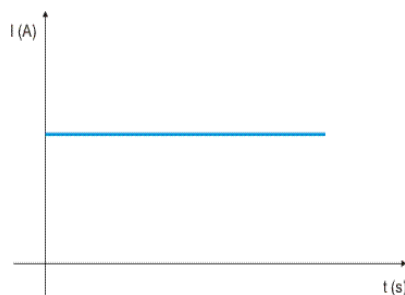


Figura 11: Corrente elétrica contínua
Fonte: [Fonte: http://www.infoescola.com/fisica/corrente-eletrica](http://www.infoescola.com/fisica/corrente-eletrica)

2. Corrente alternada (ca) – o sentido do movimento dos portadores varia constantemente. A variação da polaridade produz uma variação na intensidade da corrente, fazendo surgir máximos e mínimos de intensidade. A corrente que chega as nossas casas é um exemplo de corrente alternada de 60 Hz produzida em usinas hidrelétricas (figura 12).

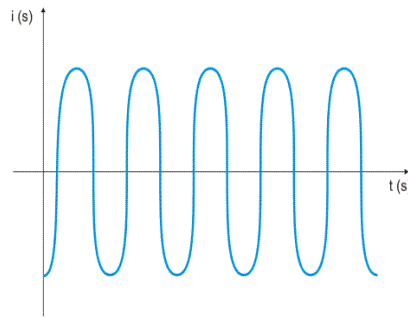


Figura 12: Corrente elétrica alternada
Fonte: <http://www.infoescola.com/fisica/corrente-eletrica>

Resistência elétrica

Para que ocorra o deslocamento ordenado dos portadores de carga no interior de um condutor é necessária a existência de uma diferença de potencial (d.d.p, voltagem ou tensão). Porém no seu deslocamento os portadores de carga encontram uma certa dificuldade ou resistência devido a irregularidades da rede cristalina, interferindo diretamente na corrente elétrica que flui. A Lei de Ohm estabelece a relação entre as três grandezas envolvidas, sendo U a diferença de potencial, R a resistência e i a corrente elétrica:

$$U = R \cdot i$$

A unidade de resistência elétrica é o Ohm (Ω)

Podemos também relacionar a resistência elétrica com as dimensões de um condutor e suas dimensões através da fórmula:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{a}$$

Onde ρ é a resistividade do material, l o comprimento do condutor e a é a área do condutor.

A resistência dos tecidos apresenta-se bastante variável, dependendo de sua composição e da corrente que circula. Tecidos ricos em líquidos e soluções salinas serão bons condutores.

Condutividade elétrica corporal

Organismo é um semiconductor, ou seja, possui condutividade intermediária entre bons condutores e isolantes (maus condutores), visto que o movimento de íons no interior dos tecidos produz efeitos químicos e físicos. O organismo é um condutor de segunda ordem ou *semiconductor*, quer dizer, os íons presentes nas dissoluções e dispersões coloidais, transmitirão a energia aplicada (Agne, 2004).

A maior ou menor condutividade dos tecidos está relacionada ao conteúdo de água como dissolvente e seus solutos. Desse modo, osso, gordura, e pele não são bons condutores. Pele úmida, tendões são condutores médios e o sangue e os líquidos intracelular e extracelular são bons condutores.

Efeitos da corrente elétrica

Segundo Moraes (2006), são efeitos da corrente elétrica:

Efeito térmico ou Efeito Joule: É o efeito de aquecimento, causado pelo choque dos elétrons livres contra os átomos dos condutores. Esse efeito é aplicado em resistências de aquecimento, como o chuveiro ou fontes de infravermelho por resistências enroladas em cerâmica. A passagem da corrente elétrica pela “resistência” provoca o efeito térmico ou efeito Joule que aquece. Qualquer condutor sofre um aquecimento ao ser atravessado por uma corrente elétrica, porque sempre há imperfeições nas redes cristalinas, onde os elétrons colidem.

Efeito químico: Corresponde aos fenômenos elétricos nas estruturas moleculares. Caracteriza-se pela separação de uma solução iônica através de uma diferença de potencial (d.d.p). Ao se estabelecer uma d.d.p em eletrodos imersos numa solução eletrolítica, produz-se um movimento de cátions e ânions em sentidos contrários.

Efeito magnético: O movimento de cargas elétricas em condutor gera na região em torno desse condutor, um campo magnético.

Efeito luminoso: É um fenômeno que ocorre a nível molecular. A passagem da corrente por um gás provoca a excitação de elétrons dos átomos, que ao retornarem os níveis fundamentais, emitem luz. As lâmpadas fluorescentes e os anúncios luminosos são aplicações desse efeito.

Efeitos fisiológicos: Quando a corrente elétrica atravessa um tecido vivo podem ocorrer diferentes reações fisiológicas, como a vasodilatação, a ação simpaticolítica e a ação ionizante.

