



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

**FÍSICA QUÂNTICA E HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA: CONCEITOS,
VIDA, CRENÇAS E RELIGIOSIDADE COMO MOTIVADORES NA
APRENDIZAGEM DE FÍSICA**

André Felipe Hoernig

Porto Alegre
Maio/2020

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

**FÍSICA QUÂNTICA E HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA: CONCEITOS,
VIDA, CRENÇAS E RELIGIOSIDADE COMO MOTIVADORES NA
APRENDIZAGEM DE FÍSICA¹**

Dissertação de Mestrado Acadêmico em Ensino de Física de André Felipe Hoernig 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 obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadora: Dra. Neusa Teresinha Massoni

Coorientador: Dr. Dimiter Hadjimichef

Porto Alegre
Maio/2020

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

Religião e Ciência travam uma batalha comum na incessante cruzada, sem fim, contra o cepticismo e o dogmatismo, a descrença e a superstição. O grito para reunir essa cruzada sempre foi e será: até Deus.

Max Planck

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar à professora Neusa Teresinha Massoni, orientadora desta dissertação, que foi fundamental para a execução desta pesquisa. Não mediu esforços para propiciar uma boa orientação, fazendo incontáveis sugestões, críticas e correções neste trabalho. Se esta dissertação tem alguma qualidade, é graças à professora Neusa.

Agradeço igualmente ao professor Dimiter Hadjimichef, coorientador, que contribuiu com muitas sugestões, principalmente para o Módulo Didático. Foi para mim uma honra poder ter o professor Dimiter como coorientador.

Muito obrigado também à professora Sônia Pinto, alunos e direção do colégio Heitor Villa-Lobos, que possibilitaram a execução do Módulo Didático. Foi uma experiência marcante, levo da escola onde realizei a pesquisa boas memórias e boas amizades.

Agradeço aos funcionários da UFRGS e direção do instituto, que auxiliaram em tudo quanto precisei, principalmente quando os alunos vieram conhecer a universidade.

Agradeço aos colegas e amigos de graduação ou pós-graduação que ajudaram com sugestões, conversas descontraídas e enriquecedoras.

Por fim, agradeço a meus familiares, meu pai, Breno, minha mãe, Ana Marli e minha irmã, Ana Gabriela, por terem dado tão importante suporte nesse tempo de mestrado.

A todos, muito obrigado!

RESUMO

A presente investigação versa sobre possibilidades, planejamento e teste de uma estratégia para introduzir o Ensino de Física Quântica no Ensino Médio. Dessa forma, o objetivo geral desta dissertação é promover um Ensino de Física Quântica com base nos referenciais teórico-epistemológicos escolhidos, que tratam do Ensino de Física Quântica para um contexto de aprendizagem de grupo, aprendizagem em um contexto democrático e com possibilidade de conciliação entre Ciência e Religiosidade. Optamos em seguir uma via mais humanista, em que apresentamos o conteúdo físico priorizando o aprendizado conceitual e lançando grande atenção ao desenvolvimento histórico dos primórdios da Física Quântica, utilizando para tanto a Epistemologia da Ciência de Paul Feyerabend. Optamos por uma abordagem conceitual, ao invés de uma estratégia calcada em desenvolvimento matemático, e na articulação da ciência com a religiosidade, tomando como contexto o cenário do nascimento da Quântica, no começo do século XX. Enfatizamos as figuras por trás dos desenvolvimentos científicos da Quântica, exploramos quais eram seus contextos, suas crenças, sua religiosidade, baseando-nos, para isso, na perspectiva de religiosidade segundo William James. Utilizamos a Teoria das Representações de Serge Moscovici como um referencial de aprendizagem de grupo, e almejamos que os grupos sociais sobre os quais este tipo de análise é conduzido possam adquirir uma Representação Social adequada ao saber científico/físico atual, o que é um indício de aprendizagem e de alfabetização científica. Dessa forma, colocamos duas questões de pesquisa: i) *Como ensinar Física Quântica com um viés histórico e epistemológico de maneira a promover uma representação social da ciência alinhada com o saber científico atual?* e ii) *É possível mostrar, na educação científica, que as crenças do pesquisador não embaraçam, tampouco impossibilitam seu fazer científico? O que se aprende quando se tenta esta perspectiva?* Nosso objetivo foi o de ensinar Física Quântica, contudo desenvolvemos, além da apresentação do conteúdo físico, uma abordagem diferenciada com pretensões de transformar o ambiente de ensino-aprendizagem em um local de discussões mais profundas, capaz de preparar os alunos para uma complexa vida em sociedade. Nossos resultados foram obtidos após um amplo estudo teórico, alinhado com atividades práticas que culminaram com a execução de um Módulo Didático na modalidade de estudo de caso. Os resultados apontam que foi possível alcançar em boa medida uma aprendizagem conceitual, em que as representações sociais do grupo se mostraram alinhadas à representação reificada/científica; apontam também que ao pesquisador/professor ligado ao Ensino de Física, mostra-se extremamente relevante mapear as Representações Sociais do grupo para guiar sua atividade didática; identificamos que é possível mostrar, na educação científica, que as crenças e a religiosidade do pesquisador não embaraçam nem atrapalham a atividade científica. A Ciência em uma Sociedade Livre que defendemos e divulgamos não faz qualquer tipo de discriminação.

Palavras-chave: Ensino, Física Quântica, História e Epistemologia da Física, Representação Social, Religiosidade.

ABSTRACT

The present investigation deals with possibilities, planning and testing of a strategy to introduce the Teaching of Quantum Physics in High School. In this way, the general objective of this dissertation is to promote Quantum Physics Teaching based on the chosen theoretical-epistemological frameworks, which deal with the quantum physics teaching in the context of group learning, in a democratic context and with the possibility of reconciliation between Science and Religiosity. We chose to follow a more humanistic path, in which we present the physical content prioritizing conceptual learning and paying great attention to the historical development of the beginning of Quantum Physics, using Paul Feyerabend's Epistemology of Science for this purpose. We opted for a conceptual approach, instead of one based on hard mathematical development, and in the articulation of science with religiosity, taking as context the scenario of the birth of the Quantum, in the beginning of the 20th century. We emphasize the figures behind the scientific developments of Quantum Theory, we explore what were their contexts, their beliefs, their religiosity, basing ourselves in the perspective of religiosity according to William James. We are based on Serge Moscovici's Theory of Representations as a framework for group learning, and we hope that the social groups on which this type of analysis is conducted can acquire a Social Representation appropriate to current scientific/physical knowledge, which can be an indication of learning and scientific literacy. Thus, we pose two research questions: i) *How to teach Quantum Physics with a historical and epistemological bias in order to promote a social representation of science in line with the current scientific knowledge?* and ii) *Is it possible to show, in science education, that the researcher's beliefs do not embarrass, nor do they prevent the scientific practice? What do we learn when trying this perspective?* Our objective was to teach Quantum Physics, however we developed, in addition to the presentation of the physical content, a different approach with the intention of transforming the teaching-learning environment into a place for deeper discussions, a place that prepares students for a complex life in society. Our results were obtained after a wide theoretical study, aligned with practical activities that culminated with the execution of a Didactic Module of Quantum Physics in the perspective of a case study, with students from a high school class. Our results indicate that it was possible to achieve, in a good measure, a conceptual learning of Quantum Physics, in which the social representations of the group were shown to be aligned to the reified/scientific representation; they also point out that to the researcher/teacher connected to Physics Teaching, it is extremely relevant to map the Social Representations of the group to guide their didactic activity, as well as we identified that it is possible to show, in scientific education, that the researcher's beliefs and religiosity do not hinder or embarrass the scientific activity. Science in a Free Society that we defend and propagate makes no discrimination of any kind.

Keywords: Teaching, Quantum Physics, History and Epistemology of Physics, Social Representation, Religiosity.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	7
2. REVISÃO DA LITERATURA	13
2.1 Escopo da Revisão	13
2.2 Artigos que abordam o Ensino de Física Quântica no Ensino Médio	15
2.3 Artigos que abordam as Representações Sociais no contexto da Física ...	32
2.4 Artigos que abordam a relação Ciência e Religião/Religiosidade.....	38
3. REFERENCIAL TEÓRICO-EPISTEMOLÓGICO	59
3.1 A Teoria das Representações Sociais de Serge Moscovici	59
3.1.1 Comparação com os esquemas de pensamento de Kahneman.....	78
3.2 Referencial Epistemológico.....	82
3.2.1 Por que falar de Epistemologia?.....	82
3.2.2 A Epistemologia de Feyerabend.....	84
3.3 A Psicologia Pragmática de James: Ciência e Religiosidade.	112
4. REFERENCIAL METODOLÓGICO.....	122
4.1 Técnicas associadas à TRS	123
4.2 A Teoria Fundamentada	125
4.3 Entrevistas semiestruturadas com professores de Física	132
4.4 O Delineamento do Estudo de Caso.....	135
5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	140
5.1 Estudo Preliminar: Estudo 1	140
5.1.1 Etapa 1: Mapeando as RS e a percepção dos alunos sobre a relação entre Ciência e Religiosidade	140
5.1.2 Etapa 2: Entrevistas com professores de Física.....	162
5.2 Módulo Didático: Estudo 2.....	170
5.2.1 Contexto da aplicação do MD	170
5.2.2 Análise da aplicação de MD no Ensino Médio	172

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	209
REFERÊNCIAS	216
APÊNDICES	225
Apêndice A: Questionário Inicial	225
Apêndice B: Carta de apresentação às Escolas	226
Apêndice C: Questionário Final	227
Apêndice D: Respostas do Questionário Final.....	230
Apêndice E: Lista de presença inicial de alunos	233
Apêndice F: Termo de Consentimento	234
Apêndice G: Lista final de alunos com chamada	235
Apêndice H: Textos de Apoio entregues aos estudantes durante o MD.....	236
Apêndice I: Relatório de atividades do MD.....	246
Apêndice J: Atividade “Quem eu sou?”	289
Apêndice K: Avaliações	291
Apêndice L: Respostas à questão sobre misticismo nas avaliações.	297

1. INTRODUÇÃO

A introdução de Física Moderna e Contemporânea (FMC) no Ensino Médio não é novidade nas discussões da comunidade de Ensino de Física. Há décadas se discutem a necessidade, maneiras e possibilidades de se introduzir temas que marcaram os grandes desenvolvimentos do pensamento científico ocorridos a partir do início do século XX de forma adequada na Escola Básica (OSTERMANN; MOREIRA, 2000; TERRAZZAN, 1992). Dentre os diversos tópicos contemplados pelo “guarda-chuva” da FMC, a Física Quântica tem se mostrado como um conteúdo de importância indiscutível (ROSA, 2019) por diversas razões. Alguns autores defendem que, para a introdução de um dado tópico na Escola Básica ser, de fato, necessária e de importância indiscutível, é preciso que tenha legitimidade cultural ou social (OTERO; FANARO; ARLEGO, 2009). Defende-se que a Física Quântica dispõe de legitimidade cultural e social, dada a sua contribuição para a formação cidadã e sua aplicação em diversas tecnologias na forma de artefatos criados pelo homem, conforme destaca Terrazan (1992, p. 210):

A influência crescente dos conteúdos de Física Moderna e Contemporânea para o entendimento do mundo criado pelo homem atual, bem como a inserção consciente, participativa e modificadora do cidadão neste mesmo mundo define, por si só, a necessidade de debatermos e estabelecermos as formas de abordar tais conteúdos na escola de 2º grau.

Compreende-se também que possui legitimidade cultural, dada a grande influência em aspectos diversificados da cultura contemporânea, sobretudo na ficção e em obras diversas que utilizam a Quântica para a divulgação científica, produções estas que sempre atraem um bom público, especialmente os mais jovens.

Salientamos também que privilegiamos nesta pesquisa uma aprendizagem que valorizasse o aspecto conceitual, de forma a promover certo grau de letramento científico e que expressasse a essência da Física Quântica em seu nível introdutório. Neste sentido, de valorizar uma aprendizagem conceitual, embasamo-nos em ideias da Teoria da Representação Social de Serge Moscovici (MOSCOVICI, 2015) como uma proposta viável para práticas didáticas e pesquisas em Ensino de Ciências, sobretudo em um ramo como o Ensino de Física Quântica. A Teoria das Representações Sociais também se mostra como um referencial viável para entendimento do processo de aprendizagem, contudo lançando sua atenção sempre para o aprendizado de um grupo

social, para aquilo que o grupo constrói como pensamentos e crenças, naquilo que é denominado pelo autor de Representação Social.

Apesar da preocupação destacada com o Ensino de FMC, particularmente o de Física Quântica, salientamos que são poucos os trabalhos que tratam deste com um viés que permita articular essa inserção com discussões sobre História e Epistemologia (ou Filosofia) da Ciência. Entendemos que a prática educativa precisa ser, além de efetiva do ponto de vista científico e didático, capaz de preparar o aluno para a vida em sociedade mais consciente e reflexiva, onde há o convívio com tantas formas distintas de pensamento, especialmente em tempos de redes sociais. Para isso, o Ensino precisa ter, em algum grau, um viés mais humanista, que mostre a Ciência como uma construção feita por pessoas humanas, com grande aptidão para a resolução de problemas empíricos e matemáticos, é verdade, mas com diversas peculiaridades e crenças como qualquer pessoa comum.

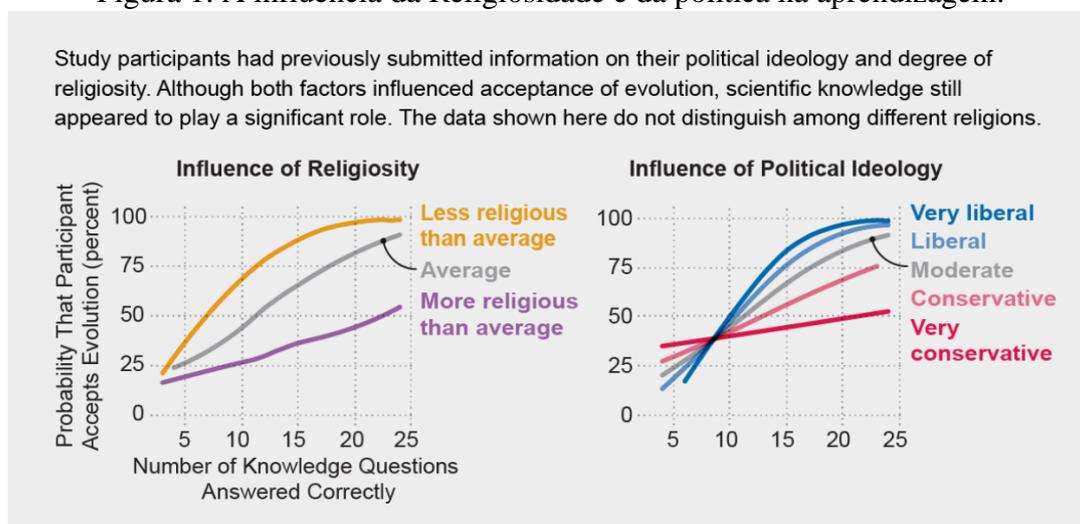
Identificamos que as atividades didáticas de Física geralmente não abordam os nomes de cientistas e pesquisadores que contribuíram de forma relevante para o desenvolvimento científico (BILLINGSLEY; NASSAJI, 2019), cientistas que têm crenças e idiossincrasias, o que classificamos como uma grande perda de potencial da prática didática, podendo passar uma imagem distorcida da Ciência, de que talvez a atividade científica não seja para todos (CARVALHO, 2015). Assim, ao longo desta pesquisa, foram pensadas maneiras que pudessem mitigar essa limitação identificada, com um apelo à abordagem Histórica e Epistemológica, uma vez que ao abordarmos aspectos históricos do desenvolvimento da Física Quântica, foco de nosso Módulo Didático (MD), é natural que sejam abordados aspectos da natureza da ciência e do fazer científico, uma vez que como Imre Lakatos, importante Filósofo da Ciência, parafraseando Kant, afirma: “a filosofia da ciência sem a história da ciência é vazia; a história da ciência sem a filosofia da ciência é cega” (LAKATOS, 1983, p. 107).

Além disso, acreditamos que são diversas as formas de tratar da Epistemologia da Ciência em atividades didáticas; uma delas, a qual empregamos em nossa investigação, é a utilização de aspectos da religiosidade dos cientistas que podem ser articulados cuidadosamente em uma atividade didática de Física Quântica. A relação religiosidade *versus* ciência foi abordada nesta pesquisa para mostrar como as crenças dos cientistas influenciam/ram o seu trabalho de maneira positiva, ou seja, sem causar embaraços ou limitações. É importante destacar que tomamos como pressuposto que a religiosidade influencia a atividade científica de maneira positiva, apenas quando

compreendemos religião segundo a perspectiva de Willian James, que entende religião como tudo aquilo que um indivíduo acredita e que provoca devoções solenes (JAMES, 2017), de forma que se afasta, nesta perspectiva, da religião institucionalizada. Esta sim, em diversas situações ao longo da história, pode ter influenciado de maneira negativa a atividade científica. A discussão acerca da religiosidade, além dessa relação com a Epistemologia, mostra-se relevante em nosso contexto social atual, dado que vivemos em uma sociedade em que a religião constitui um dos aspectos relevantes na vida cotidiana de milhares de pessoas. A religião, contudo, pode acabar se mostrando como um empecilho para a aprendizagem científica, se não for tratada de maneira adequada.

Por exemplo, é comum que alunos de Ensino Médio questionem onde entraria uma divindade criadora, ou Deus, no tema do surgimento do Universo ou na Teoria do *Big Bang* (BILLINGSLEY; NASSAJI; FRASER; LAWSON, 2018); as respostas, não raro, são de que Ele não estaria em lugar nenhum, e que isso nada tem a ver com o conteúdo científico. A princípio, uma resposta desse cunho, reforça a visão de que os professores de Física não devem abordar aspectos da religiosidade em sala de aula, o que é levantado em alguns trabalhos, como o de Montañez (2018), que aborda que a negação da ciência frente a crenças religiosas e políticas pode parecer intratável, e estudos sobre o assunto raramente apontam saídas. A autora traz, contudo, que, conforme ilustrado na Figura 1, quando as pessoas formam suas opiniões sobre tópicos contenciosos, como mudança climática ou evolução, valores políticos ou religiosos superam o conhecimento conceitual e científico, sendo este um desafio que pesquisadores de ensino de física devem enfrentar.

Figura 1: A influência da Religiosidade e da política na aprendizagem.



Fonte: Montañez (2018).

A ideia de ignorar a religiosidade dos estudantes na educação científica no Ensino Médio é algo que não se alinha a algumas visões de vários epistemólogos contemporâneos. Toulmin (1977) traz que as crenças fazem parte da ecologia conceitual. Posner *et al.* (1982) já haviam mostrado, em situação diferente, que não é possível remover os conceitos e crenças, mas o que se pode fazer é revê-los. Então, se estabelecemos um discurso contra as crenças, Posner, conforme Toulmin, indica que a tendência é de o estudante se fechar e não aceitar o argumento científico. Possivelmente alguns alunos aceitem esse argumento, mas ao preço de muitos se fecharem cada vez mais para a ciência.

Não é o ponto aqui afirmar que é preciso ir em defesa da religião ou tornar os alunos religiosos. Não se trata disto. Nosso objetivo precípua esteve voltado ao Ensino de Física Quântica, pelo menos de conceitos introdutórios. A questão é mostrar que, no processo de ensino-aprendizagem de ciências escolar, dentro da sala de aula, todos (os alunos) são convidados a participar do fazer científico, não importando qual seja a sua crença, seu grau de religiosidade. Se o aluno for cristão, ele é convidado ao fazer científico, assim como o que não é. Como um exemplo importante e relevante para a Quântica, tomamos a figura de Planck que, conforme Feyerabend (2011a) e Heisenberg (1996) discutiram, era um cristão ortodoxo. Se o aluno for judeu, é também convidado ao fazer científico e um exemplo histórico marcante é a figura de Einstein. Se for ateu, é igualmente convidado, tomamos o exemplo de Dirac (HEISENBERG, 1996).

Dessa forma, ao abordarmos as importantes contribuições de Planck, Einstein, Dirac ou outros, em uma atividade didática, podemos realizar um trabalho identificado na literatura como trabalho de fronteira (SORREL; ECKLUND, 2018), em que há um interesse primeiro pela apresentação do conteúdo Físico, mas com uma constante preocupação em evidenciar os contextos extra-acadêmicos, que, em nosso caso, eram ligados à religiosidade, pela qual a Física esteve relacionada.

O preconceito com a religiosidade dos estudantes apenas serve a que se estabeleça um distanciamento cada vez maior da ciência, o que pode trazer algumas consequências nefastas, como o advento, ramificação e popularização de certos misticismos. Defendemos que um viés histórico e epistemológico cuidadoso é não apenas necessário, mas fundamental para que, assim, os jovens tenham uma noção mínima sobre os nomes e contextos por trás dos desenvolvimentos da Física. Com isso, acreditamos que, ao trazermos a foco o caráter humano da História da Ciência e de seus

valores e metodologias, poderemos esclarecer tópicos ligados à religiosidade ao abordarmos aspectos da crença desses personagens que muito contribuíram com os desenvolvimentos da quântica do início do século XX. Discute-se como as crenças desses cientistas influenciavam sua visão de mundo, no intuito de prover um diálogo inter-religioso e intercultural, sem abrir mão de ensinar os importantes tópicos de Física, em especial de FMC.

Diante das explanações trazidas até aqui, o cerne da presente dissertação está concentrado em duas questões-foco distintas, porém complementares, que se almejam responder satisfatoriamente a partir da abordagem histórica, epistemológica e conceitual mencionada:

- 1) *Como ensinar Física Quântica com um viés histórico e epistemológico de maneira a promover uma representação social da ciência alinhada com o saber científico atual?*
- 2) *É possível mostrar, na educação científica, que as crenças do pesquisador não embaraçam, tampouco impossibilitam seu fazer científico? O que se aprende quando se tenta esta perspectiva?*

Com isso, esclarecemos que o *objetivo geral* desta pesquisa se constituiu em promover o Ensino de Física Quântica de maneira conceitual e efetiva com base em nossos referenciais teórico-epistemológicos, que tratam do Ensino de Física Quântica para um contexto de aprendizagem de grupo, aprendizagem em um contexto democrático e de possibilidade de conciliação entre Ciência e Religiosidade. Destacamos que nossos *objetivos específicos* constituíram-se em *elucidar meios de proporcionar um Ensino de Física Quântica com um viés histórico e epistemológico de forma a aproximar a Representação Social dos alunos do saber científico atual*, e de modo a promover uma alfabetização científica e uma apresentação adequada do conteúdo físico, alinhando a construção do conhecimento pelo grupo investigado ao ponto de vista histórico e epistemológico. Além disso, almejamos também *promover discussões e formas de mostrar que a religiosidade não precisa embaraçar, no sentido de não perturbar ou confundir, a atividade científica, evidenciando que a Ciência é para todas as pessoas*, independente de crenças e das peculiaridades que o indivíduo possa ter.

Salientamos que as coletas e análises dos diversos dados que subsidiaram nosso estudo classificam esta pesquisa como de cunho essencialmente *qualitativo*, com revisão de literatura e referencial teórico constituindo nossa busca por embasamento, na tentativa de responder nossas questões de pesquisa. Com base na fundamentação teórica, aplicamos os resultados encontrados na teoria em atividades práticas, que se dividiram em dois estudos: o primeiro foi um estudo preliminar (Estudo 1) que forneceu elementos para o segundo (Estudo 2), referente à aplicação de um Módulo Didático em uma turma de alunos de Ensino Médio de uma escola pública do município da Gravataí, RS, para a partir dos achados elaborarmos proposições de respostas às nossas questões de pesquisa.

Com isso em mente, passamos agora à descrição da primeira etapa de pesquisa, a revisão de literatura. Veremos como a comunidade de pesquisa em Ensino de Física e Ensino de Ciências tem articulado o Ensino de Física Quântica atualmente, quais são as ligações com os estudos de Representações Sociais e, por fim, quais são as possibilidades para o estudo da relação entre Ciência e Religião/religiosidade, procurando constantemente relacionar com o contexto da sala de aula.

2. REVISÃO DA LITERATURA

A revisão de literatura realizada para fins desta dissertação foi organizada em distintas subseções: na primeira seção detalhamos o escopo da revisão, onde mencionamos os critérios para a escolha de artigos; na segunda, abordamos os artigos que discorrem sobre o Ensino de Física Quântica; na terceira seção abordamos os trabalhos que tratam do uso das Representações Sociais voltadas para o contexto da Física e de seu ensino, e por fim, na quarta seção, trazemos autores que discorrem sobre a relação entre Ciência e Religião, por ser um dos focos de nossa investigação.

2.1 Escopo da Revisão

Com a intenção de estabelecer uma revisão teórica que subsidie a presente investigação, bem como a escrita da dissertação, foi mapeada a produção acadêmica relativa às duas questões de pesquisa. Fizemos buscas por meio de descritores, apresentados a seguir, referentes a estas questões na plataforma *Web of Science*, sendo que optamos pela busca e revisão de artigos acadêmicos e artigos publicados em anais de eventos ou congressos, sem levar em conta dissertações e teses, em virtude do bom número de textos que foi obtido através da busca nesta base. Optamos por utilizar apenas descritores em inglês, dado que com eles foi localizado um bom número de artigos em português, uma vez que é comum que todo artigo também contenha título e resumo com versões em inglês.

Foram feitas três buscas diferentes, a saber: uma busca por artigos que versassem sobre o Ensino de Física Quântica, associada a nossa primeira questão de pesquisa; e, como nessa primeira busca não foram encontrados muitos textos (apenas um) que abordassem também o uso das representações sociais, isto é, apenas um artigo que tratava conjuntamente o Ensino de Física Quântica e as Representações Sociais foi localizado, realizamos uma segunda busca de artigos que abordassem as Representações Sociais no contexto da Física e de seu ensino. O objetivo foi aumentar a abrangência da revisão para termos uma boa visão sobre a produção acadêmica referente a nossa primeira questão de pesquisa. Em um segundo momento, então, procuramos pela produção referente à relação entre Ciência e Religião, que se refere à segunda questão de pesquisa. A seguir detalhamos essas buscas.

Para artigos de Ensino de Física Quântica, utilizamos os descritores “*Quantum Physics Teaching AND Secondary School*” na base *Web of Science Core Collection* (a base *Web of Science* faz distinção entre os operadores booleanos AND, OR e NOT), acessível via portal de periódicos da Capes. Optamos por utilizar apenas *Secondary School* e não outros termos, como *High School*, por exemplo, porque nosso foco se deu para o Ensino de Física Quântica para a Escola Básica, em um contexto de Ensino Médio. Com uso do filtro temporal, restringimos a busca a produções feitas entre 2009 e 2019 e obtivemos 17 artigos. Foram, então, considerados apenas aqueles que versassem sobre tópicos introdutórios de Física Quântica para o Ensino Médio, o que resultou em 13 textos. Contudo, a busca na coleção principal da *Web of Science* fornece apenas artigos em inglês, o que não nos trazia uma boa indicação sobre as pesquisas realizadas no Brasil e na América do Sul. Tendo isso em mente, foi realizada uma busca com os mesmos descritores e filtros na base *Web of Science SciELO (SciELO Citation Index)*, onde foram encontrados mais seis textos.

Para mapear as produções acerca da relação entre Ensino de Física Quântica e a utilização da teoria das Representações Sociais, utilizamos os descritores “*Social Representation AND Physics*”, e com o uso do filtro temporal, restringindo a busca a produções feitas nos últimos dez anos (de 2009 até 2019), obtivemos 87 artigos na coleção principal e 15 na base relacionada à SciELO. Utilizando as categorias fornecidas pela *Web of Science* que se relacionam ao tema da pesquisa (*Education Educational Research; Education Scientific Disciplines e Physics Multidisciplinary*), o total de artigos ficou em quarenta e dois. Foi feita uma leitura de título e resumo, descartando aqueles que não tivessem alguma relação com o Ensino de Física; isso indicou a presença de um total de sete artigos.

Procurando por produções acadêmicas que abordassem a relação entre Ciência e Religião, utilizamos os descritores “*Science AND Religion*”, publicadas entre 2015 e 2019. Adotamos um período menor em virtude do grande número de produções existentes, o que resultou, ainda assim, em 2227 artigos acadêmicos e artigos de anais de congressos. Utilizando as categorias fornecidas pela base (*Education Educational Research; Education Scientific Disciplines; History and Philosophy of Science; Physics Multidisciplinary e Physics Applied*), obtivemos 386 produções; pela leitura de título e resumo, descartamos aqueles que não tivessem alguma relação notória com o Ensino de Física e assim obtivemos 30 artigos na coleção principal. Na coleção SciELO, devido à

quantidade menor de artigos, aumentamos o período de busca para os últimos dez anos, o que resultou em 226 artigos; isto incluía artigos acadêmicos e artigos de revisão. Utilizando as mesmas categorias fornecidas pela base, obtivemos 25 artigos e, pela leitura de título e resumo, apenas mais um se mostrou adequado para o tema da dissertação.

Dessa forma, analisamos dezenove artigos voltados para o Ensino de Física Quântica, sete artigos relacionados com as Representações Sociais e trinta e um sobre a relação entre Ciência e Religião, resultando em um total de cinquenta e sete artigos que compõem a presente revisão. Para uma melhor visualização, os artigos foram organizados nos Quadros 1, 2 e 3 (destacando o ano da publicação, os autores e o título), que aparecem no início das seções subsequentes, junto com uma análise em maior detalhamento.

2.2 Artigos que abordam o Ensino de Física Quântica no Ensino Médio

Quadro 1: Listagem de artigos sobre Ensino de Física Quântica no Ensino Médio.

Ensino de Física Quântica			
	Ano	Autores	Título
1	2019	KRIJTENBURG-LEWERISSA; POL; BRINKMAN; VAN JOOLINGEN	<i>Key topics for quantum mechanics at secondary schools: a Delphi study into expert opinions</i>
2	2019	STADERMANN; VAN DEN BERG; GOEDHART	<i>Analysis of secondary school quantum physics curricula of 15 different countries: Different perspectives on a challenging topic</i>
3	2019	CLAVIJO; WALTEROS; CORTÉS	<i>La actividad experimental como una parte fundamental para la enseñanza de la física moderna: el caso de la mecánica cuántica.</i>
4	2018	AYENE; KRICK; DAMITIE; INGERMAN; THACKER	<i>A Holistic Picture of Physics Student Conceptions of Energy Quantization, the Photon Concept, and Light Quanta Interference</i>
5	2018	FANARO; ELGUE	<i>La Conceptualización De La Experiencia De La Doble Rendija A Partir Del Enfoque De Caminos Múltiples de Feynman</i>
6	2018	CUESTA-BELTRÁN	<i>Estado del arte: tendencias en la enseñanza de la física cuántica entre 1986 y 2016</i>
7	2017	KRIJTENBURG-LEWERISSA; POL; BRINKMAN; VAN JOOLINGEN	<i>Insights into teaching quantum mechanics in secondary and lower undergraduate education</i>
8	2017	MARKIN; MARKINA; EILKSB	<i>The application of laser pointers for demonstration experiments in nanotechnology lessons at secondary school level</i>

9	2016	PAGLIARINI; ALMEIDA	<i>Leituras por alunos do ensino médio de textos de cientistas sobre o início da física quântica</i>
10	2015	HERAUD ; LAUTESSE; FERLIN ; CHABOT	<i>Representing the Quantum Object Through Fiction in Teaching. The Ontological Contribution of Gamow's Narrative as Part of an Introduction to Quantum Physics</i>
11	2015	LAUTESSE ; VALLS ; FERLIN; HERAUD; CHABOT	<i>Teaching Quantum Physics in Upper Secondary School in France: 'Quanton' Versus 'Wave-Particle' Duality, Two Approaches of the Problem of Reference</i>
12	2014	ASIKAINEN; HIRVONEN	<i>Probing Pre- and In-service Physics Teachers' Knowledge Using the Double-Slit Thought Experiment</i>
13	2013	LEVRINI; FANTINI	<i>Encountering Productive Forms of Complexity in Learning Modern Physics</i>
14	2013	BERTOZZI	<i>What is what we call the 'quantum field'? Answering from a teaching perspective by taking the foundations into account.</i>
15	2013	ALEMANY; BLANCO; TORREGROSA	<i>La introducción del concepto de fotón en bachillerato</i>
16	2011	VELENTZAS; HALKIA	<i>The 'Heisenberg's Microscope' as an Example of Using Thought Experiments in Teaching Physics Theories to Students of the Upper Secondary School</i>
17	2010	STEVENS; DELGADO; KRAJCIK	<i>Developing a Hypothetical Multi-Dimensional Learning Progression for the Nature of Matter</i>
18	2009	BETZ; LIMA; MUSSATTO	<i>Dualidade onda-partícula: um objeto de aprendizagem baseado no interferômetro de Mach-Zehnder</i>
19	2009	OTERO; FANARO; ARLEGO	<i>Investigación y desarrollo de propuestas didácticas para la enseñanza de la Física en la Escuela Secundaria: Nociones Cuánticas</i>

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Entre os artigos selecionados identificamos preocupações e pesquisas distintas. Alguns pesquisadores defendem a abordagem de temas que sejam relevantes aos alunos, em que seja possível mostrar aplicações práticas dos conteúdos de Física Quântica (AYENEL; KRICK, DAMITIE; INGERMAN; THACKER, 2018 e STEVENS; DELGADO; KRAJCIK, 2009); alguns autores defendem a utilização de experimentos em laboratório ou com materiais de baixo custo (CLAVIJO; WALTEROS; CORTÉS, 2019; AYENEL; KRICK; DAMITIE; INGERMAN; THACKER, 2018; MARKIN; MARKINA; EILKSB, 2017) ou com a utilização de softwares e simulações computacionais disponíveis na internet (STEVENS; DELGADO; KRAJCIK, 2009 e BETZ; LIMA; MUSSATO, 2009). Outros autores se preocupam em analisar como são as diretrizes e direcionamentos nessa área, em termos de currículos para a escola básica (STADERMANN; VAN DEN BERG; GOEDHART, 2019), em livros didáticos

(ALEMANY; BLANCO; TORREGROSA, 2013), ou em ambos, através de revisões sistemáticas sobre esse tema (CUESTA-BELTRÁN, 2018 e KRIJTENBURG-LEWERISSA; POL; BRINKMAN; VAN JOOLINGEN, 2017). Há trabalhos que realizaram entrevistas com professores acadêmicos, de Ensino Médio e em formação, para procurar mapear os assuntos que se revelam mais recorrentes em introduções a essa temática, bem como buscaram mapear a existência de falhas ou limitações conceituais na atividade didática (KRIJTENBURG-LEWERISSA; POL; BRINKMAN; VAN JOOLINGEN, 2019; AYENEL; KRICK; DAMITIE; INGERMAN; TRACKER, 2018 e ASIKAINEN; HIRVONEN, 2014). Identificamos também alguns relatos de experiências didáticas com abordagens diversas, como descrições de atividades com o Interferômetro de Mach-Zender (BETZ; LIMA; MUSSATTO, 2009), relatos de módulos didáticos baseados em experimentos de pensamento (FANARO; ELGUE, 2018 e VALENTZAS; HALKIA, 2010), exposição de atividades baseadas em leitura de textos científicos ou de divulgação científica (HÉRAUD; LAUTESSE; FERLIN; CHABOT, 2017 e PAGLIARINI; ALMEIDA, 2016) ou ainda, relatos de atividades experimentais, sobretudo com o uso de *lasers* (CLAVIJO; WALTEROS; CORTÉS, 2019; MARKIN; MARKINA; EILKS, 2017).

Entre estes diversos autores, Stadermann, van den Berg e Goedhart (2019) ressaltam a importância do Ensino de Física Quântica na Escola Básica, defendendo ser um tema de extrema importância para um entendimento inicial da visão de mundo científica contemporânea, e que os estudantes devem ter a chance de aprender assuntos mais recentes e não se limitar à física do século XIX. Neste sentido, Pagliarini e Almeida (2016) destacam que, mesmo para alunos que não utilizarão diretamente os conhecimentos científicos em situações de sua vida acadêmica ou profissional, a presença de temas como a Física Quântica no currículo e nas discussões em sala de aula é enriquecedora e, sob certas circunstâncias, necessária. Outros entendem que para a introdução de um dado tópico ser de fato necessário na Escola Básica é preciso que o tema tenha legitimidade cultural ou social (OTERO; FANARO; ARLEGO, 2009), ou seja, que provenha de questões levantadas pela sociedade, de forma que os jovens estudantes tenham um mínimo entendimento para lidar com tais questões. Sob esta perspectiva, acreditamos que a quântica dispõe de legitimidade cultural e social, uma vez que boa parte da tecnologia atual se baseia diretamente ou indiretamente nela. Não obstante, segundo Otero, Fanaro e Arlego (2009), a Mecânica Quântica se mostra como

a base da eletrônica de semicondutores, *lasers*, tecnologias nucleares e desempenha papel central no desenvolvimento de tecnologias recentes, como a computação quântica e diversos aspectos da nanotecnologia. A temática também tem relevância cultural pelo fascínio, com um apelo muitas vezes místico no público em geral, relevado pela ficção e pelo entendimento popular de tópicos como teletransporte, universos paralelos ou computadores quânticos (STADERMANN; VAN DEN BERG; GOEDHART, 2019). Também é destacado que o entendimento público da ciência, sobretudo da Física Quântica, torna o papel do professor uma tarefa complicada, sobre a qual é necessário lançar um olhar mais cuidadoso, para que se transmita uma visão correta da ciência.

Stadermann, van den Berg e Goerdhart (2019) salientam que o ensino de Física Quântica, entre diversas possibilidades, propicia situações de discussão sobre a filosofia e natureza da ciência, uma vez que oferece novas visões de realidade e interpretações que entram em conflito com conceitos anteriormente aprendidos na Física Clássica como a natureza das partículas, localidade e determinismo. Estes autores destacam que não se deve apresentar a Física como apenas baseada em fatos e que, por isso, necessariamente seria verdadeira, uma vez que o aluno que entende que a ciência fornece uma verdade absoluta, entre diversos problemas de ordem histórica e epistemológica, encontrará dificuldades para lidar com as diferentes interpretações da Física Quântica, as quais revelam diferentes visões sobre a natureza dos entes quânticos, nenhuma sendo mais ou menos verdadeira. Ressaltam que na prática muitos estudantes conhecerão apenas uma interpretação, a interpretação favorita do professor, ou mesmo do livro didático adotado por ele.

Betz, Lima e Mussato (2009) destacam que uma interpretação pode ser informalmente definida como uma ponte conceitual que é estabelecida entre os elementos da teoria e os fatos experimentais, sendo que existem diversas interpretações compatíveis com os dados e internamente consistentes, porém com diversas divergências conceituais entre elas. Os autores relatam que em sua atividade didática optaram pela escolha da interpretação de Copenhague, ou de Bohr e von Neumann, mas mencionam interpretações alternativas, como a interpretação dos muitos universos ou do estado relativo, a interpretação da onda piloto ou das variáveis ocultas. Stadermann, van den Berg e Goerdhart (2019) sublinham que é de fundamental importância evidenciar a existência de diversas interpretações para um mesmo fato, amenizando a ideia de ciência como fornecedora de uma verdade absoluta. Betz, Lima e Mussato

(2009) destacam ainda a importância de atividades computacionais e simulações, pois permitem uma melhor visualização de diversos fenômenos quânticos, com visão corroborada por Otero, Fanaro e Arlego (2009) e Stevens, Delgado e Krajcik (2009).