Efeitos do choque no corpo humano

- a) Tetanização – é a paralização muscular pela circulação da corrente. Como a corrente supera os impulsos elétricos cerebrais, ocorre um bloqueio nos comandos voluntários.
- b) Parada respiratória – é a Tetanização dos músculos responsáveis pela movimentação do diafragma, interrompendo a respiração.
- c) Queimaduras – são provocadas pelo efeito Joule e podem provocar queimaduras de 1º, 2º e 3º graus. São queimaduras profundas causando a morte por insuficiência renal.
- d) Fibrilação ventriculada – é a perturbação pela corrente dos movimentos do coração. É um fenômeno que permanece após o contato com a corrente sendo necessário, para a regularização, de um desfibrilador.

Além dos efeitos acima citados, utilizam-se aparelhos em eletroterapia com base em dois importantes efeitos: efeito excitomotor e efeito analgésico.

Efeito excitomotor

Os aparelhos utilizados para a contração muscular através de estímulos elétricos são divididos em duas categorias:

Estimulação Elétrica Neuromuscular

Estimulação do músculo através do seu nervo periférico, com o objetivo de restaurar, manter ou melhorar sua capacidade funcional. Como exemplo, podemos citar a Corrente Russa.

Estimulação Elétrica Funcional

É uma forma de eletroterapia capaz de produzir contrações musculares com objetivos funcionais. É uma estimulação de músculos desprovidos de controle motor ou com insuficiência contrátil. Como exemplo podemos citar o F.E.S (*functional electrical stimulation*).

Efeito analgésico

Na eletroterapia são utilizados o T.E.N.S e o Interferencial vetorial para analgesia. A estimulação elétrica transcutânea é orientada para estimular as fibras nervosas que transmitem sinais ao cérebro e são interpretados pelo tálamo como dor.

T.E.N.S

Funcionam mediante uma corrente elétrica alternada caracterizada por uma duração e intervalo de fase ajustável, bem como sua frequência. Produzem uma semi-onda quadrada positiva com um pico negativo.

Interferencial Vetorial

No interferencial são aplicados no paciente, quatro eletrodos com baixa intensidade a fim de produzir em um ponto específico a interferência das correntes e, portanto, efeitos mais evidentes que não poderiam ser aplicados diretamente na pele.

ANEXO L

Eletroestimulação

Segundo Agne (2004), a estimulação elétrica pode produzir contração muscular, tanto para complemento da atividade que esteja reduzida ou limitada por uma patologia, quanto na medicina esportiva para potencialização muscular.

Diferentemente da TENS, a estimulação muscular através de estímulos elétricos é realizada por aplicações de pulsos com ascensão brusca.

Normalmente são utilizados como eletroestimuladores na Fisioterapia, o F.E.S (Estimulação Elétrica Funcional) e a Corrente Russa.

Estimulação Elétrica Funcional (F.E.S)

A estimulação elétrica funcional (*functional Electrical Stimulation – FES*) é uma técnica destinada a produzir contrações mediante trens de impulsos em grupos musculares que desencadearão movimentos e atividades da vida diária (Agne, 2004). O FES tem por finalidade a ativação da musculatura com fins funcionais¹⁸, isto é, seu objetivo é a contração de músculos desprovidos de controle motor. Ainda segundo Agne (2004), a FES é uma modalidade de eletroterapia aplicada em músculos plégicos, decorrentes de lesões do neurônio motor superior.

Corrente Russa

A Corrente Russa caracteriza-se como eletroterapia de contração muscular com fins de fortalecimento muscular. A eletroestimulação quando adequadamente selecionada, poderá aumentar a força muscular em até 40%, o impulso em salto vertical em 10 cm e proporcionar um aumento no diâmetro da secção transversal das miofibrilas em torno de 10% (Agne, 2004).

A estimulação elétrica russa (Fig. 1) tornou-se popular após os resultados obtidos pelo fisiologista russo Yadov Kots. Seus estudos demonstraram um aumento da força em 40% em atletas de elite como resultado de uma contração máxima, visto que na contração voluntária nunca atingimos o máximo de contração.

¹⁸ Entende-se como fins funcionais andar, ficar em pé, pegar objetos, mudar de postura, coordenar movimentos entre outros.

Os parâmetros iniciais propostos por Kots estabelecem 10 s de excitação, seguidos de 50 s de repouso, repetidos durante 10 min. A corrente empregada é alternada de frequência de 2500 Hz (Agne, 2004).