Contudo, a visualização de tais fenômenos quânticos pode ser problemática ao ensino. Levrini e Fantini (2013), ao analisarem uma série de livros-texto de Física utilizados em escolas italianas, destacam que o desejo de simplificar o conteúdo, com o uso de analogias e representações visuais na tentativa de torná-lo o mais próximo possível da linguagem dos alunos pode ser perigoso, uma vez que se corre o risco de distorcer o conteúdo, bem como o processo de aprendizagem. Destacam, por exemplo, que os alunos encontram grande dificuldade em assimilar a noção de dualidade onda-partícula, pois “negam que o que geralmente é pensado como uma partícula possa se comportar como uma onda. Eles veem isso como algo que pode ser dividido em dois, mas deve estar ‘aqui’ ou ‘lá’.” (LEVRINI; FANTINI, 2013, p. 3, tradução nossa). Segundo estes autores, a necessidade de comparação com o mundo clássico deve atenuar-se, uma vez que a Física Quântica e sua nova descrição matemática projeta o mundo real em um espaço abstrato e não familiar, como o espaço de Minkowski ou o espaço de Hilbert. Estes espaços abstratos, destacam eles, são “construções intelectuais que não podem ser relacionadas com o ‘espaço do mundo real’ de modo intuitivo” (Ibid., p. 4), enfatizando que em intervenções didáticas é recomendado ao professor alertar que se está adentrando em um campo de estudo completamente novo, onde nossos conceitos mais fundamentais de tempo, espaço e localidade são profundamente modificados e que novos conceitos, não concebidos na Física Clássica, são agora criados. Alertam ainda que é preciso que haja a aceitação de que a Mecânica Quântica requer uma quantidade mínima, ou nenhuma, de visualizações por meio de imagens familiares, como um modelo planetário. Nesse sentido, Standermann, van den Berg e Goedhart (2019) destacam que certos tópicos apresentados em cursos introdutórios de Quântica carregam o problema da visualização; desta forma, tópicos como linhas espectrais de gases, níveis de energia discretos em átomos e diodos emissores de luz (LEDs) estão relacionados à Quântica, mas podem ser perfeitamente entendidos com o modelo planetário semiclássico de Bohr. Portanto, não seriam tópicos que exprimem a essência da Física Quântica, como a dualidade ou o caráter probabilístico, e não deveriam constar em um curso de Mecânica Quântica. Estes autores recomendam, então, o uso do termo “Física Quântica”, ao invés de “Mecânica Quântica”, uma vez

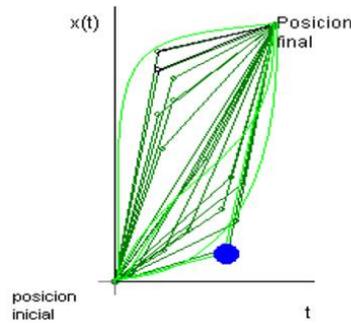
que o foco da ministração seja apresentar algumas ideias centrais, os principais cientistas e aplicações tecnológicas. Com isso, Levrini e Fantini (2013) apontam que o recurso da visualização deve ou ser evitado, ou quando muito necessário, feito com muito cuidado. Defendem que se utilize em primeiro lugar representações gráficas que facilitem o entendimento das ideias matemáticas, no que chamam de “visibilidade” (*visualizability*, ou *Anschaulichkeit*, termo recorrente no alemão) ao invés da visualização (*visualization*, ou *Anschauung*).

Um exemplo de recurso que permite a visualização são os diagramas de Feynman. Identifica-se que a técnica de diagramas de Feynman tem recebido grande importância em atividades com turmas de Ensino Médio, sendo que todos são utilizados para entendimento do experimento de dupla-fenda. Betz, Lima e Mussato (2009) enfatizam que o experimento de dupla-fenda é um quadro canônico para a apresentação da dualidade e a análise das questões associadas. Otero, Fanaro e Arlego (2009) destacam que as propostas baseadas no enfoque de Feynman utilizam a técnica de caminhos múltiplos, se centrando no comportamento da luz e fazendo grande uso de ferramentas computacionais. Esta proposta é ilustrada na imagem da Figura 2, onde Otero, Fanaro e Arlego (2009) procuram sintetizar a técnica dos caminhos múltiplos utilizando o software “Modellus”².

Em resumo, se considera todos os caminhos que conectam o estado inicial $I(0,0)$ ao estado final $F(x,t)$. A cada $x(t)$ possível se associa um valor numérico chamado ação S , relacionado à energia cinética média temporal E_{CP} e ao potencial médio temporal E_{PP} . A partir de S se constrói um vetor denominado “amplitude de probabilidade” associado a cada $x(t)$; se adicionam todos os vetores associados aos diferentes caminhos que conectam os estados inicial e final, chamando esse vetor resultante de soma de “amplitude total de probabilidade”; se calcula o módulo deste e, por fim, o resultado é a probabilidade de chegar ao estado final F , partindo do estado inicial I .

² O Modellus é um *software* gratuito para modelagem interativa com matemática. Pode-se usá-lo para construir modelos matemáticos e explorá-los com animações, gráficos e tabelas. O Modellus é um *software antigo* e seu site oficial encontra-se desativado. Contudo, pode ser encontrado em <<http://www.fisica.ufpb.br/~romero/port/modellus.htm>>. Acesso em: fevereiro, 2020.

Figura 2: Ilustrando a técnica de múltiplos caminhos de Feynman.



Fonte: Otero, Fanaro e Arlego (2009).

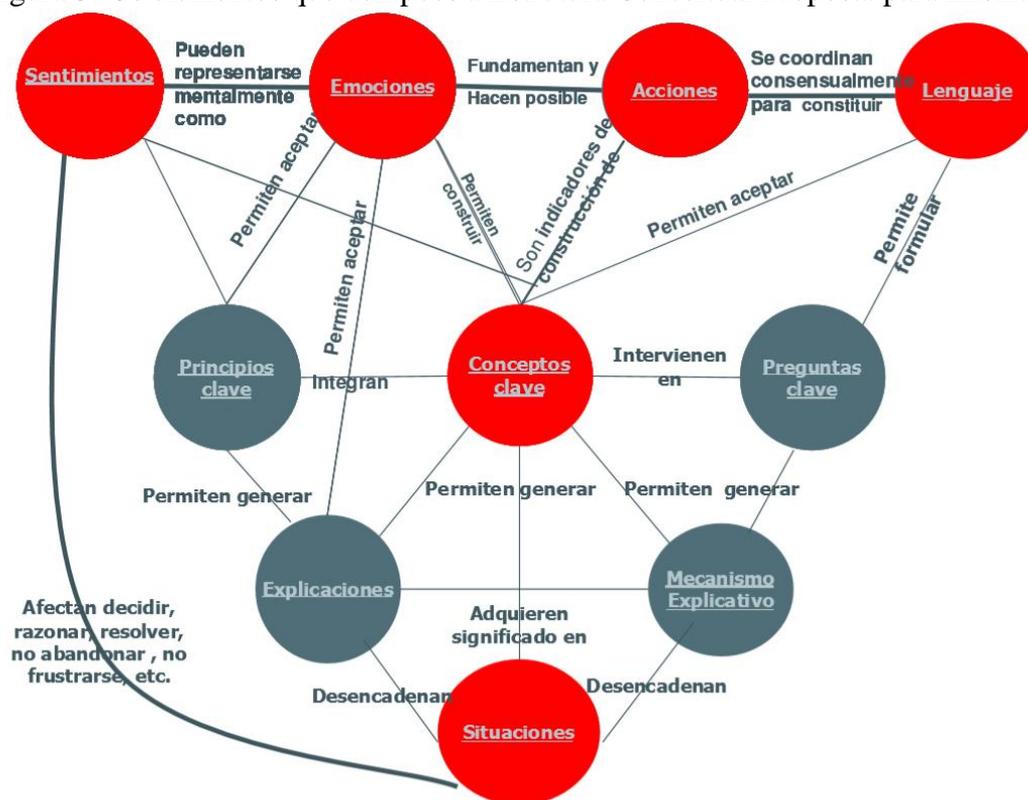
Quanto ao aporte teórico-didático, Otero, Fanaro e Arlego (2009) utilizam a Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud, destacando que a Mecânica Quântica é entendida como um campo conceitual, em que os educadores procuram reconstruir no ambiente escolar o campo conceitual estabelecido na academia, sendo esta relação entre escola e universidade denominada de Estrutura Conceitual de Referência (ECR). Mais precisamente, uma estrutura conceitual de referência é:

um conjunto de conceitos, relações entre eles, princípios, declarações de conhecimento e explicações relacionadas a um determinado CC [campo conceitual], reconstruído pelo pesquisador de acordo com o conhecimento produzido pela comunidade científica de referência (OTERO; FANARO; ARLEGO, 2009, p. 63, tradução nossa).

Com a Estrutura Conceitual de Referência em mente, que pode ser obtida através de diversas formas, como o contato direto com professores (KRIJTENBURG-LEWERISSA; POL; BRINKMAN; VAN JOOLINGEN, 2017), ou por manuais didáticos diversos e livros-textos, sempre de maneira crítica e reflexiva (PAGLIARINI; ALMEIDA, 2016), passa-se à construção de uma Estrutura Conceitual Proposta para Ensinar (ECPE), que se assemelha à ECR, porém com objetivo de transformar esta em uma estrutura acessível ao aluno, com base no contexto da instituição de aplicação. As situações, um conceito chave na teoria de Vergnaud (1990), são entendidas nesses trabalhos como aquilo que subsidia e fundamenta a montagem da ECPE com base na ECR. Desta forma, Otero, Fanaro e Arlego (2009, p. 63, tradução nossa), conforme ilustrado na Figura 3, sintetizam que:

Ao propor uma ECPE, se projeta e se analisa didaticamente o conjunto de situações que permitirão o surgimento e operação dos conceitos-chave, os princípios-chave da ECPE correspondentes, as perguntas-chave, as explicações e afirmações de conhecimento que se espera que sejam realizadas, emoções e ações, sentimentos, mecanismos explicativos e linguagem na qual serão formuladas explicações e afirmações de conhecimento.

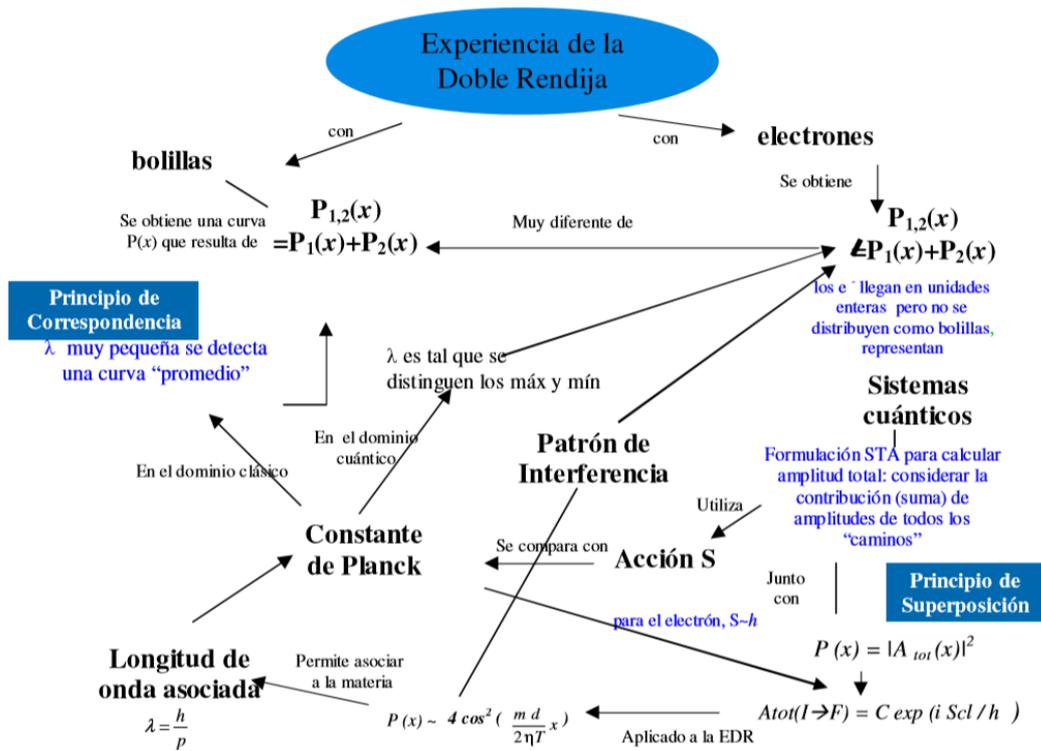
Figura 3: Os elementos que compõem a Estrutura Conceitual Proposta para Ensinar.



Fonte: Otero, Fanaro e Arlego (2009).

Destaca-se que dentro do grande tema da Mecânica Quântica existem diversas possíveis ECR, que se referem aos diferentes tópicos que o professor venha a trabalhar, neste caso, a experiência de dupla fenda. Para cada ECR, existem diferentes possibilidades de ECPE, ou seja, existem diferentes formas de ensinar um mesmo tópico; uma delas é a técnica de caminhos múltiplos de Feynman. Os autores sintetizam a ECR que guia a formação da ECPE em um mapa, apresentado na Figura 4 que achamos relevante mostrar (destaca-se que η é a forma que os autores utilizam para representar a constante de Planck reduzida).

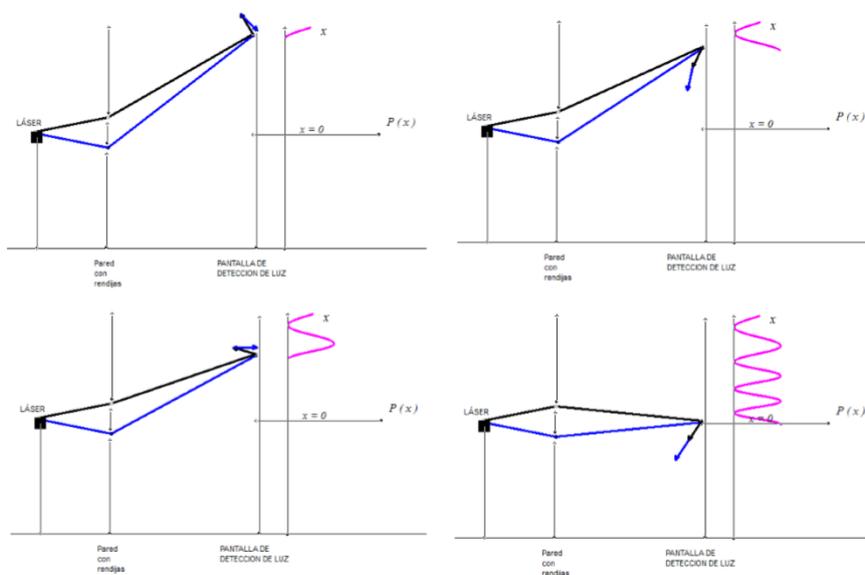
Figura 4: Estrutura Conceitual de Referência.



Fonte: Otero, Fanaro e Arlego (2009).

Propostas como esta enfatizam a descrição probabilística como um aspecto central da teoria Quântica, onde se constrói uma simulação na qual a construção do gráfico da função probabilidade é mostrada para cada valor de x , e simultaneamente os dois principais vetores que contribuem para o cálculo da probabilidade são desenhados, para cada fenda. Na Figura 5, são apresentadas algumas das telas oferecidas pela simulação.

Figura 5: Algumas telas de saída da simulação para Experiência de Dupla Fenda com enfoque em caminhos múltiplos de Feynman.



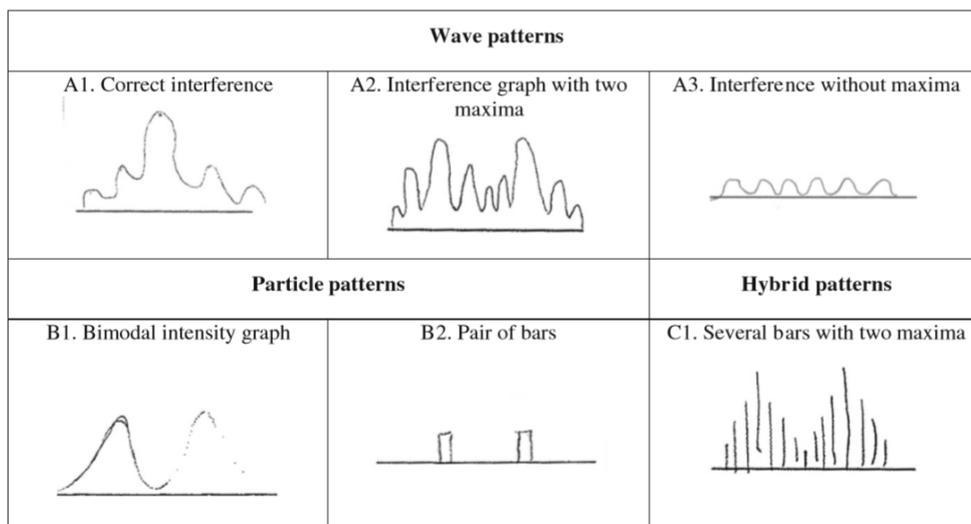
Fonte: Fanaro e Elgue (2018).

Desta forma, essas propostas amenizam o problema da visualização destacado por Levriani e Fantini (2013) diante da dificuldade de se trabalhar com a ontologia dos entes quânticos. Asikainen e Hirvonen (2014) também tomaram como objeto de estudo o experimento de dupla fenda. Todavia, procurando mapear o entendimento de professores de física de escolas da Finlândia, professores atuando ou em processo final de formação acadêmica, sobre o experimento de dupla-fenda como um experimento de pensamento (portanto, sem o uso de simulações computacionais). Apesar do recorrente uso e defesa dos experimentos de pensamento (VALENTZAS; HALKIA, 2010), os autores salientam que estes devem se constituir uma ferramenta auxiliar e não como técnica frequente que subsidie por completo uma intervenção didática, uma vez que este “nunca pode substituir observações ou um experimento físico, porque um experimento de pensamento repousa em pressupostos auxiliares considerados verdadeiros” (ASIKAINEN; HIRVONEN, 2014, p. 2, tradução nossa).

Os autores solicitaram aos professores que desenhassem como seria o padrão registrado em um anteparo, após luz e elétrons terem passado por um sistema de fenda dupla. Destacam que para o padrão de interferência poder surgir, algumas premissas devem ser consideradas: para a luz basta que as fendas tenham tamanho de cerca de 0.1 mm e que a distância entre elas seja de 0.5 mm ; já para elétrons, a largura das fendas deve ser menor que o comprimento de onda de De Broglie, $\lambda = h/p$. O experimento de

dupla-fenda como um experimento de pensamento necessita estar fundamentado neste conjunto de premissas. Os pesquisadores destacam que todas as respostas levantadas junto aos professores apontam que as fendas necessitam ter largura menor ou igual ao comprimento de onda da luz, porém “se a fenda for menor que, por exemplo, 500 nm , a intensidade seria tão pequena que o padrão de intensidade não seria visível ao olho humano” (ASIKAINEN; HIRVONEN, 2014, p. 10, tradução nossa). Contudo, destacam que mesmo com pressupostos errados, alguns professores chegaram ao padrão esperado para o experimento, porém diversos docentes, sobretudo professores ainda em formação, destacaram padrões de interferência destoantes do esperado para este experimento de pensamento. Alguns resultados obtidos pelos autores foram classificados e são ilustrados na imagem da Figura 6.

Figura 6: Os diferentes padrões de interferência destacados pelos professores.



Fonte: Asikainen e Hirvonen (2014).

Destacaram que os participantes do estudo tinham a tendência de caracterizar elétrons dentro da categoria de partículas clássicas ao invés da categoria de entes quânticos. Sugerem que tal dificuldade é causada por ensinamentos tradicionais, os quais:

usam análogos mecânicos sem discriminar entre os diferentes status ontológicos dos conceitos que levarão os alunos a tratar partículas elementares como objetos materiais comuns (ASIKAINEN; HIRVONEN, 2014, p. 19, tradução nossa).

Desta forma, é evidenciado novamente o problema de visualização, que se refere ao caráter ontológico dos entes quânticos, e a dificuldades de alunos e também professores, como destacado pelos autores, em assimilar este caráter. Outrossim, Cuesta-Beltrán (2018) destaca o grande número de professores em formação que

apresentam falhas no entendimento de aspectos conceituais fundamentais da teoria, erros que persistem mesmo após o término do curso. Os futuros professores “confundem as ideias clássicas com as quânticas em situações próprias da Física Quântica e esses erros provavelmente se propagam aos seus alunos e aos livros por eles escritos” (CUESTA-BELTRÁN, 2018, p. 152, tradução nossa).

Novamente quanto ao caráter ontológico dos entes quânticos, Lautesse, Valls, Ferlin, Héraud e Chabot (2015) enfatizam que a dualidade onda-partícula é uma formulação que se aplica à manifestação de fótons ou elétrons, que se comportam como onda ou partícula dependendo do experimento considerado. Todavia, a dualidade não descreve a natureza intrínseca de fótons e elétrons, que não são ondas ou partículas, mas entes quânticos, certas vezes denominados *quantons* (LAUTESSE; VALLS; FERLIN; HÉRAUD; CHABOT, 2015). Esta denominação, conforme destacado pelos autores, foi elucidada no final da década de sessenta pelo filósofo da ciência Mario Bunge, na tentativa de afastar a quântica das analogias clássicas. O *quanton* é um termo próprio para designar todos os entes quânticos, que não são ondas nem partículas; são elementos que não podem ser identificados visualmente, mas que são reais e obedecem às leis da Mecânica Quântica, de forma a fornecer uma interpretação realista e literal que é negada pela interpretação de Copenhague.

Em uma análise de currículos de quinze países Europeus foi identificado que o currículo francês utiliza em suas diretrizes o termo *quanton*, e esta noção já vem sendo empregada em diversos livros-texto do país (STADERMANN; VAN DEN BERG; GOEDHART, 2019). Além disso, salientam estes autores que, apesar da comunidade de pesquisadores de ensino de ciências apontar que aspectos da Epistemologia e História da Ciência auxiliam na construção do conhecimento físico, os currículos europeus demonstram pouca ou nenhuma preocupação em trazer indicações sobre a temática. Identificaram também que, em se tratando do ensino de Física Moderna, apenas Noruega e Suécia possuem indicações para tratar os aspectos NOS (*Nature of Science*) e filosofia da ciência no contexto da sala de aula, mas apenas de forma indireta. Indicam que esta falta de preocupação em nível curricular tem uma influência negativa direta na sala de aula, uma vez que os livros didáticos, para serem aprovados, necessitam estar baseados nas diretrizes curriculares. Desta forma, o aspecto histórico é relegado, ou algumas vezes abordado de forma equivocada. As situações mais destacadas são referentes ao surgimento da teoria quântica com Planck e Einstein, em que se apresenta

a situação do surgimento da teoria quântica como sendo um evento aguardado pela comunidade científica, com ampla e rápida aceitação. Nesse sentido, colocam que

A maioria dos livros didáticos simplifica o curso real da história, apresentando o efeito fotoelétrico como um problema não resolvido que foi brilhantemente explicado por Einstein e, conseqüentemente, levou à introdução e aceitação da nova teoria quântica (STADERMANN; VAN DEN BERG; GOEDHART, 2019, p. 13, tradução nossa).

Salientam ainda que essa práxis não corresponde com o real desenvolvimento da Quântica, classificando essa abordagem como quase-histórica, neste caso, com experimentos e descobertas históricas sendo **apresentados como se a ordem cronológica de evidências e falhas da física clássica tivesse tornado necessário o desenvolvimento de uma nova teoria.**

Neste sentido, Alemany, Blanco e Torregrosa (2013) identificaram que os livros texto utilizados na Espanha apresentam erroneamente a introdução do conceito de fóton. Em primeiro lugar, destacam que a teoria clássica em momento algum tornou necessário o desenvolvimento de uma nova teoria, uma vez que a comunidade científica considerava que na física haveria apenas alguns aspectos a serem resolvidos, como as declarações de lorde Kelvin, de que a física acabou e que “as gerações seguintes de físicos só precisam melhorar os dispositivos experimentais e colocar decimais nos resultados” (ALEMANY; BLANCO; TORREGROSA, 2013, p. 8, tradução nossa). Essa visão da ciência que se mostrava comum nos primeiros anos do século XX, influenciou a concepção de Planck, que em momento algum desejava propor uma nova teoria, pelo contrário:

A introdução do quantum de energia para explicar o espectro do corpo negro foi, [...], um recurso matemático que explicava os resultados experimentais, mas não modificava o modelo de radiação aceito até o momento (ALEMANY; BLANCO; TORREGROSA, 2013, p. 5, tradução nossa).

Em seguida, enfatizam que na explicação para o Efeito Fotoelétrico, em 1905, Einstein considera o *quantum* como um pacote de energia sem uma imagem clara da natureza destes pacotes, o termo fóton não fora sugerido por ele. Ademais, apesar da capacidade explicativa das ideias manifestas por Einstein no artigo de 1905, a comunidade científica recebeu essa proposta com incredulidade e ceticismo, com aceitação apenas a partir de 1915 após o trabalho rigoroso de Millikan, que, visando “reafirmar a natureza ondulatória da luz, demonstrou a validade da equação proposta

por Einstein ($E = h\nu - W$ em notação moderna)” (ALEMANY; BLANCO; TORREGROSA, 2013, p. 6, tradução nossa). Assim, enfatizam que se por anos se negou o comportamento dual da luz e que se isto aconteceu com cientistas de grande relevância na comunidade científica, não se deve supor que alunos de Ensino Médio aceitem essa ideia imediatamente. O contexto histórico de aceitação dos primórdios da teoria quântica pode auxiliar neste sentido, facilitando a aquisição de conceitos fundamentais.

Pagliari e Almeida (2016) constatam que a leitura de textos de divulgação científica e de originais de cientistas não é uma prática comum nas atividades escolares e que o conteúdo que chega aos alunos, baseado em livros didáticos diversos, acaba sendo distorcido, sobretudo no caráter histórico. Os autores afirmam que há uma diversidade para abordagens histórico-filosóficas da ciência, não apenas a tradicionalmente técnica excessivamente matemática que torna as aulas extremamente desinteressantes aos alunos de Ensino Médio. O “desafio de tornar a MQ [Mecânica Quântica] interessante, efetiva e relevante para estudantes de Física é uma preocupação universal que não conhece fronteiras” (AYENE; KRICK; DAMITIE; INGERMAN; TRACKER, 2018, p. 2, tradução nossa). Pagliarini e Almeida (2016), em atividades didáticas em turmas brasileiras de Ensino Médio, salientam que a utilização de livros com linguagem mais acessível aos alunos, como por exemplo a autobiografia de Max Planck, com uma linguagem textual muitas vezes narrativa, ajudou a despertar o interesse dos alunos, bem como auxiliou na aquisição de novos conceitos. Os autores colocam que os alunos associavam as aulas de Física a fórmulas e a pouco ou nenhum conteúdo, e que a leitura possibilitou formular sentidos sobre a ciência.

De forma semelhante, Héraud, Lautesse, Ferlin e Chabot (2017) consideram o uso de textos de divulgação científica como uma abordagem possível para estudos sobre epistemologia da Física, de maneira a despertar o interesse dos alunos e apresentar o conteúdo com uma linguagem mais acessível, sem cometer equívocos conceituais. Eles defendem que as narrativas escritas por George Gamow em *Mr. Tompkins in Paperback* de 1965 e *The New World of Mr. Tompkins* de 1999 constituem uma possibilidade viável para este objetivo, além de que trechos de obras de Gamow têm sido inseridas em diversos livros didáticos, principalmente na França. As histórias relatam as experiências de um personagem denominado Sr. Tompkins, que após assistir diversas conferências científicas sobre Física Moderna, em sonhos adentra em um universo em que uma única

característica foi alterada: a constante de Planck teve seu valor imensamente aumentado. Um exemplo marcante da obra, que os autores relatam ter tido uma boa aceitação pelos alunos em uma escola francesa, refere-se a um trecho em que o Sr. Tompkins, um professor de física e um caçador visitam uma “selva quântica”, onde se lê:

Esses três personagens estão montados nas costas de um elefante. De repente, eles são atacados por um bando de tigres. O caçador e o professor querem atirar nos tigres e o professor grita: “Espalhem o fogo por toda parte e não se importem com a mira precisa”. Depois de um grande número de tiros, o bando de tigres de repente se torna um único tigre morto (HÉRAUD; LAUTESSE; FERLIN; CHABOT, 2017, p. 308, tradução nossa).

Desta forma, algumas ideias importantes da quântica são ilustradas de maneira clara e de fácil entendimento. O bando de tigres retrata a probabilidade de presença de um determinado tigre “distribuído” em uma ampla área. Em contraste, o tigre morto é equivalente ao “colapso de função de onda”, com o tigre morto sendo então localizado em um local específico no espaço. Por fim, os autores defendem que a inserção, em sala de aula, de narrativas fictícias escritas por físicos permite um enriquecimento das reflexões dos estudantes sobre o conhecimento científico no mundo, facilitando de maneira didática a aquisição de conceitos referentes a diversos tópicos de Física Moderna, com as analogias fazendo sentido, uma vez que não há a limitação ontológica para esses exemplos fictícios, não é necessário a evocação de novos termos, como *quanton* (LAUTESSE; VALLS; FERLIN; HÉRAUD; CHABOT, 2015), apenas tendo o cuidado de ressaltar que se modificou hipoteticamente o valor de uma constante física fundamental.

Apesar das indicações sobre como abordar a História e Filosofia da Ciência em aulas de Física Quântica, não se identificou um consenso sobre quais tópicos deveriam ser ensinados em aulas de Ensino Médio. Cuesta-Beltrán (2018) enfatiza que uma das dificuldades do ensino de Física Quântica é que “não há concordância quanto ao conteúdo das aulas, nem quanto às abordagens interpretativas dos modelos científicos que tentam explicar algumas fenomenologias” (CUESTA-BELSTRÁN, 2018, p. 151, tradução nossa). O autor destaca que o tema mais frequente que aborda as propostas de ensino conceitual são os modelos atômicos. Entre as propostas de ensino com orientação em TICs (Tecnologias de Informação e Comunicação), o experimento de dupla fenda é o tema mais comum.

Na tentativa de mapear os tópicos que devem ser ministrados em aulas de Ensino Médio, Krijtenburg-Lewerissa, Pol, Brinkman e van Joolingen (2019) realizaram um estudo, denominado estudo *Delphi*, com quarenta e oito professores universitários de diversas universidades holandesas, que se constituiu em entrevistas em que cada professor deveria indicar os temas que julgasse indispensáveis em uma sequência didática para Ensino Médio, e qual metodologia de ensino deveria ser utilizada. Quanto à atividade didática, o ponto mais recorrente foi a elucidação de que professores de Ensino Médio devem propiciar situações para uma verdadeira alfabetização científica. O segundo tema mais recorrente diz respeito à necessidade de um ensino que prepare os estudantes para questões sociais. Quanto aos tópicos de Física Quântica, o estudo *Delphi* mostrou que a maioria dos especialistas considera os seguintes tópicos essenciais:

1. Dualidade: A dualidade onda-partícula, o comportamento corpuscular da luz, o comprimento de onda de “de Broglie”, o princípio da incerteza de Heisenberg, o experimento de dupla fenda e o efeito fotoelétrico.
2. Funções de onda: A função de onda, a probabilidade e o poço potencial.
3. Átomos: Níveis de energia, quantização, estrutura atômica, linhas espectrais, átomo de hidrogênio e tabela periódica. (KRIJTENBURG-LEWERISSA; POL; BRINKMAN; VAN JOOLINGEN, 2019, p. 16, tradução nossa).

Os autores ressaltam que essa lista não pode ser tomada como sendo os tópicos que indubitavelmente devem ser ministrados em uma sequência didática de Ensino Médio, por dois fatores: 1) o contexto de cada escola pode não permitir a ministração de determinados tópicos, por falta de tempo ou falta de conhecimentos prévios dos alunos para um bom entendimento de um dado tema; 2) estes tópicos variaram para cada entrevista. Se é modificada a quantidade de professores, ou se entrevistados professores de outras localidades, os assuntos podem receber diferentes níveis de importância, ou alguns assuntos muitas vezes não são lembrados. Nesse estudo, por exemplo, os entrevistados não deram grande importância ao tema das linhas espectrais, mas em outros estudos mencionados por Krijtenburg-Lewerissa et al. (2019), o tema das linhas espectrais aparece como o mais relevante, juntando-se à ideia de modelos atômicos (CUESTA-BELTRÁN, 2018). Contudo, apesar das variações, nota-se certa concordância acerca da inclusão de alguns tópicos no Ensino Médio, a saber: dualidade onda partícula, comportamento corpuscular da luz manifestado no efeito fotoelétrico (o efeito Compton sequer é citado), o comprimento de onda de “de Broglie”, o

experimento de fenda dupla e, por fim, o princípio de incerteza. Krijtenburg-Lewerissa et al. (2019) enfatizam que estes temas são sempre lembrados pelos cientistas, independente da quantidade ou contexto das entrevistas, e, portanto, são relevantes para ministrações de Ensino Médio; demais tópicos devem ser ministrados conforme necessidade ou interesse do professor.

Stadermann, van den Berg e Goedhart (2019) destacam que uma explicação razoável para a popularidade de tópicos como linhas espectrais e o efeito fotoelétrico é que esses fenômenos podem ser demonstrados em experimentos relativamente simples dentro dos meios disponíveis na maioria das escolas de Ensino Médio. Em uma área muito teórica como é a Física Quântica, os experimentos possíveis são considerados importantes para a compreensão dos alunos. Markin, Markina e Eilks (2017) enfatizam que as aulas de ciências que incluem atividades práticas e demonstrações são muito mais motivadoras, divertidas e interessantes para os alunos em comparação às aulas baseadas apenas em conversas e mídias. Demonstrações com luz (mudanças de cor, difração, fluorescência são alguns dos assuntos abordados pelos autores) podem ser de particular interesse, pois fornecem resultados que podem ser facilmente observados. Defendem que os estudantes não possuem meios de visualizar aspectos da Física Quântica no dia a dia, por mais que a Quântica seja a base do desenvolvimento tecnológico atual, permitindo o uso de diversos aparelhos eletrônicos. Se o aluno não tiver meios de ver os assuntos estudados de maneira prática, esta defesa da Quântica se torna irrelevante para o aluno (STADERMANN; VAN DEN BERG; GOEDHART, 2019). Para uma correta percepção da relevância do tema, então:

Eles devem experimentar instâncias de quantização em laboratório, realizando experimentos, ou experimentar isso através das instruções do curso, interpretando o que é explicado (KRICK; DAMITIE; INGERMAN; THACKER, 2018, p. 19, tradução nossa).

Neste sentido, Clavijo, Walteros e Cortés (2019) buscam estimular nos estudantes uma “intuição quântica” a partir de um conhecimento quântico usando atividades experimentais como o espectro da luz visível e o experimento da polarização da luz, com o que propõem que os alunos podem deixar de lado ideias clássicas, adquirindo conceitos de estado, princípio de superposição e amplitude de probabilidade. Os autores realizaram uma série de atividades com fontes de luz, entendendo um feixe de luz como formado por um conjunto de fótons, mostrando assim ideias iniciais sobre o conceito de estado quântico. Para isso, utilizam, em um momento inicial, um feixe de

luz branca e incidindo-o sobre um prisma, ao observar a decomposição da luz numa base arbitrária de seis estados, propiciam uma abordagem distinta da Óptica, enfatizando que cada estado de fóton de luz branca $|F_B\rangle$ pode ser escrito como uma combinação linear de conjunto de fótons para as demais cores, $|R\rangle$, $|A_Z\rangle$, $|V_D\rangle$, $|A_M\rangle$, $|L\rangle$ e $|V_L\rangle$ (roxo, azul, verde, amarelo, laranja e vermelho), de forma que, $|F_B\rangle = \frac{1}{\sqrt{6}}(|R\rangle + |A_Z\rangle + |V_D\rangle + |A_M\rangle + |L\rangle + |V_L\rangle)$. Assim, apresentaram um tópico simples, com uma formulação nova que permitiu o entendimento de algumas ideias básicas da Mecânica Quântica.

Também se percebe a relevância dada por alguns autores com respeito à atividade didática, para que a obtenção de significados seja eficaz. Defendem que o professor crie um ambiente na sala de aula que propicie um espaço de máxima convivência, como condição à possibilidade de desenvolver a identidade de cada um de seus membros em harmonia e felicidade (OTERO; FANARO; ARLEGO, 2009). Estes autores destacam, em uma perspectiva baseada na epistemologia de Maturana, que para construir e contribuir para a “geração de um espaço de convivência, é necessário estar em aceitação do outro. Enquanto a emoção que especifica as ações científicas é a curiosidade e a paixão por explicar, a emoção que especifica as ações do professor é a paixão por se comunicar” (OTERO; FANARO; ARLEGO, 2009, p. 62, tradução nossa).

2.3 Artigos que abordam as Representações Sociais no contexto da Física

Quadro 2: Listagem de Artigos que abordam as Representações Sociais no contexto da Física e no seu ensino.

Representações Sociais e Física e seu ensino			
	Ano	Autor(es)	Título
1	2019	PARK; YANG; SONG	<i>When Modern Physics Meets Nature of Science The Representation of Nature of Science in General Relativity in New Korean Physics Textbooks</i>
2	2017	MATURANO; MAZZITELLI	<i>Representaciones sociales de futuros docentes de Física y de Química sobre el manual escolar.</i>
3	2015	MORALES; MAZZITELLI; OLIVERA	<i>La enseñanza y el aprendizaje de la Física y de la Química en el nivel secundario desde la opinión de estudiantes</i>

4	2012	HILGER; MOREIRA	<i>A study of social representations of quantum physics held by high school students through numerical and written word association tests.</i>
5	2011	LIMA; MACHADO	<i>As Representações Sociais dos licenciandos de Física referentes à inclusão de deficientes visuais</i>
6	2011	SIERRA	<i>Representaciones sociales que poseen estudiantes de nivel medio superior acerca del aprendizaje y enseñanza de las Matemáticas</i>
7	2009	SILVA; MAZZOTTI	<i>A Física pelos professores de Física: a contribuição da Teoria das Representações Sociais</i>

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Os artigos que utilizam a Teoria das Representações Sociais, direta ou indiretamente, possuem uma semelhança importante: almejam mapear o que um grupo social, em geral um grupo de educandos ou de professores, pensa sobre determinado assunto. As representações sociais são o grande marco da psicologia social e permitem discutir a construção da realidade por um grupo de indivíduos, bem como a vulgarização do conhecimento científico e o papel da sociedade na construção desse conhecimento (MORALES; MAZZITELLI; OLIVEIRA, 2015). No sentido de construção da realidade pelo grupo, Sierra (2011) afirma que a realidade é construída socialmente e que na perspectiva da psicologia social, centra-se a atenção sobre os *indivíduos sociais* e na subjetividade como fonte de compreensão da realidade não objetiva e não independente dos sujeitos, pois aquilo que será tomado como verdadeiro para o grupo terá resquícios e influência da cognição e das idiosincrasias dos participantes, estes que interagem constantemente.

Park, Yang e Song (2019) procuraram destacar o que os alunos em um contexto educacional da Coreia do Sul entendem por Física Moderna, em especial sobre a relatividade, destacando a influência do livro didático e de filmes que influenciaram significativamente o público mais jovem do país³. Dada a influência destes materiais, os pesquisadores advertem que os autores de livros didáticos e professores de física:

³ Os autores abordaram principalmente a influência do filme *Interestellar*, de Christopher Nolan (2014), que atraiu dez milhões de espectadores coreanos e se mantém como um dos filmes mais assistidos na Coreia do Sul.

devem tirar proveito da física moderna como uma questão do presente e incentivar os alunos a conectar o conhecimento dos livros didáticos sobre a relatividade aos artigos de notícias, documentários e ficções que tratam da relatividade (PARK; YANG; SONG, 2019, p. 25, tradução nossa).

Dessa forma, a relevância da física moderna e aspectos da NOS (*Nature of Science*) seriam maximizados através do currículo de física. O destaque para a influência das mídias no contexto de sala de aula também é mencionado por Hilger e Moreira (2012), que mapearam possíveis representações sociais de alunos acerca da teoria quântica. Estes autores identificaram que ideias ligadas ao misticismo quântico podem, muitas vezes, desempenhar papel central na representação por parte dos alunos e isso se deve, principalmente, a influências externas que não ao do contexto da sala de aula. Eles trazem que, quando perguntados sobre o que o termo “Física Quântica” lembrava, muitos alunos de ensino médio responderam:

palavras que apareceram em textos, livros, jornais/revistas sobre física quântica, como pensamento, água, atração, mente, cérebro, sentimentos, dimensão, vibração e assim por diante. Estranhamente, o termo “água” está no núcleo de representações de alunos do 1º e do 2º ano [...] e também está relacionado à física quântica no filme “Quem somos nós?” [*What the bleep do we know?*] (HILGER; MOREIRA, 2012, p. 59, tradução nossa).

Os autores destacam que todo tema que é constantemente inspiração por filmes, manchetes e discussões na esfera pública, como é o caso da Física Moderna, acabará, em maior ou menor grau, recebendo uma imagem distorcida, formando o chamado universo consensual acerca do tema em questão. Todo conhecimento construído neste universo não possui regras definidas ou qualquer objetivo claro, mas tem sua própria lógica, que seria de tornar algo não familiar em algo familiar. São evocados tanto o trabalho de Serge Moscovici quanto Jean Abric, os dois psicólogos que contribuíram para o desenvolvimento da teoria da Representação Social no ramo da Psicologia Social, em uma busca por trazer uma definição do que seria uma representação social, no sentido que “compreende um conjunto de informações, crenças, opiniões e atitudes relacionadas a um determinado objeto. Além disso, esse conjunto de elementos é organizado e estruturado” (Ibid., p. 54).