Segundo Agne (2004), é possível extrair algumas conclusões sobre a eletroestimulação:

1. A eletroestimulação aumenta a força muscular quando comparada com grupos que não realizam exercício.
2. As diferenças significativas ou não, encontradas entre grupos submetidos a regimes similares de eletroestimulação e ao exercício voluntário ainda são questionáveis, em função principalmente da metodologia empregada.
3. Na eletroestimulação, o ganho de força se relaciona com a carga do estímulo (intensidade da estimulação elétrica).

Segundo Agne (2004) a eletroestimulação não tem aplicação somente na reabilitação de enfermos. Essa técnica de aplicação de estímulos elétricos tem ocupado atualmente um destaque na potencialização de atletas e estimulação da musculatura com fins estéticos. Infelizmente, em muitas clínicas estéticas a eletroestimulação é dada como elemento principal, quando na verdade trata-se de um auxiliar no tratamento. Somente através de uma ampla análise do quadro geral do paciente somando aos conhecimentos de fisiologia e do equipamento é possível estabelecer um tratamento adequado.

Quanto ao tempo e modos de aplicação, é possível encontrar várias propostas na literatura, mas cabe ao fisioterapeuta, a partir de uma criteriosa inspeção com análise da consistência, volume, força muscular, amplitude articular e presença ou não de dor estabelecer um determinado tratamento.



Figura 1: FES e Corrente Russa

ANEXO M

Eletroanalgesia

O conceito de Eletroanalgesia se refere à aplicação de corrente elétrica para a redução de dores. A estimulação Elétrica Transcutânea é orientada para estimular as fibras nervosas que transmitem sinais ao cérebro e são interpretadas pelo tálamo como dor (Agne, 2004). Desde os tempos antigos, a utilização de peixes elétricos como forma de terapia, podem, segundo Agne (2004), ser evidenciadas. A figura (1) mostra o esquema de condução dos estímulos da dor.

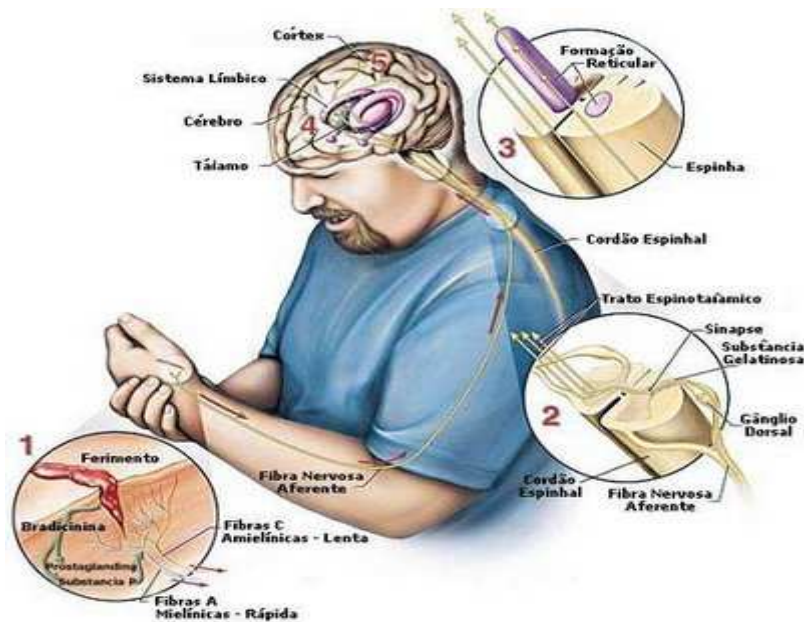


Figura 1: Estímulos da dor
Fonte: <http://extremos-biobio.blogspot.com/2009/11/mecanismo-da-dor.html>

T.E.N.S – Estimulação elétrica nervosa transcutânea

O termo T.E.N.S provém das iniciais do termo em inglês “*Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation*”, que significa Estimulação Elétrica Nervosa Transcutânea (Agne, 2004). Segundo Kitchen (2003), durante a aplicação do T.E.N.S (fig. 2), são geradas correntes pulsadas através de um gerador portátil, que são aplicadas na pele intacta através de placas condutoras denominadas eletrodos. A função dos pulsos de corrente é estimular as fibras nervosas grossas A-alfa mielinizadas de condução rápida, inibindo o estímulo de condução da dor.



Figura 2: Aparelho de TENS com seus eletrodos

Segundo Agne (2004), são parâmetros de um pulso elétrico de TENS:

- Amplitude ou intensidade (mA)
- Duração do pulso (ms)
- Intervalo entre pulsos (ms)
- Frequência dos pulsos (Hz)
- Forma do pulso: bidirecional e assimétrica

Na maioria dos casos, a TENS funciona mediante uma corrente alternada com oscilações quadradas positivas com um pico negativo (fig. 3) que estimulam os receptores nervosos ao mesmo tempo em que impedem a sua acomodação. Estes impulsos também incrementam o fluxo de sangue e eliminam os elementos de dejetos (Agne, 2004).