A estruturação da representação social se dá em um núcleo central, que constitui as ideias mais arraigadas e de difícil modificação na representação, e uma periferia, que se constitui em ideias devidas ao contexto imediato que podem ser modificadas com

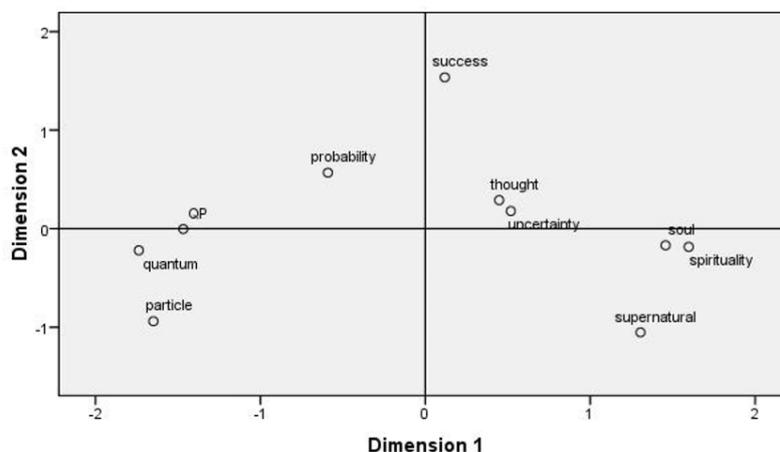
maior facilidade. Os autores apontaram que ideias relacionadas ao misticismo apareceram tanto no núcleo central da representação, quanto na periferia e sublinham que fazer esse mapeamento pode ser útil ao professor para guiar suas aulas. Hilger e Moreira (2012), Sierra (2011) e Maturano e Mazzitelli (2016), destacam a presença de um núcleo central e de uma periferia na representação social, de forma que podemos definir estes dois elementos da seguinte forma:

- Núcleo Central da Representação Social: é sempre consensual e com termos ou ideias que são compartilhadas por todo o grupo. Em termos de palavras evocadas com respeito a um dado tema, as palavras evocadas com mais frequência são as que formam a parte mais fundamental da representação. O núcleo é constituído por um ou vários elementos e é o setor mais estável da representação, de forma que resistirá mais às mudanças.
- Periferia da Representação Social: é constituída de elementos mais flexíveis e acessíveis, incluindo contradições pessoais e incorporações momentâneas, permitindo a atualização e adaptações da representação devidas ao contexto imediato, protegendo o núcleo central. Seus elementos constituintes possuem uma hierarquia, uma vez que os mais próximos do núcleo desempenham um papel importante na atribuição de significado aos elementos centrais, já os elementos mais distantes na periferia esclarecem e justificam esse significado, sempre sob influência do contexto.

Na busca por mapear Núcleo e Periferia de uma representação, Hilger e Moreira (2012) realizaram alguns testes com diversos alunos de ensino médio. O primeiro teste, denominado Teste de Associação de Palavras Escritas (WWAT), consistiu em associar livremente palavras a um determinado termo, o que permite determinar a proximidade semântica entre um conjunto de conceitos fornecidos relacionados à Quântica. No segundo teste - Teste de Associação Numérica de Palavras (NWAT) - o entrevistado deve atribuir um valor numérico a cada par de palavras fornecidas, de acordo com a relevância do termo para ele. Utilizando uma escala multidimensional, foi possível gerar representações geométricas, como mapas, que refletem a estrutura cognitiva do respondente, com base nesses testes. Na figura 7, trazemos um dos resultados para a

representação social dos alunos de terceiro ano, onde as palavras mais ao centro estariam relacionadas ao Núcleo da representação, as mais afastadas, à periferia.

Figura 7: Diagrama bidimensional obtido através da NWAT com alunos do 3º ano do ensino médio.



Fonte: Hilger e Moreira (2012).

O trabalho de Morales, Mazzitelli e Oliveira (2015), de Maturo e Mazzitelli (2016) e Sierra (2011) também são voltados para a utilização das representações no contexto do Ensino Médio, porém com uma investigação que envolve os professores como integrantes da pesquisa. Um mapeamento da representação acerca do ensino e do papel do professor identificou que os alunos desconsideraram o papel sociocultural e a interação no processo de aprendizagem (MORALES; MAZZITELLI; OLIVEIRA, 2015), relegando à aprendizagem apenas um caráter cognitivo. Maturo e Mazzitelli (2016) registraram esse aspecto, identificando que, com a identificação da representação social acerca da prática docente, os alunos identificam o professor como um transmissor de conteúdo e os alunos como receptores, ou ainda, meros espectadores. A ideia de núcleo central e periferia da representação é novamente levantada; os pesquisadores identificaram que o uso do livro texto fornecido pela escola possui caráter central na representação, de forma que “os resultados encontrados indicam que o apego, talvez excessivo, ao manual da escola resistirá à mudança” (MATURANO; MAZZITELLI, 2016, p. 15). Isso é consoante ao elucidado por Hilger e Moreira (2012), que afirmam que aquilo que é identificado como central na representação é estável e resiste à modificação. São as ideias mais arraigadas para um grupo sobre um dado tema, e a representação social do grupo reflete a cognição individual de cada integrante (SIERRA, 2011).

Lima e Machado (2011) seguem uma perspectiva diferente, pois não partem do princípio de que os indivíduos tenham elementos consensuais sobre um dado tema, mas procuram inicialmente verificar a existência de um universo consensual, para então analisar a formação da representação para posterior análise. Os pesquisadores buscaram então, identificar a presença de representação social de licenciandos de física quanto à inclusão de alunos com deficiência visual. Com o auxílio de questionários e entrevistas, identificaram que a ideia da inclusão de alunos com dificuldades visuais sequer formava uma representação social, uma vez que não há termos de inclusão evocados nos questionários e entrevistas, de forma que a física foi associada pelos licenciandos como algo passível de ser estudado apenas por estudantes que possuem um padrão de normalidade. Dessa forma, o ensino de física para alunos com deficiência visual não foi identificado como formador de representação social, ou seja, não faz parte do senso comum (LIMA; MACHADO, 2011) e, aos professores e pesquisadores preocupados com esse tema, necessitam em primeiro lugar transformar o Ensino de Física inclusivo em uma representação reificada.

Por fim, o trabalho de Silva e Mazzoti (2009) consiste em uma comparação entre a teoria da cognição social, em que reside a ideia de concepções prévias, e a teoria das representações sociais, procurando dar um outro olhar para a discussão de concepções prévias e mudança conceitual. Segundo os autores, fundamentados na teoria de Moscovici, a teoria das representações sociais pode, em muitas situações, ser mais adequada para tratar das chamadas concepções prévias. Defendem que o processo de aprendizagem é fortemente influenciado pelo contexto histórico e social em que os sujeitos produzem e compartilham o conhecimento; então é preciso levar em conta este contexto quando se dá a negociação de novos significados em um ambiente escolar, o que leva a necessidade de avaliar o processo de aquisição de novos conceitos sob uma óptica psicossocial, não meramente como processos puramente cognitivos que apenas estão engendrados em meios sociais, como o faz a teoria da cognição social.

Tem-se, com isso, uma concordância dos autores de que é muito relevante ao ensino conhecer as representações sociais de um determinado grupo e suas fontes de resistência (SILVA; MAZZOTTI, 2009), para se ter uma mais correta aquisição dos conhecimentos científicos, que estejam por sua vez, mais alinhados com o universo consensual científico (HILGER; MOREIRA, 2012), ou universo reificado científico (MATURANO; MAZZITELLI, 2016; LIMA; MACHADO, 2011).

2.4 Artigos que abordam a relação Ciência e Religião/Religiosidade

Quadro 3: Listagem de artigos que abordam a relação entre Ciência e Religião.

Ciência e Religião			
	Ano	Autores	Título
1	2019	SIMPSON; RIOS	<i>Is science for atheists? Perceived threat to religious cultural authority explains U.S. Christians' distrust in secularized science</i>
2	2019	RIOS; AVEYARD	<i>Science-religion compatibility beliefs across Middle Eastern and American young adult samples: The role of cross-cultural exposure</i>
3	2019	BEAUCHAMP; RIOS	<i>Secularism in science: The role of religious affiliation in assessments of scientists' trustworthiness</i>
4	2019	BILLINGSLEY; NASSAJI	<i>Exploring Secondary School Students' Stances on the Predictive and Explanatory Power of Science</i>
5	2019	BILLINGSLEY; ABEDIN; NASSAJI	<i>Primary School Students' Perspectives on Question that Bridge Science and Religion: Findings from a Survey Study in England</i>
6	2019	SUPRAPMANTO; PRASETYO	<i>Sains-Religion: Analisis of Learning Needs based on Religious Values in Science Learning</i>
7	2019	FRANCIS; ASTLEY; MCKENNA	<i>'Science disproves the biblical account of creation': exploring the predictors of perceived conflict between science and religion among 13- to 15-year-old students in the UK</i>
8	2019	PEARCE; STONES; REISS; MUJTABA	<i>'Science is purely about the truth so I don't think you could compare it to non-truth versus the truth.' Students' perceptions of religion and science, and the relationship(s) between them: religious education and the need for epistemic literacy.</i>
9	2019	AVRAAMIDOU	<i>"I am a young immigrant woman doing physics and on top of that I am Muslim": Identities, intersections, and negotiations</i>
10	2019	RICETO; COLOMBO JR	<i>Diálogos entre ciência e religião: a temática sob a ótica de futuros professores</i>
11	2018	SORRELL; ECKLUND	<i>How UK Scientist Legitimize Religion and Science Through Boundary Work</i>
12	2018	CHAN	<i>Are the religious suspicious of science? Investigating religiosity, religious context and orientations towards science</i>
13	2018	BILLINGSLEY; NASSAJI; FRASER; LAWSON	<i>A Framework for Teaching Epistemic Insight in Schools</i>
14	2018	SCHWEITZER	<i>Education for Tolerance – Secular or Religious?</i>
15	2018	LESSL	<i>Naïve Empiricism and the Nature of Science in Narratives of Conflict Between Science and Religion</i>

16	2017	FALADE; BAUER	<i>'I have faith in science and in God': Common sense, cognitive polyphasia and attitudes to science in Nigeria</i>
17	2017	SCHEITLÉ; JOHNSON; ECKLUND	<i>Scientists and religious leaders compete for cultural authority of science</i>
18	2017	KAUL; HARDIN; BEAUJEAN	<i>Predicting Faculty Integration of Faith and Learning</i>
19	2017	RAHMAWATI; TAYLOR	<i>"The fish becomes aware of the water in which it swims": revealing the power of culture in shaping teaching identity</i>
20	2016	JOHNSON; ECKLUND; MATTHEWS	<i>Responding to Richard: Celebrity and (mis)representation of science</i>
21	2016	NOVIS-DEUTSCH; LIFSHITZB	<i>When Bible and Science interact: teachers' pedagogic and value challenges in teaching religious minority students in higher education settings</i>
22	2016	POOLE	<i>The feasibility of educating trainee science teachers in issues of science and religion.</i>
23	2016	STEWART; MCCONNELL; DICKERSON	<i>Socioscientific and Epistemic Dimensions of Support of Science: associations with science education and religiosity</i>
24	2016	CARVALHO	<i>Science initial teacher education and superdiversity: educating science teachers for a multi-religious and globalised science classroom</i>
25	2016	BILLINGSLEY; BROCK; TABER; RIGA	<i>How Students View the Boundaries Between Their Science and Religious Education Concerning the Origins of Life and the Universe</i>
26	2016	BOWMAN; ROCKENBACH, MAYHEW; RIGGERS- PIEHL; HUDSON	<i>College Students' Appreciative Attitudes Toward Atheists.</i>
27	2015	BAGDONAS; SILVA	<i>Enhancing Teachers' Awareness about Relations Between Science and Religion</i>
28	2015	MARTIN	<i>Late Feyerabend on materialism, mysticism and religion</i>
29	2015	GOVENDER	<i>Physical Sciences Preservice Teachers' Religious and Scientific Views Regarding the Origin of the Universe and Life</i>
30	2015	CROCHÉ	<i>Science and religion on the blackboard: exploring schoolmasters' beliefs and practices in Senegal</i>
31	2014	GURGEL; PIETROCOLA; WATANABE	<i>The role of cultural identity as a learning factor in physics: a discussion through the role of science in Brazil.</i>

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A possibilidade de utilizar a relação entre ciência e religião como motivadora para discussões acerca de História e Epistemologia da Ciência tem sido levantada para diversos contextos na educação básica (BILLINGSLEY; NASSAJI, 2019; PARCE; STONES; REISS; MUJTABA, 2019; LESSL, 2018; BILLINGSLEY; NASSAJI; FRASER; LAWSON, 2018; BILLINGSLEY; BROCK; TABER; RIGA, 2016; STEWARTA; MCCONNELL; DICKERSON, 2016; GOVENDER, 2015; CARVALHO, 2015 e POOLE, 2015). Desta forma, defende-se que abordar a relação ciência-religião em sala de aula promove uma discussão histórico-epistemológica, além de ser um tema extremamente relevante em qualquer cultura, devido aos constantes debates em torno desse tema. Uma questão de grande preocupação dos pesquisadores e educadores é de como utilizar esse tópico de maneira construtiva ao ensino de ciências e de maneira a respeitar as diferentes visões de mundo (BILLINGSLEY; ABEDIN; NASSAJI, 2019; BILLINGSLEY; NASSAJI, 2019; BILLINGSLEY; NASSAJI; FRASER; LAWSON, 2018; BILLINGSLEY; BROCK; TABER; RIGA, 2016; BAGDONAS; SILVA, 2015; GURGEL; PIETROCOLA; WATANABE, 2014). Poole (2015, p. 274, tradução nossa), por exemplo, destaca que o escopo dessa discussão “poderia incluir adequadamente aspectos da história e filosofia da ciência (HPS), a filosofia da religião e o conteúdo das principais religiões, além da história e historiografia da interação entre ciência e religião”. Riceto e Colombo Jr (2019, p. 188) defendem “que a abordagem da temática, embora delicada, é um caminho para uma melhor compreensão da construção do conhecimento científico, de suas potencialidades e limitações”, acrescentam também que tais discussões são importantes para a construção de uma sociedade mais crítica e aberta ao diálogo.

Para discutir as relações entre ciência e religião e as implicações para o ensino, identifica-se que há maneiras distintas de abordar essas relações. Bagdonas e Silva (2015) apontam que há quatro diferentes teses de como pode acontecer essa interação, a saber: Conflito, Independência, Integração e Diálogo. Estas quatro teses às vezes estão claras na literatura, algumas vezes estão implícitas, ou ainda podem receber outros nomes quanto à maneira de interação (STEWARTA; MCCONNEL; DICKERSON, 2016), como tese ou modelo de conflito (*warfare model*), domínios separados (*separate realms*), modelo de acomodação (*accommodation model*) e modelo de compromisso (*engagement model*). Como a menção, direta ou indireta, a pelo menos uma dessas

quatro teses é recorrente na literatura, entendemos necessário fazer uma breve descrição:

- **Tese de Conflito ou Modelo de Conflito:** define ciência e religião como em total desacordo, em que há uma escolha ou pela religião ou pela ciência como única fonte de verdade. Diversos autores (SORREL; ECKLUND, 2018; JOHNSON, 2016; BAGDONAS; SILVA, 2015 e CARVALHO, 2015) identificam que proeminentes cientistas se empenharam na defesa desta tese, como Carl Sagan e Richard Dawkins, defendendo a ciência contra seus “inimigos”, argumentando que o ateísmo é a única posição racional, e buscando eliminar qualquer resquício de autoridade religiosa, ao menos dentro da ciência. Stewart, McConnel e Dickerson (2016) estipularam que apenas cerca de 20% da população dos Estados Unidos concorda com a declaração de que ciência e religião são incompatíveis.
- **Tese da Independência ou de Domínios Separados:** considera ciência e religião como sendo incomensuráveis, tomadas como assuntos completamente distintos, sendo que aqueles que adotam essa perspectiva não veem a necessidade de estabelecer qualquer relação entre eles ou tratar dos supostos conflitos. Sorrel e Ecklund (2018) identificaram que boa parte dos cientistas do Reino Unido (cerca de 90% de 115 entrevistados) se aproximam de uma defesa desta tese. Destacam também que há a percepção de que uma articulação entre ciência e religião não é necessária ou importante, já há um posicionamento implícito em favor da tese da independência. Essa tese, entretanto, não tem se mostrado comum entre alunos da escola básica (FRANCIS; ASTLEY; MCKENNA, 2019), que acabam se encaminhando para as outras três, principalmente a primeira.
- **Tese de Integração ou Modelo de Acomodação:** defende que religião e ciência são suficientemente semelhantes em seus aspectos epistemológicos. Portanto, nessa perspectiva, o pensamento religioso muda e é influenciado pelo conhecimento científico, de forma que ambas as formas de conhecimento são relacionadas entre si em uma busca interdisciplinar por conhecimento. Essa visão é comum entre cientistas e teólogos religiosos, bem

como em escolas e universidades confessionais, pelo interesse em alinhar o conhecimento científico às questões religiosas (KAUL; HARDIN; BEAUJEAN, 2017 e BAGDONAS; SILVA, 2015).

- **Tese do Diálogo ou Modelo de Compromisso:** admite uma relativa independência da ciência e da religião, contudo não ignora as ricas possibilidades de conversação entre as duas, o que pode ser construtivo para cientistas, educadores e teólogos em seus contextos de pesquisa. Bagdonas e Silva (2015) destacam que o filósofo da ciência Hugh Lacey se mostrou como um grande defensor deste modelo, defendendo a existência de tensões construtivas entre ciência e religião. Alguns autores também utilizam a figura de um cientista destacado, Francis Collins, como defensor desta tese e forte opositor de Richard Dawkins (BEAUCHAMP; RIOS, 2019 e SCHEITL; JOHNSON; ECKLUND, 2017).

A escolha por uma dessas teses tem um impacto significativo nos contextos de educação e entendimento público da ciência. Em nossa investigação, por exemplo, procuramos adotar um tom mais conciliatório, em um encaminhamento com a Tese de Diálogo ou Modelo de Compromisso, dado que a percebemos como mais condizente com nossos objetivos de pesquisa.

Bagdonas e Silva (2015), ao elucidar as quatro teses com professores da Escola Básica, identificaram que muitos dos professores religiosos se sentiram ofendidos pelas reivindicações radicais da tese de conflito defendidas por Dawkins. Portanto, os autores defendem que as visões de conflito devem ser cuidadosamente abordadas no contexto da educação científica, pois é importante respeitar as visões religiosas diversas, mesmo que pareçam incompatíveis com as teorias científicas. Carvalho (2015) esclarece que os estudantes que percebem o ensino de ciências, em especial de Física e Biologia, como contrário à sua fé religiosa, apresentam uma grande probabilidade de ter uma influência negativa no aprendizado, uma tendência menor à aspiração de uma carreira científica e diminuição no nível de confiança para com o conhecimento científico.

Sobre o papel de Dawkins, Johnson (2016) examinou a percepção de físicos e biólogos do Reino Unido acerca da noção que ele chama de celebridades científicas, em especial Richard Dawkins e seu papel nos debates públicos de temas contenciosos.

Enquanto Dawkins, que é tido pelo autor como ateu fundamentalista ou militante, argumenta que há um conflito intrínseco entre ciência e religião, muitos cientistas não religiosos afirmaram não perceber nenhuma espécie de conflito entre ser cientista e ser religioso. Nenhum dos cientistas questionou a integridade científica de Dawkins, mas o identificaram como um deturpador da imagem pública da ciência, mesmo que ele tenha mantido por muitos anos a cátedra de entendimento público da ciência em Oxford. Johnson (2016) destaca que existe um desafio para os pesquisadores e cientistas, que é o de encontrar caminhos de mitigar essa perspectiva pública de antagonismo entre ciência e religião, em ambientes e situações onde o diálogo e trocas sociais sejam possíveis. Enfatiza que em um ambiente como uma escola ou campus universitário, o simples assegurar a diversidade é ineficiente, uma vez que se alinha à visão de que “mera diversidade sem um real encontro e um relacionamento renderão crescentes tensões em nossa sociedade” (BOWMAN; ROCKENBACK; MAYHEW; RIGGERES-PIEHL; HUDSON, 2015, p. 19, tradução nossa).

Em um segundo sentido, semelhante ao de Johnson (2016), Simpson e Rios (2019) acrescentam que uma crescente associação cultural entre ciência e ateísmo pode minar a confiança da sociedade na instituição da ciência e que cientistas e professores de ciências devem exercer cautela adicional se desejarem desafiar, no contexto de sala de aula, religiosidade com argumentos científicos, destacando que o problema maior não é o uso de uma argumentação verdadeiramente correta ou não, mas sim, que esse tipo de argumento retórico afasta os indivíduos religiosos das comunidades acadêmicas.

Carvalho (2015), afirma que “essa retórica preconceituosa tem o potencial de causar ainda mais insatisfação dos alunos em relação à educação em ciências, porque implica que não é para todos” (Ibid., p. 256, tradução nossa), e uma vez que se tenha essa percepção, há um afastamento dos indivíduos religiosos do meio acadêmico. Destaca-se ainda que esse afastamento tem provocado uma crise de confiança para com os cientistas (SCHEITL; JOHNSON; ECKLUND, 2017), onde o público em geral não mais identifica os cientistas como as únicas autoridades culturais que podem se posicionar a respeito de temas científicos. Os autores sublinharam que três a cada dez pessoas religiosas norte-americanas, e quatro a cada vinte e cinco dos não religiosos, acreditam que os cientistas são hostis à religião. Isto indica que entre os indivíduos religiosos há uma possibilidade maior de evitar fontes científicas e recorrer a fontes religiosas, ou não científicas, aumentando o entendimento público de que ciência e

religião são conflitantes. Os autores também destacam a implicação do pensamento do antropólogo Bruno Latour, que defende que muitos tópicos como energia nuclear, aquecimento global, questões públicas de saúde, entre outros, são “híbridos” e que oscilam entre questões científicas, políticas e sociais. Nessa perspectiva, nunca há um monopólio do conhecimento por um dado grupo, de modo que a interação entre grupos com visões de mundo diferente se faz necessária e até mesmo indispensável.

Quanto à confiança da população nos cientistas, Beauchamp e Rios (2019) reportam que apenas 40% dos norte-americanos afirmam ter grande confiança na comunidade científica e a diminuição desta confiança está associada a indivíduos mais religiosos, sobretudo os fundamentalistas que defendem um literalismo dos livros religiosos, como a Bíblia ou o Alcorão. Os pesquisadores identificaram que o público religioso (cristãos, judeus e muçulmanos) tem a tendência de taxar cientistas ateus como menos confiáveis e menos motivados em ações sociais, sendo o inverso também verdadeiro, sobre ateus em relação aos cientistas religiosos. Sugerem que pesquisas explorem intervenções didáticas para mitigar essa questão, mostrando a natureza colaborativa da pesquisa científica. Beauchamp e Rios (2019) também incentivam o uso da imagem de pesquisadores destacados, como Francis Collins, para trazer uma imagem mais positiva da ciência para todos na sociedade, principalmente os mais religiosos.

Para Harari (2016) uma das razões da emergência de objeções à ciência está atrelada à crença enraizada de que os humanos se distinguem de outros animais por possuírem uma alma. Ainda que a ciência moderna não tenha tido êxito na busca de evidências desta existência, o conceito de alma contradiz especialmente a Teoria da Evolução de Darwin, e essa contradição é responsável pela negação da ciência, particularmente por parte de fundamentalistas religiosos, como apontaram Beauchamp e Rios (2019). Harari cita pesquisas Gallup de 2012⁴ que mostram que apenas 15% dos americanos acreditam que o *homo sapiens* evoluiu pela seleção natural; 32% acreditam que humanos podem ter evoluído de formas de vida anteriores, mas em processo orquestrado por Deus e 46% acreditam que Deus criou os humanos na sua forma atual, exatamente como relata a Bíblia. Um panorama muito parecido é levantado pela mesma

⁴ Evolution, Creationism, Intelligent Design, Gallup, disponível em: <<http://www.gallup.com/poll/21814/evolution-creationism-intelligent-design.aspx>>; Frank Newport, “In US, 46 per cent Hold Creationist View of Human Origins”, Gallup, 1º jun. 2012. Acesso em: fevereiro, 2020.

pesquisa junto a graduados com bacharelado. Daí, adverte o autor, entra o grande papel das escolas em ensinar cautelosamente a evolução, pois os fanáticos religiosos dirão que é preciso ensinar as duas (Teoria da Evolução e Design Inteligente) deixando que as crianças decidam por si mesmas. As teorias físicas, afirma Harari, enfrentam menos objeções porque ninguém se incomoda com a Teoria da Relatividade e com a Mecânica Quântica, que “alegam que se pode torcer o espaço-tempo, que algo pode surgir do nada e que um gato pode estar vivo ou morto ao mesmo tempo” (Ibid., p. 110-111). Estas noções físicas confrontam nosso senso comum, mas não enraivecem ninguém porque não contradizem nenhuma de nossas crenças mais queridas; não nos privam de nossa alma (como entidade holística) imutável, eterna, intacta, mesmo depois da morte. Daí a importância de intervenções didáticas que mitiguem a colaboração e a convivência entre ciência e religião, que evitem o acirramento de disputas e, manifestações de objeção à ciência.

Os dados de Beauchamp e Rios (2019) podem suscitar indícios de que a religião torna as pessoas intolerantes e fechadas aos argumentos contrários à fé, porém Schweitzer (2018) relata que alunos não ligados a qualquer tradição religiosa não eram, por isso, mais tolerantes ou abertos; pelo contrário, ele afirma que em um contexto de sala de aula, quando os alunos são postos a discutir sobre ciência e religião sem uma preparação correta, quando os argumentos acabam ou não são convincentes, alunos não religiosos e religiosos apenas aumentam o tom de voz tentando manter seus pontos de vista e o autor relata que algumas discussões acabam chegando muito próximo de um confronto físico entre alunos. Independentemente da origem de tais opiniões e crenças, essas disputas têm indicado a necessidade de não se ignorar o tema da religião em sala de aula. Schweitzer (2018) ainda defende que não é a religião que torna as pessoas intolerantes, mas sim qualquer forma de fundamentalismo, uma vez que pela própria definição do termo, implica em desvalorização de qualquer outra opinião diferente. O autor ressalta que ser um indivíduo muito religioso não é o mesmo que ser um indivíduo fundamentalista, e que o fundamentalismo também vale para o ateísmo, uma vez que Richard Dawkins também é tido como um fundamentalista ateu e dogmático (BANGDONAS; SILVA, 2015).

Bagdonas e Silva (2015) destacam que o local mais propício para as discussões entre ciência e religião é na escola. Afirmam que “se as escolas negligenciarem tais questões, dificilmente haverá outra oportunidade de procurar uma coexistência pacífica

entre diferentes visões de mundo” (Ibid., p. 3). Estes autores defendem que professores de ciência devem procurar se engajar em diálogos construtivos e respeitosos com os estudantes no que chamam de ética da coexistência. Destacam que o filósofo da ciência Mario Bunge é um forte defensor de que a educação religiosa, ou educação que aborde o tema da religião, é um obstáculo para a educação verdadeiramente científica, defendendo que são temas totalmente incompatíveis e que a ciência deve pressupor uma visão materialista do mundo. Desta forma, o epistemólogo argentino se alinha com a Tese de Conflito. O materialismo científico defendido por Bunge é fortemente criticado, sobretudo pelo filósofo da ciência austríaco, Paul Feyerabend (MARTINS, 2015), pois não preserva o pluralismo e a diversidade dos indivíduos, como as diferentes crenças religiosas que possam ter. Bagdonas e Silva (2015) destacam que essa visão materialista que coloca o conhecimento científico como superior a qualquer outra forma de conhecimento pode, às vezes, ser útil ao cientista imerso em suas atividades acadêmicas, mas afirmam que é um grave problema quando essa visão é transmitida na educação, uma vez que:

os estudantes religiosos mostrarão resistência às ideias científicas que estão em conflito com suas crenças se forem apresentadas de maneira autoritária [...] e professores que têm visões absolutistas da ciência acreditam que é aceitável dizer aos estudantes religiosos que suas crenças são incompatíveis com a ciência e que são erradas. A educação científica não deve ser confundida com doutrinação (BAGDONAS; SILVA, 2015, p. 4, tradução nossa).

Os autores destacam ainda que em um contexto educacional multicultural é necessário preparar os professores, sobretudo os professores de ciências, para que possam lidar com a pluralidade de pontos de vista sobre as relações entre ciência e religião, em vez de apenas apresentar “a visão científica consensual” (Ibid., p. 21, tradução nossa), visão esta que muitas vezes não é, de fato, consensual e que evita considerar as visões dos estudantes.

Outrossim, Govender (2015) lembra-nos que visões de mundo como o criacionismo não são facilmente alteradas, mas se fortalecem sob uma educação concomitante com um viés absolutista, de sobreposição do saber científico sobre outras formas de conhecimento. Sendo assim, os professores precisam, por exemplo, “usar oportunidades para ensinar o que é ciência, porque a ciência é baseada em argumentos científicos, e porque o criacionismo não é científico” (GOVENDER, 2015, p. 2). Este argumento também pode ser usado para outros tópicos que possuem uma maior relação

com a física, como o surgimento do universo (BILLINGSLEY; BROCK; TABER; RIGA, 2016; BAGDONAS; SILVA, 2015), mas também para as chamadas *Big Questions* (BILLINGSLEY; ABEDIN; NASSAJI, 2019; BILLINGSLEY; NASSAJI, 2019; BILLINGSLEY; NASSAJI; FRASER; LAWSON, 2018), sendo que as *Big Questions* são questões sobre a natureza da realidade e natureza humana. Destacam que é notório que a Física e a Biologia tradicionalmente entram em conflito com a religião quando discutem a evolução e as origens do universo, seja no âmbito escolar, ou nas discussões com a esfera pública (SORREL; ECKLUND, 2018).

Billingsley, Nassaji, Fraser e Lawson (2018) procuraram investigar como crianças e adolescentes em idade escolar podem ter um maior interesse nas chamadas *Big Questions*, como: “A vida na Terra existe apenas por acaso?”, “As pessoas têm livre arbítrio?”, entre outras; bem como incentivar um entendimento de como a ciência se relaciona com outras formas de conhecimento, sobretudo a religião. Os autores denominam *epistemic insight* esse entendimento, e destacam que ele é necessário para a percepção de que ciência e religião não necessariamente estão em conflito e por que não estão. Ressaltam por fim, que desenvolver o *epistemic insight* como uma capacidade dos alunos de escola básica se mostra útil para demonstrar o poder e as limitações do conhecimento científico, entendendo a ciência como uma construção humana. Tal como Bagdonas e Silva (2015), as autoras também defendem que a escola é o local onde os alunos possam desenvolver a capacidade de discutir tópicos mais amplos do que apenas os conteúdos escolares em si, uma vez que:

é importante, em nossa opinião, que os alunos tenham sessões nas quais mergulhem em formas científicas de pensar e trabalhar. Com isso dito, também é importante que considerem as implicações das ideias científicas em relação às suas crenças e experiências mais amplas e cotidianas (BILLINGSLEY; NASSAJI, 2019, p. 89, tradução nossa).

Destaca-se também que a pesquisa de Billingsley e Nassaji (2019) evidencia a necessidade de pesquisadores e professores desenvolverem pedagogias para aumentar a criticidade dos estudantes, bem como aumentar a familiaridade com a linguagem associada à metafísica e ao discurso sobre a origem do conhecimento científico (discurso epistemológico), para que sejam capazes de fazer as associações entre esses campos de conhecimento e reconheçam o discurso sobre natureza da ciência como pertencente ao seu universo de interesse, o qual é baseado no senso comum da sala de aula (GURGEL; PIETROCOLA; WATANABE, 2014). Billingsley e Nassaji (2019)

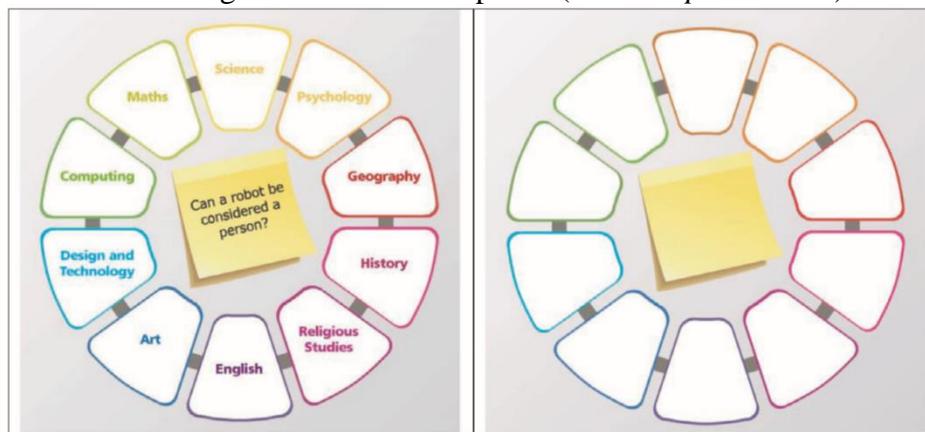
destacaram que manter total silêncio sobre esses assuntos é mais problemático para a educação, uma vez que os alunos podem ser levados a inferências não desejadas por influências de meios não científicos (CHAN, 2018). Nesta linha, Sorrel e Ecklund (2018, p. 11, tradução nossa) reiteram que “o próprio ato de não ver uma necessidade de trabalho de fronteira [entre ciência e religião] ou um ideal de separação é em si um tipo de trabalho de fronteira que está sendo realizado”; ignorar o tema indica certo alinhamento com a Tese da Independência ou dos Domínios Separados (BAGDONAS; SILVA, 2015; STEWARTA; MCCONNEL; DICKERSON, 2016). Destaca-se que a Tese de Independência não é percebida aqui como uma postura negativa, não é essa a interpretação da mensagem transmitida pelos autores, mas que ressaltam que é praticamente inviável um professor se abster completamente, ou se manter totalmente neutro frente ao embate sobre a relação entre ciência e religião. No momento em que opta pelo silêncio e por ignorar o tema, o que é uma opção ao educador, está então fazendo uma opção, indireta, pela Tese da Independência.

Com relação ao trabalho de fronteira mencionado por Sorrel e Ecklund (2018), tem-se que grande parte dos alunos de escolas da Inglaterra, onde o ensino religioso é incentivado em todo o país, entendem que há uma fronteira firme entre ciência e religião (BILLINGSLEY; BROCK; TABER; RIGA, 2016), ao passo que Sorrel e Ecklund (2018) afirmam que essas fronteiras não são fixas, mas apresentam uma relação dinâmica, com constantes mudanças e adaptações. Ressaltam que ciência e religiosidade podem estar muitas vezes em um debate extremamente construtivo para ambas e, mesmo em sociedades altamente secularizadas, uma ajuda a definir a outra, definindo campos de domínio e aplicabilidade, sem a necessidade de conflito, mantendo a legitimidade de ambas, uma vez que os “cientistas mantêm a legitimidade da ciência através do trabalho de fronteira com a religião e, sob certas condições, a religião pode realmente ganhar legitimidade a partir dessas fronteiras estreitas” (SORREL; ECKLUND, 2018, p. 1). Destacam que a religião é vista como legítima quando assume uma forma moderada que pode se adaptar ao ponto de vista científico, assumindo assim um trabalho de fronteira conciliatório.

Buscando desenvolver o *epistemic insight*, Billingsley, Abedin e Nassaji (2019) mapearam o entendimento de diversos alunos de ensino fundamental sobre a relação entre ciência e religião (envolveu 16 escolas da Inglaterra, alcançando 750 estudantes). Chegaram à conclusão de que a maioria dos alunos percebe a ciência e a religião em

conflito e que uma grande parte dos alunos nunca ouviu falar na escola sobre cientistas que acreditam em Deus, ou em um Ser criador (59% dos alunos, com 19% não sabendo dizer, ou não tendo certeza). Um terço dos participantes percebem a ciência e a religião como mutuamente exclusivos; metade afirma que a ciência torna difícil acreditar em uma divindade. Os autores defendem que as atividades didáticas devem ter uma preocupação em amenizar este quadro e que a técnica de desenvolvimento de *epistemic insight* pode ser uma boa ferramenta para isso. Uma das ferramentas desenvolvidas para desenvolver essa técnica é a chamada “roda disciplinar” (BILLINGSLEY; NASSAJI; FRASER; LAWSON, 2018, p. 24), como ilustrado na Figura 8.

Figura 8: A roda disciplinar (*The discipline wheel*).



Fonte: Billingsley, Nassaji, Fraser e Lawson (2018).

Centralizado na roda disciplinar, ou roda da disciplina, pode ser colocado um determinado assunto (ou uma *big question*) que se queira discutir com os alunos, priorizando assuntos que se relacionem com mais de um tema e que necessitem que conceitos de diferentes disciplinas sejam evocados para um entendimento mais completo. Utilizar a roda da disciplina pode às vezes se tornar complicado, mas constitui um incentivo à discussão de um determinado tópico (como, por exemplo, se cientistas podem possuir ou não religiosidade), analisando como as diferentes disciplinas (Física, Filosofia, Religião, Arte, História) podem contribuir para a discussão, tornando menos rígidas as fronteiras entre estes tópicos na percepção dos alunos (BILLINGSLEY; NASSAJI; FRASER; LAWSON, 2018).

Alguns trabalhos mostram que quando professores de ciências procuram estabelecer a sua visão sobre conhecimentos diversificados em um ambiente de sala de aula, os argumentos científicos não substituem os pré-científicos e religiosos

(FALADE; BAUER, 2017). Utilizando-se da teoria de Moscovici para elucidar alguns aspectos da psicologia social referente ao tema, Falade e Bauer (2019) defendem que os pensamentos científicos não substituem os pensamentos pré-científicos – a lei da não contradição não elimina a lei de participação. Segundo a psicologia social, os conceitos científicos são acomodados em um senso comum ao invés de simplesmente substituir antigas ideias. Ademais, esses conceitos, quando entendidos como destoantes do universo de interesse dos estudantes, são facilmente esquecidos e ignorados (GURGEL; PIETROCOLA; WATANABE, 2014).

Falade e Bauer (2019), procurando amenizar os problemas gerados pelo Modelo de Conflito e excessos do Modelo de Integração, utilizam uma fundamentação diferente do *epistemic insight* (BILLINGSLEY; NASSAJI; FRASER; LAWSON, 2018): o conceito de *polifasia*, da psicologia cognitiva, para ressaltar que diferentes tipos de conhecimentos, os quais possuem racionalidades diferentes, coexistem na estrutura cognitiva de um indivíduo. Vale ressaltar que Falade e Bauer (2019) alertam que em seu contexto, o modelo da integração é mais presente, uma vez que dos “174 milhões de habitantes do país [onde a pesquisa foi realizada, Nigéria, país dividido entre muçulmanos e cristãos], 88% acreditam que a religião está sempre certa” (FALADE; BAUER, 2019, p. 43, tradução nossa), mas acreditam igualmente na ciência, esta trabalhando em prol da religião. A tese da *polifasia cognitiva* abordada propõe que ciência, e qualquer outra forma de conhecimento, pode coexistir formando uma pluralidade de modos de pensamento, compartilhada pelo senso comum. Destacam que ser polifásico, ou seja, manter diferentes modalidades de pensamento é semelhante ao ser poliglota, quando há o conhecimento de diferentes línguas. O indivíduo poliglota sabe quando usar cada um dos idiomas, estes não os sobrepõem e o sujeito entende que o conhecimento de alguns idiomas pode fortalecer o conhecimento de outros. Assim, defendem que seja a polifasia com respeito a diferentes formas de conhecimento, como o científico e o religioso. Por fim, sublinham que o conceito de polifasia pode ser uma explicação psicológica que vai ao encontro da tese da coexistência [ciência e religião] e destacam que ciência e religião têm se mostrado não conflituosas em países de maioria religiosa quando os indivíduos perceberam que a ciência pode, em muito, mover-se em prol de suas crenças, ou vice-versa. Eles também destacam que a grande maioria da população tem a tendência de acreditar igualmente nos cientistas e nos líderes religiosos, mas apresentam muito pouca confiança em lideranças políticas.