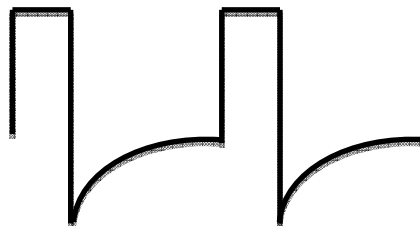


Figura 4: Forma de um pulso de TENS

Quanto à colocação dos eletrodos, várias são as posições dependendo das indicações e possibilidades. Não devemos esquecer que existe uma série de variáveis que podem interferir nos estímulos elétricos (obesidade, processo inflamatório, consistência da pele, fobia pela eletroestimulação, tipo de dor, etc.) (Agne, 2004). A figura 5 apresenta algumas possibilidades de posicionamento dos eletrodos.

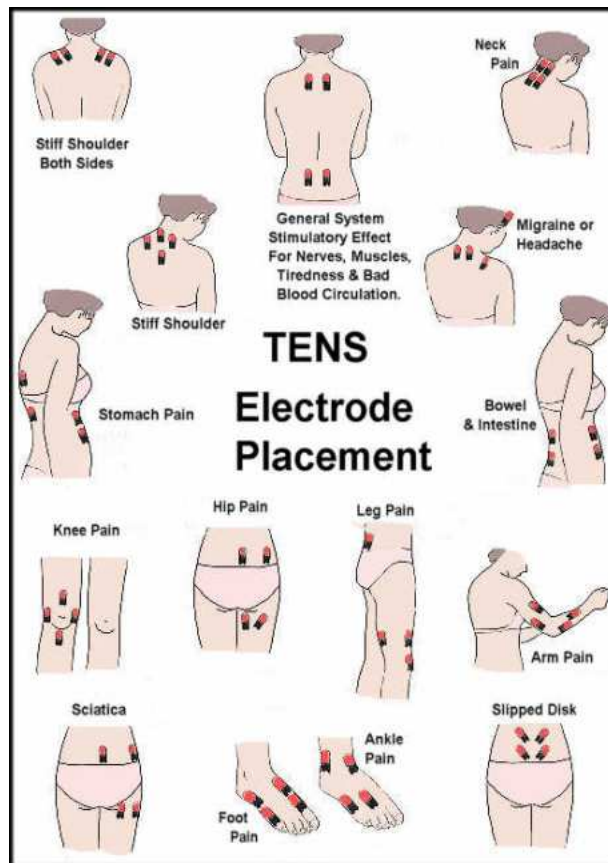


Figura 5: Posições dos eletrodos no TENS
 Fonte: <http://www.moondragon.org/health/therapy/tens.html>

Corrente Interferencial

A corrente interferencial apresenta segundo Agne:

A Corrente Interferencial ou Nemelectrodínica descrita por Nemeec na Áustria nos anos 50 e utilizada por D'Arsonval, Kots e Bernard que veio a enriquecer a eletroterapia no setor da baixa frequência com uma variante totalmente nova e de grande interesse (2004, p.142).

Seu princípio baseia-se na aplicação de dois circuitos cruzados de baixa intensidade, produzindo, assim, por interferência, efeitos de reforço do circuito em pontos internos, longe dos pontos de contato dos eletrodos (fig. 6). São aplicados ao paciente quatro eletrodos, sendo cada par formando parte de um circuito independente (Agne, 2004).

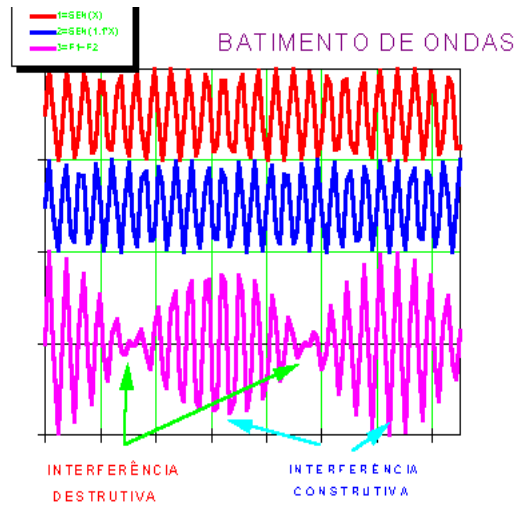


Figura 6: Esquema de interferência de campos cruzados
 Fonte: <http://www.wgate.com.br/conteudo/medicinaesaude/fisioterapia>

Sua aplicação permite atingir pontos desejáveis sem maiores consequências nos tecidos adjacentes. A figura (7) mostra a aplicação e a posição de aplicação dos eletrodos por eletroterapia através do interferencial.



Figura 7: Aplicação de eletrodos no interferencial
 Fonte: <http://www.jornallivre.com.br/65942/>