Também é pertinente destacar que alguns estudos sugerem que quanto maior o grau de letramento científico, como acontece com cientistas, menor a religiosidade destes indivíduos (SCHEITLÉ; JOHNSON; ECKLUND, 2017) e há a sugestão de que atitudes negativas em relação à ciência se devem à falta de conhecimento científico (CHAN, 2018). Entretanto, há diversos autores que apontaram que em países muito religiosos, a maior parte da população apresenta uma alta confiança na ciência (CHAN, 2018), sugerindo então que religiosidade e confiança na ciência não são necessariamente incompatíveis. Na verdade, o que se observa nesses países é uma forte defesa, às vezes exacerbada, da Tese da Integração entre Ciência e Religião. Essa relação de compatibilidade elucidada para países com alta religiosidade, contudo, apresenta uma faceta diversificada. Em países de maioria muçulmana, por exemplo, a compatibilidade se mostra como um caminho para enaltecer as instruções do Alcorão (CROCHÉ, 2015; SUPRAPMANTO; PRASETYO, 2019), ou seja, veem a ciência apenas como algo a serviço da religião, ao invés de os dois sistemas andarem lado a lado. Apesar disto, identificam um indício de convergência entre pesquisadores cristãos e muçulmanos, de que aquilo que afeta a visão pública da ciência, aumentando a suposta incompatibilidade entre ciência e religião, não seria o possuir uma religiosidade, mas este perigo é maior frente às diversas formas de fundamentalismo (SCHWEITZER, 2018; CROCHÉ, 2015).

Gurgel, Pietrocola e Watanabe (2014) destacam ainda uma forma diferente de se abordar o tema em sala de aula, através de estudos de identidade cultural. Os autores focaram em ciência como parte de uma identidade cultural de uma sociedade e como essa afeta o processo de ensino e aprendizagem. Acrescentam que certas características sociais, como religião, gênero e raça, podem criar barreiras culturais no aprendizado de ciências, pois, uma vez que um bom número de alunos identificam certas atividades científicas como possíveis apenas para europeus ou norte-americanos, ateus ou agnósticos, se estabelece um fator limitante para o envolvimento dos jovens estudantes em atividades científicas. É interessante notar que os pesquisadores atribuem a identificação cultural como uma contribuição do psicólogo e filósofo William James, pensador que compõe o referencial teórico deste trabalho, para a psicologia social:

Estudos sobre identidade têm sido um tema central em psicologia social nos últimos anos. Esse assunto não é novo e pode ser encontrado na obra de William James no final do século XIX, mas apenas recentemente se tornou um corpo coerente de conhecimento (GURGEL; PIETROCOLA; WATANABE, 2014, p. 4, tradução nossa).

Desta forma, os pesquisadores procuraram identificar como, e em que medida, os alunos manifestam uma identificação com a Física realizada no Brasil, através da aplicação de questionários em um módulo didático sobre Física Moderna e Contemporânea. Ao perguntar sobre quais cientistas os alunos já ouviram falar e que acreditam ter contribuído para o desenvolvimento da ciência, a maioria dos estudantes citou nomes como Darwin, Aristóteles, Newton, Einstein, Bohr, Thomson, Rutherford e Dalton. Sendo o nome de Einstein o mais citado, três vezes mais do que qualquer outro e, como imaginado, poucas foram as menções a físicos brasileiros. Desta forma, a atividade didática resultou em uma intervenção voltada para as contribuições de físicos brasileiros na Física moderna (como César Lattes e Marcelo Gleiser). Os autores comentam que este tipo de intervenção é útil para ilustrar como tópicos científicos podem ser ensinados, sem perder validade ou rigor, ao mesmo tempo em que se abordam aspectos sobre diferenças culturais, como a nacionalidade ou religiosidade. Neste sentido outros autores também recomendam,

na mais tenra idade possível, contextualizar as relações entre religião e ciência em novas áreas que levantem questões diferentes para os alunos, desviando o foco das suposições fáceis de uma escolha binária (PEARCE; STONES; REISS; MUJTABA, 2019, p. 14, tradução nossa).

Sendo assim, incentiva-se a menção e o estudo dos cientistas mais conhecidos do grande público (GURGEL; PIETROCOLA; WAITANABE, 2014) e o posicionamento destes frentes às diferentes questões que se procura analisar (aspectos culturais, religiosos ou de gênero), constituindo uma forma de tratar os conflitos na relação ciência e religião de forma a fugir das simples dicotomias e hipóteses acerca da interação entre estes dois paradigmas. Esta abordagem, “em última análise, pode ter efeitos positivos na aceitação da ciência entre um grande segmento da população” (BEAUCHAMP; RIOS, 2019, p. 15, tradução nossa).

Destacam também a notável diferença de percepção para com as culturas islâmicas, que abordam a relação entre ciência e religião de uma forma distinta da dos países do ocidente (RIOZ; AVEYARD, 2019; SUPRAPMOTO; PRASETYO, 2019;

CROCHÉ, 2015). Os pesquisadores imersos em uma cultura islâmica, quando em discussão sobre os conteúdos científicos a serem ensinados nas escolas da Indonésia, país de maioria muçulmana, e o papel do livro didático, destacam que com o aprendizado em concordância em todos os pontos com o currículo, “os alunos usam a confiança na grandeza do Deus Todo-Poderoso, como base à beleza e regularidade da natureza, Sua criação” (SUPRAPMOTO; PRASETYO, 2019, p. 1, tradução nossa). Ou seja, a conclusão foi de que no mundo muçulmano os ensinamentos científicos não estão colaborando com a confiança na grandeza do Deus Todo-Poderoso, segundo os autores, então estes ensinamentos devem ser abandonados, não importando se são tomados como corretos ou não pela comunidade científica. Como discutiremos a seguir, esta é a percepção em muitos países islâmicos (CROCHÉ, 2015). Os autores continuam defendendo que o aprendizado deve ser baseado nos valores religiosos e que a educação serve primeiramente para fortalecer a religiosidade dos educandos, sendo que os demais objetivos da educação são sempre secundários. Nesse sentido, Taylor (2017), ao acompanhar a carreira acadêmica de uma física muçulmana nos Estados Unidos, relata que o Islã é tido como um guia que define todas as práticas e atividades de um muçulmano devoto, incluindo aspectos econômicos, sociais e políticos.

Croché (2015), em um estudo no Senegal, afirma que 90% da população é muçulmana, 5% são cristãos e 5% animistas, e identifica que o discurso científico do ocidente é incentivado nas escolas pelas lideranças do país, embora este não seja o desejo dos professores. O sistema de ensino é majoritariamente baseado nas *daaras*, escolas que mantêm fortemente a cultura islâmica. A autora afirma que nas *daaras* a punição física é utilizada pelos professores como uma ferramenta educativa, e os pais não costumam questionar, pois defendem que as *daaras* reduzem a incerteza dos mais jovens quanto à religião. Os alunos senegaleses que frequentam essas escolas têm apoio do governo para adentrar ao mercado de trabalho, ao passo que aqueles que estudam em qualquer outra escola encontrarão muitas barreiras burocráticas para encontrar um emprego. Destaca que isto é igualmente defendido pela maioria da população como forma de manter a fé e a cultura islâmica. Quanto ao currículo escolar, “é principalmente baseado em recitar o Alcorão e no aprendizado das ciências islâmicas [...], assuntos científicos não fazem parte dos programas de ensino” (CROCHÉ, 2015, p. 43, tradução nossa). De fato, apesar de lideranças políticas ou acadêmicas no país incentivarem o estudo de teorias científicas, isto não é seguido pelos professores. O

livro principal das escolas é o Alcorão e aquilo que não estiver em consonância com a religião é depreciado ou descartado. Alguns professores introduzem tópicos como a teoria da evolução ou a teoria do Big-Bang, contudo ao final das lições deixam claro que ensinaram uma “mentira” (Ibid., 45), que trataram estes assuntos por estarem no currículo e que os alunos não devem acreditar nestes assuntos. Além disso, não existe quadro negro nas *daaras*, em parte pela falta de recursos financeiros, em parte para que as atividades sejam plenamente voltadas aos textos religiosos. Não obstante, Croché (2015) indica que os sistemas de *daaras* são comuns nos países africanos islâmicos, com variações. Por fim, destaca o problema do fundamentalismo religioso, como já mencionado (SCHWEITZER, 2018), ao levantar um comentário feito por um professor do Instituto Islâmico, em entrevista:

Quem sabe mais e mais são os mais religiosos [...]. Internet e televisão são baseadas na natureza dada por Deus. Elas são descobertas ou criações? Estavam lá antes de a descobrirmos. Nós não criamos a internet e a televisão, nós as descobrimos [...]. A fraqueza da Europa, não está cavando a fé. É na Europa onde o Islã se desenvolverá, porque há uma ciência, uma capacidade de desenvolver a religião, para cavar por dentro. O Ocidente, com sua ciência, está a serviço do Alcorão (CROCHÉ, 2015, p. 47, tradução nossa).

Rios e Aveyard (2019) também realizaram um estudo com estudantes muçulmanos, porém procurando entender como as convicções e crenças são modificadas pelo contexto. Para tanto, analisaram como são influenciados jovens estudantes quando permanecem por um longo período em um país de cultura diferente, com uma religião distinta, e como isso influencia a visão a respeito da relação entre ciência e religião. Os resultados mostraram que estudantes muçulmanos, quando expostos às culturas ocidentais, evidenciaram crenças mais fracas entre a compatibilidade entre ciência e religião, ao passo que os estudantes norte-americanos de maioria cristã não apresentaram nenhuma mudança significativa quando expostos a outras culturas. Procuraram demonstrar que as crenças sobre religião e ciência podem mudar de acordo com o contexto social e cultural, o que pode significar que ser mais religioso não está universalmente associado a abrigar mais sentimentos anticientíficos (RIOS; AVEYARD, 2019), o que é um estereótipo que tem potencial de prejudicar indivíduos religiosos a seguir uma carreira científica.

Diversos autores levam a discussão a um nível epistemológico, analisando as diferenças e semelhanças entre ciência e religião sob a óptica da natureza e origem do

conhecimento (LESSL, 2018; BILLINGSLEY; BROCK; TABER; RIGA, 2016; MARTIN, 2015; GOVENDER, 2015; CARVALHO, 2015). Martin (2015), por exemplo, discute o posicionamento do filósofo da ciência austríaco Paul Feyerabend sobre o materialismo, o misticismo e a religião, alegando que esses três tópicos se relacionam nas teses do filósofo. Afirma que Feyerabend geralmente cita a religião como um exemplo do que os cientistas ignoram [seu próprio dogmatismo] quando acreditam que seus métodos e práticas são as únicas medidas aceitáveis de verdade e excelência. Feyerabend certamente não indica que a ciência não possa constituir uma forma de se chegar à verdade ou a um trabalho de excelência, não e este seu objetivo.

Lessl (2018) afirma que as crenças dogmáticas na ciência como fornecedora de uma verdade absoluta constituem um empirismo ingênuo, sendo que se torna um problema quando os estudantes adquirem a visão de que a ciência avança pela mera e constante acumulação de dados, enquanto que a religião, por sua natureza, não pode ter esse avanço. Segundo ele, essa visão não corresponde com a natureza da ciência, o que é consoante ao pensamento de Feyerabend de que não existe apenas uma única maneira da ciência progredir (MARTIN, 2015), no sentido de que seria incorreto defender a existência de um único método científico (POOLE, 2015).

Govender (2015), por outro lado, destaca que a ciência se constitui de argumentação empírica baseada na experiência, com suas suposições filosóficas assumindo uma ontologia naturalista e uma epistemologia realista, com um sistema de valores baseado na busca pela verdade. Quanto à religião, assume que as suposições filosóficas se baseiam em uma metafísica supernaturalista, com uma coleção de doutrinas não testáveis e crenças acerca do sobrenatural, sendo que o único ponto em comum com a ciência seria a busca pela verdade. Lessl (2018), em contrapartida, apresenta uma visão um tanto diferente uma vez que toma como um equívoco reconhecer a ciência como superior à religião por essa possuir fundamentação em fatos, dado que muitos conceitos nas disciplinas científicas não são fatos apenas, mas produtos de inferências e articulações criativas, físicas ou matemáticas; isto permite à ciência ir além do observável, entendendo aspectos do mundo natural que não são diretamente acessíveis aos sentidos. Assim, Lessl (2018) não coloca que religião e ciência tenham exatamente a mesma natureza ou que estejam no mesmo patamar do ponto de vista de origem de conhecimento, mas defende ser um equívoco afirmar que a ciência é sempre superior à religião por ser baseada em fatos. Defende o autor que algum conteúdo

teórico sempre é assumido mesmo antes de uma investigação empírica começar. Como exemplos, têm-se os experimentos de pensamento (*gedankenexperiment*) da Teoria da Relatividade, ou como colocado por Lessl (2018), a descoberta do bóson de Higgs, que não foi obtida por indução a partir de experimentos ou observações, mas resulta de inferências teóricas derivadas do Modelo Padrão da Física de partículas na década de sessenta. Pode-se, assim, argumentar que:

todas as orientações do Modelo Padrão possuem bases empíricas, entretanto nenhuma dessas observações poderia prever a existência dessa partícula além das teorias que foram arduamente reunidas para interpretá-las ao longo de muitos séculos. Se o Modelo Padrão não estivesse em vigor, os físicos não teriam feito essa descoberta e, portanto, não teriam iniciado sua busca de cinquenta anos para verificá-la experimentalmente (LESSL, 2018, p. 631, tradução nossa).

O autor ainda destaca que o discurso que a Igreja adotou em relação à posição copernicana não negou nenhuma das evidências disponíveis que a apoiavam. Instruiu Galileu a tratar o heliocentrismo apenas como uma hipótese, ou seja, como uma proposição consistente com a evidência empírica, mas não com uma verdade estabelecida. “O mensageiro que comunicou isso ao Galileu, cardeal Robert Bellarmine, reconheceu que a Bíblia precisaria ser interpretada de acordo com o heliocentrismo, para que se estabelecesse no futuro” (LESSL, 2018, p. 632, tradução nossa). Nesse sentido, Martin (2015) traz que Feyerabend sustentava que Galileu, ao contrário das recomendações dos empiristas, frequentemente desconsiderava fenômenos quando se chocavam com os compromissos teóricos e com leis que considerava universais e imutáveis. Mesmo assim, Lessl (2018) destaca que isso não significa que a ciência não seja tão confiável, ou meramente subjetiva; apenas reitera que os problemas com que ela se depara não podem ser resolvidos unicamente pela coleta de mais dados. A evidência só adquire um verdadeiro significado científico quando examinada criticamente e explorada e interpretada criativamente. “Evidência, método e teoria devem todos permanecer na ciência, mas o maior desses é a teoria. As maiores ideias científicas não são verdadeiras porque podem ser vistas; são verdadeiras porque é por elas que vemos muito mais” (LESSL, 2018, p. 634, tradução nossa).

Martin (2015) ao discorrer sobre a epistemologia de Feyerabend menciona ainda que aspectos tomados como marcantes para a elucidação da tese da incompatibilidade entre ciência e religião, como a teoria da evolução, não são tomadas pelo filósofo como problemáticas; a ausência de privilégio divino que se tem ao aceitar a teoria da

evolução, por exemplo, não significa falta de reverência e aceitação religiosa; aceitar o materialismo é que implica nessa falta (MARTIN, 2015). O problema seria um crescente desapego de qualquer valor religioso e substituição, ou tentativa de substituição, por um puro materialismo científico, supondo que este exista. Este apego excessivo ao materialismo científico, na visão do epistemólogo, torna as pessoas frias, ao ponto que “até os próprios humanos não são mais vistos de uma maneira humanizada” (FEYERABEND, 2011, p. 94 apud MARTIN, 2015, p. 4), mas como um conjunto de sistemas complexos, quase como máquinas. Aponta que o materialismo científico assume sua principal faceta quando restringe as muitas práticas não relacionadas com aquilo que se crê ser “o método científico”, restringindo em nível epistêmico as descobertas de diversos grupos e, simultaneamente diminui o potencial humanístico. Além disso, a perspectiva de Feyerabend reconhece a existência de aspectos mais amplos dos sistemas de crenças, como fazer parte de uma comunidade, participar de tradições e cultivar certos hábitos. Conforme afirma Martins (2015), sua ênfase na prática, através de uma filosofia pragmática, de maneira semelhante à psicologia pragmática de William James, significa que as religiões não representam apenas um conjunto de doutrinas, pois se assim fosse, poderiam ser comparadas com a ciência de forma mais direta. Mas elas formam pacotes culturais que se mostraram bem-sucedidos em diversos tempos e lugares. O mais importante é que o fato de as religiões não serem teorias significa que elas podem não estar sujeitas aos mesmos padrões de julgamento que as teorias científicas. Assim, Martin (2015) e principalmente Lessl (2018), tecem críticas aos argumentos mais fracos que sustentam a Tese do Conflito, não se situando, os autores, em uma defesa explícita de qualquer uma das outras três teses ou modelos. Criticam, sobretudo, a comparação direta entre ciência e religião, no sentido de que as concepções religiosas e as teorias científicas são conjuntos de saberes diferentes. Sobre a religião, fatores sociais e senso de pertencimento pesam muito mais do que sobre uma teoria científica, que é avaliada por sua capacidade de predição, por exemplo, mas não se refere diretamente à vida das pessoas, tornando-as mais felizes ou trazendo sentido à vida. Este não é o objetivo de uma teoria científica. Dessa forma, ciência e religião podem possuir certas semelhanças quanto à natureza do conhecimento, mas no geral são campos distintos, que devem ser avaliadas por julgamentos também distintos.

Poole (2015), por fim, enfatiza que o professor de ciências precisa estar minimamente interessado e engajado com questões a respeito da natureza da ciência, entendendo o que é ciência, sabendo explicar, por exemplo, porque o criacionismo não é científico (GOVENDER, 2015); tendo clareza de que a ciência não é superior a outras formas de conhecimento por ser baseada em fatos (LESSL, 2018); ademais, as experiências religiosas são variadas e estão atreladas a muitos outros fatores, como o senso de pertencimento a uma comunidade (NOVIS-DEUTSCH; LIFSHITZB, 2016). Poole (2015, p. 276, tradução nossa), defende que o professor de ciências “não é uma ilha para si mesmo, nunca se aventurando fora da sala de preparação. Ele/a deve estar [...] interessado/a em refletir como seus estudos se relacionam com outras disciplinas do currículo; e à epistemologia em geral”.

3. REFERENCIAL TEÓRICO-EPISTEMOLÓGICO

O referencial teórico-epistemológico adotado nesta dissertação relaciona-se com o interesse em ensino de Física Quântica, de forma a promover entre os alunos uma representação social coerente com o entendimento científico sobre este tema, com um ensino que ressalte os aspectos históricos e epistemológicos da ciência, tomando como chave a discussão sobre ciência e religiosidade. Desta forma, analisa-se o trabalho do precursor no estudo de representações sociais, Serge Moscovici, com o exame da obra *Representações Sociais: Investigações em Psicologia Social* (2015). Faz-se também uma breve análise da teoria do economista Daniel Kahneman sobre sistemas de pensamento que influenciam na tomada de decisões, contida na obra *Rápido e Devagar: Duas formas de pensar* (2012). Acreditamos que as ideias de Kahneman, baseadas em conceitos de psicologia cognitiva e psicologia social, possam ser úteis para o entendimento da formação de representações sociais. Do ponto de vista da epistemologia da ciência, sintetizamos algumas ideias pertinentes à discussão do filósofo e físico Paul Feyerabend, sobretudo com a análise da obra *Contra o Método* (2011), com alguns comentários acerca de outras obras do filósofo. Por se tratar de uma epistemologia com uma visão humanista sobre ciência e seu ensino, a relação entre ciência e religiosidade pode ser abarcada ao se abordar esta epistemologia. Além disso, Feyerabend possuiu formação em Física, então algumas de suas ideias podem ser profícuas para o Ensino de Física, em nosso caso, Ensino de Física Quântica. Por fim, se almejamos providenciar uma discussão entre Ciência e Religião, é preciso ter em mente o que é Ciência e Religião, buscando definições para estes conceitos. A filosofia da Ciência de Feyerabend nos proporciona um esclarecimento sobre a primeira, ao passo que utilizamos a teoria do psicólogo e filósofo do pragmatismo, William James, para a segunda, com análise da obra *As Variedades da Experiência Religiosa: um estudo sobre a natureza humana* (2017). Estas obras destacadas constituem o fundamento de nosso referencial e serão analisadas nas seções subsequentes.

3.1 A Teoria das Representações Sociais de Serge Moscovici

A Teoria das Representações Sociais (TRS) surge da necessidade de mapear o que um grupo de indivíduos entende ou pensa sobre determinado assunto, ou ainda, as percepções individuais sobre um dado tema que são formadas por interferência da interação ou pelo fato de se estar em um grupo. Quando um conceito é formado ou

modificado substancialmente em uma comunidade, ao invés de apenas individualmente, o emprego da TRS se faz relevante e por vezes, necessário. Dessa forma, compreende-se esta teoria como um ramo de estudo dentro da Psicologia Social, uma vez que se tem o objetivo de estudar a aquisição de significados por um grupo de indivíduos, mesclando aspectos cognitivos, dentro do campo de estudo da Psicologia, com conceitos da coletividade de grupo da Sociologia.

Dessa forma, entende-se que há numerosas teorias e vertentes que estudam como os indivíduos tratam o conhecimento, porém, o estudo de como e porque os indivíduos partilham o conhecimento, formando uma realidade comum e consensual, formando as ideias em prática, é o objeto de estudo da Psicologia Social (MOSCOVICI, 2015). Este ramo de estudo é devido principalmente ao psicólogo romeno Serge Moscovici (1925-2014), que na década de sessenta introduz a ideia de Representação Social com a publicação do livro *“La Psychanalyse, son image et son public”* (1961). Para este trabalho utilizamos uma obra posterior, amplamente utilizada em Psicologia Social, *“Representações Sociais: Investigações em Psicologia Social”*, escrito originalmente em 2000, por Moscovici e com colaboração de Gerard Duveen, que traduziu para o inglês e escreveu a Introdução da obra.

A produção de Moscovici inicia com a análise de um breve exemplo, o qual elucidava uma possibilidade de estudo para a teoria. Ao olhar para um mapa da Europa, sem nenhuma indicação sobre ele, com exceção da cidade de Viena, perto do centro e, ao norte dela, a cidade de Berlim, o leitor é convidado a situar onde ficam as cidades de Praga e Budapeste. O autor enfatiza que para a maioria das pessoas que nasceram após à Segunda Guerra Mundial, ambas as cidades pertencem ao leste europeu e, portanto, deveriam situar-se à leste de Viena. Isto é verdade para Budapeste, que está afastada ao leste e abaixo de Viena, ao longo do rio Danúbio. Contudo, Praga está situada a oeste de Viena. Apesar de simples, este exemplo serve para ilustrar algo do fenômeno das Representações Sociais, pois uma representação foi construída socialmente em termos de divisões políticas da Guerra Fria, em que visões políticas e ideológicas sobrepujaram as geográficas, com a comunicação, seja em livros, em peças de teatro ou cinema, tendo contribuído para a formação desta representação.

A psicologia cognitiva social, que havia alcançado seu auge uma década antes da proposição da TRS por Moscovici, também procura explicar situações do cotidiano, relativas à aquisição e transformação do conhecimento, contudo, estas situações como a

anteriormente descrita são vistas apenas como distorções do pensamento comum, constituindo assim uma primeira diferença e ponto de afastamento entre demais vertentes da psicologia e a TRS, que encara estas supostas distorções, como “formas de conhecimento produzidas e sustentadas por grupos sociais específicos, numa determinada conjuntura histórica” (MOSCOVICI, 2015, p. 20). Desta forma, aparentes distorções e erros são entendidos pela TRS como uma forma de conhecimento bem estabelecidos pelo contexto, e, portanto, possuem certas sutilezas e demandam um olhar mais atento.

Existe, portanto, um paralelo interessante entre a psicologia e a psicologia social. Um dos grandes interesses da psicologia que se manifesta em todas as teorias de aprendizagem e repercute em muitas investigações filosóficas é o estudo de como o ser humano constrói conhecimento, como um indivíduo aprende e assimila novos conhecimentos ou novos conceitos, bem como qual é a relação destes conceitos com a realidade. A psicologia esteve sempre atenta ao processo psíquico de aquisição ou construção de saberes, contudo a psicologia social retira o foco do indivíduo, analisando como o indivíduo dentro do grupo e como o próprio grupo adquire um dado conhecimento. Tendo a psicologia social algumas vertentes e alguns colaboradores ao longo do tempo, é possível assegurar que com a TRS foi possível fundamentar uma síntese para as questões que envolvem construção de conhecimento, promovendo ainda profícuas discussões sobre como esse conhecimento é recebido pela sociedade e como interage com esta. Nesse sentido, Moscovici defende que “uma psicologia social do conhecimento está interessada nos processos através dos quais o conhecimento é gerado, transformado e projetado no mundo social” (MOSCOVICI, 2015, p. 9). Além disso, o autor defende que o conhecimento surge sempre das paixões humanas e, como tal, nunca é desinteressado, é sempre um produto de um dado grupo de indivíduos engajados em seus projetos definidos. Desta forma, dada essa relação intrínseca com o aspecto social, a psicologia fundamentada na TRS permite abordar tópicos com importante relevância para a sociedade, como o Terraplanismo, a teoria da Evolução, a teoria do Big-Bang e o fenômeno social do Misticismo Quântico, para citar alguns exemplos capitais.

O termo representação individualmente pode ser entendido como a formação de um retrato de certo objeto de maneira a classificá-lo em uma certa categoria, como a construção mental de imagens para objetos reais, semelhante ao processo de formação

de modelos muito comum na atividade científica. Desta forma, o uso de representações é um evento comum no processo de aprendizagem, o que já fora identificado por Piaget, com o psicólogo suíço dando o primeiro passo para uma apropriação do termo de representação em psicologia. Piaget “estudou a representação do mundo da criança e sua investigação permanece, até o dia de hoje, como um exemplo” (MOSCOVICI, 2015, p. 45). Na teoria de Piaget, a representação era um termo secundário que se relacionava com a construção de significado na estrutura cognitiva, porém, o que Moscovici propõe é considerar a representação como um *fenômeno*, ao invés de apenas como um *conceito*, adquirindo caráter central na teoria. Além disso, para uma representação ser social, é preciso evidentemente que sofra influência direta de um grupo, mais especificamente um fenômeno ou comportamento “se torna social somente quando ele é afetado pelo comportamento de outros organismos” (MOSCOVICI, 2015, p. 153). Assim, uma RS constitui-se como um aparato de um grupo para construção de imagens mentais, no sentido de que o grupo elabora um consenso com respeito a um objeto de estudo, para formação de significado, utilidade e função do objeto. Por exemplo, identifica-se que estudantes de ensino médio elaboram uma representação social de Física Quântica na qual há uma associação com termos relacionados a certo misticismo, como água, alma ou espírito (HILGER; MOREIRA, 2012), associando à Quântica um caráter metafísico e essa associação é fortemente estabelecida a partir de diálogo e conversação entre os participantes. Destaca-se ainda, que a representação para Piaget assume um caráter individual, como um aparato na estrutura cognitiva para construção de um modelo mental sobre um dado assunto. Para Moscovici essa construção é social, é no grupo, com certos aspectos e significados surgindo apenas quando o grupo interage, através da conversação. Evidentemente a RS reflete a individualidade dos componentes do grupo, contudo, a atenção é dirigida sempre para o social. Com isso em mente, estamos aptos para a elaboração de uma definição de RS, de forma que é classificada como

um sistema de valores, ideias e práticas, com uma dupla função: primeiro, estabelecer uma ordem que possibilitará às pessoas orientar-se em seu mundo material e social [...]; e, em segundo lugar, possibilitar que a comunicação seja possível entre os membros de uma comunidade, fornecendo-lhes um código para nomear e classificar, sem ambiguidade, os vários aspectos de seu mundo e da sua história individual e social (MOSCOVICI, 2015, p. 21).

Para um melhor entendimento acerca da TRS e funções das representações, vale uma breve análise de seu desenvolvimento histórico, uma vez que possui raízes em outras teorias bem estabelecidas na psicologia e na sociologia. Como já destacado, Moscovici se utiliza de alguns aspectos da teoria piagetiana de aprendizagem, sobretudo com respeito a epistemologia genética, de forma que defende que a TRS encaminha a Psicologia Social para uma Psicologia Social Genética. O emprego do termo “genético” na obra de Piaget remete à noção de que estruturas específicas são entendidas apenas como transformações de estruturas anteriores, nos processos de assimilação. Na Psicologia Social, as RS são estruturadas e transformadas através de intercâmbios comunicativos, sendo que “é essa relação dialética entre comunicação e representação que está no centro da imaginação sociopsicológica” (MOSCOVICI, 2015, p. 28) de Serge Moscovici. Assim, defende-se que em qualquer esforço comunicativo, há um empenho em compreender o mundo através de uma ideia específica e de projetar essas ideias de modo a influenciar os demais, manifestando a natureza dialética das representações. Dessa forma é notória a importância da comunicação na teoria de Moscovici, com a comunicação sempre se mostrando como carregada de interesses, que podem ser interesses simples, como elucidar o caráter dual de entes quânticos, ou interesses mais complexos, como elucidar que não há conflito inerente entre ciência e religião. A conversação como carregada de interesse é então manifesta, pois

sempre que um conhecimento é expresso, é por determinada razão; ele [o conhecimento expresso] nunca é desprovido de interesse. Quando Praga é localizada à leste de Viena, certo sentido de mundo e um conjunto particular de interesses humanos estão sendo projetados. A procura de conhecimentos nos leva de volta ao tumulto da vida humana e da sociedade humana; é aqui que o conhecimento toma aparência e forma através da comunicação e, ao mesmo tempo, contribui para a configuração e formação de intercâmbios comunicativos (MOSCOVICI, 2015, p. 28).

Além dessa herança piagetiana, nota-se uma inerente influência da teoria social de Durkheim sobre a TRS, na verdade, Moscovici enfatiza que “é óbvio que o conceito de representações sociais chegou até nós vindo de Durkheim” (MOSCOVICI, 2015, p. 45). Durkheim utiliza em sua teoria social, principalmente na obra *The Elementary Forms of Religious Life*, a representação como algo inerente à sociedade, fixo para um dado grupo de pessoas, assumindo então a forma de representações coletivas, as quais constituem um instrumento explanatório, referindo-se a diferentes classes de ideias e crenças (como ciência e religião). Contudo, na TRS, as representações são entendidas

com fenômenos específicos que “estão relacionados com um modo particular de compreender e de se comunicar” (MOSCOVICI, 2015, p. 49), de forma que uma modificação na forma de comunicação, ou ausência desta, modifica substancialmente a representação. Assim, a representação é entendida por Moscovici como algo dinâmico, que se modifica com o tempo, abandonando o caráter fixo estabelecido por Durkheim. Para enfatizar essa distinção, utiliza-se o termo social, ao invés de coletivo. Por conseguinte, enquanto na teoria de Durkheim as representações coletivas são tomadas como formas estáveis de compreensão coletiva, com o poder de obrigar que pode servir para integrar a sociedade como um todo, a TRS lança seu olhar para a variação e a diversidade das ideias coletivas na sociedade. Moscovici ainda alerta que o conceito de representação coletiva é expresso através “da noção do estilo de pensamento de um coletivo usado por Fleck. E nós sabemos que o livro de Fleck encontrou eco na teoria de Thomas Kuhn e na sua epistemologia da ciência” (MOSCOVICI, 2015, p. 194).

Desta forma, a Teoria das Representações Sociais encontrou respaldo entre psicólogos e sociólogos pelo retorno ao conceito de representação, adquirindo um caráter central em uma psicologia social do conhecimento, com uma construção satisfatória e coesa de maneira a unir termos da sociologia e da psicologia cognitiva. Assim, o particular interesse que recai sobre o trabalho de Moscovici se dá por sua teoria “formar parte de um empreendimento mais amplo para estabelecer (ou reestabelecer) os fundamentos para uma disciplina que é tanto social, como psicológica” (MOSCOVICI, 2015, p. 26).

Para entendimento das funções de uma RS é preciso entender o posicionamento da TRS frente a aspectos mais essenciais em uma visão de mundo, no sentido de uma discussão sobre a natureza da realidade. Uma vez que sejam sistemas de valores construídos em um grupo, as representações não correspondem exatamente ao mundo externo. Contudo, Moscovici enfatiza que “no que se refere à realidade, essas representações são tudo o que nós temos, aquilo a que nossos sistemas perceptivos, como cognitivos, estão ajustados.” (MOSCOVICI, 2015, p. 32). Ele alerta que muitas vezes utilizamos representações de mundos que não se podem nem ao menos ver, então a percepção das representações é tão importante quando a percepção de objetos reais, que possivelmente nunca serão visualizados, como partículas ou genes. Nesses casos as RS, que podem ser socialmente construídas em uma comunidade científica e modificadas por uma comunidade de educadores, substituem equivalentes naturais que

permanecem em muitos casos inacessíveis, ou demasiado complexos para que sejam tratados em um dado contexto. Moscovici ainda utiliza um exemplo para manifestar as funções das RS no que tange ao entendimento acerca da realidade, a saber, duas famosas obras do pintor surrealista René Magritte, ilustradas na figura 9.

Figura 9: As obras *La Trahison des Images* (1926) e *Les Deux Mystères* (1966) de René Magritte, mencionadas por Moscovici.



Fonte: Retirada do site *Rene Magritte: Biography, Paintings and Quotes*.⁵

Moscovici destaca algo importante das representações com estas obras. Na primeira, com uma legenda com os dizeres “Isto não é um cachimbo”, é ressaltada a natureza de uma representação. Em *La Trahison des Images*, não vemos um cachimbo de fato, mas uma imagem de algo real, uma representação. Em *Les Deux Mystères*, somos levados a refletir que o cachimbo flutuando no ar possa ser “real” nessa pintura, uma vez que não há nenhuma legenda como na pintura clássica de 1926, representada novamente dentro desse quadro. É evidente que discutir que qual cachimbo é mais real que o outro não nos levará a lugar algum, a ideia que uma figura que está, ela mesma, dentro de outra figura, como na obra de 1966, e por isso seria menos real, é algo ilusório, destaca Moscovici. Porém, para analisar obras como estas, é preciso adentrar nos limites estabelecidos pelo autor, no sentido que “uma vez que se chegou a um acordo de ‘entrar na moldura’, nós já estamos comprometidos: temos de aceitar a imagem como realidade” (MOSCOVICI, 2015, p. 33). Este caráter é denominado por Moscovici como natureza convencional e prescritiva das representações, pois, no caso das obras de arte, uma vez que se esteja disposto a uma análise detalhada, se assume as convenções estabelecidas pelo autor e procura-se estabelecer uma linha de pensamento de acordo com tais convenções, para determinar por exemplo, que um cachimbo é real ou não. Dessa forma, as representações sociais possuem duas funções:

⁵ Disponível em: <<https://www.renemagritte.org/>>. Acesso em: fevereiro, 2020.

a) *Convencionalização.*

As representações “convencionalizam os objetos, pessoas ou acontecimentos que encontram. Elas lhes dão uma forma definitiva” (MOSCOVICI, 2015, p. 34). Para elucidar essa função, utiliza alguns exemplos. O mais provocante é devido a um pintor e escultor francês de certo renome, Marcel Duchamp, que “a partir de 1912, restringiu sua produção científica em assinar objetos já prontos e que, com esse único gesto, promoveu objetos fabricados ao *status* de objetos de arte” (Ibid., p. 35). Assim, a comunidade que consumia materiais artísticos acabou convencionalizando que qualquer material que possuísse a assinatura deste artista, adquiria o caráter de obra de arte, sem realizar nenhuma inspeção. Outro exemplo trata de militares responsáveis por atrocidades e crimes de guerra, sobretudo durante o regime nazista, que, apesar dos horrores cometidos, eram elogiados por uma grande parcela da população por sua humanidade e gentileza, “comparando-os aos milhares de indivíduos tranquilamente empregados em trabalhos burocráticos” (Ibid., p 35).⁶ Moscovici alerta então que, com algum esforço, devemos nos tornar conscientes e tornar os outros conscientes (o que seria, essencialmente, o papel do educador) do aspecto convencional da realidade e, dessa forma, quando necessário, escapar de algumas exigências sombrias que ela pode impor nas percepções e pensamentos dos indivíduos. Vale ressaltar que, na discussão da epistemologia de Feyerabend, na próxima seção, abordaremos como o filósofo encara a realidade, principalmente a realidade de teorias físicas, e veremos que há uma aproximação, portanto, entre Moscovici e Feyerabend neste aspecto.

b) *Prescrição.*

A segunda função das representações refere-se ao fato de serem “prescritivas, isto é, elas se impõem sobre nós como uma força irresistível” (Ibid., p. 36). Como exemplo, o autor remete à noção de paradigma bem estabelecido na comunidade científica, na filosofia da ciência de Thomas Kuhn. Quando há um paradigma bem estabelecido e, portanto, uma fase da ciência chamada de ciência normal (KUHN, 1998), que seria a pesquisa firmemente baseada em uma ou mais realizações científicas

⁶ Este exemplo é particularmente marcante para Moscovici, uma vez que o psicólogo romeno era de origem judia e fora perseguido pelo regime ditatorial na Romênia, que se estabelecera no período da Segunda Guerra Mundial e era favorável ao regime nazista. Moscovici, ao contrário de muitos outros acadêmicos, acabou sendo enviado para um campo de concentração. Foi liberto apenas quando tropas soviéticas chegaram à Romênia.

passadas. Nesse sentido, um cientista que adere a um paradigma não questiona os fundamentos deste, mas se ocupa com operações de acabamento, procurando desenvolver ainda mais a ciência normal. Em vez de paradigma, Moscovici utiliza o termo Representação Social, como já discutido, e destaca que tal como o paradigma kuhniano, os indivíduos imersos na representação não naturalmente a questionam, mas a aceitam com certa naturalidade.

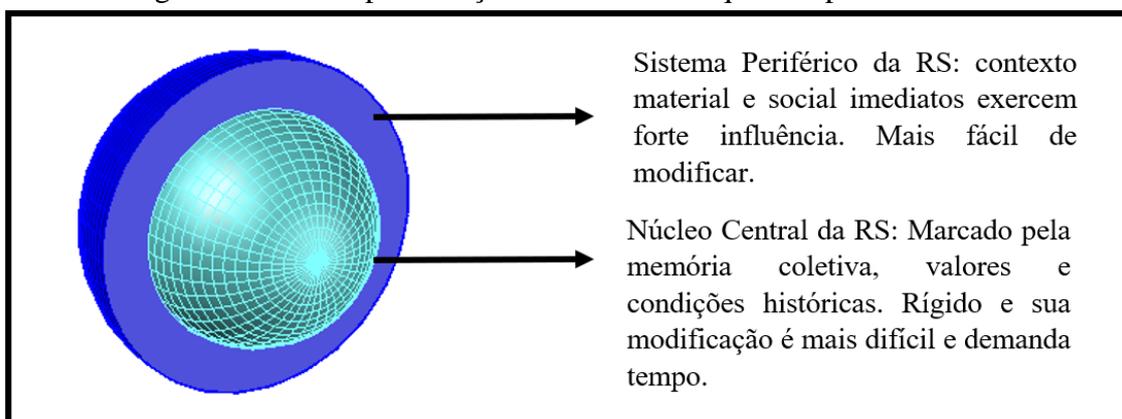
Assim, defende-se que as representações convencionalizam a realidade, de forma que a realidade seja moldada de acordo com a visão do grupo, o que pode ser positivo em certas situações, como na ciência, porém extremamente negativo em outras, como em situações políticas e ideológicas. Além disso, são prescritivas, no sentido de forçar os indivíduos do grupo a se encaixar nos padrões estabelecidos por elas. Estas são as duas funções principais das representações, porém é preciso destacar também como e onde podem surgir as representações.

Essencialmente, qualquer representação surge no grupo em interação, uma vez que “pessoas e grupos sociais criam representações no decurso da comunicação e da operação. Representações, obviamente, não são criadas por um indivíduo isoladamente” (MOSCOVICI, 2015, p. 41), se assim fosse, não mais se trataria de uma representação social, mas individual, a qual é objeto de estudo da psicologia cognitiva. Uma vez criadas no grupo, defende Moscovici, elas adquirem uma vida própria, circulam e se manifestam em diferentes situações, de forma que podem se alterar, gerar novas representações e eventualmente desaparecerem, dando lugar a outras. Contudo, tanto o surgimento de uma nova representação, como a modificação de uma antiga, requer que haja comunicação entre os indivíduos. No momento em que o objeto de análise da TRS seja um grupo social, uma vez que almeja-se modificar o pensamento do grupo para com um dado tópico, é necessário ter acesso a este pensamento. Moscovici esclarece; o pensamento do grupo é fala e, parafraseando o poeta franco-romeno Tristan Tzara, afirma: “Nós pensamos através de nossas bocas” (MOSCOVICI, 2015, p. 42). Assim, a forma que a psicologia social tem de acessar a formação de novas ideias no grupo é através da comunicação e análise desta, e negar que uma sociedade pense, segundo Moscovici, seria retomar a ideia de que “nossas mentes são pequenas caixas-pretas, dentro de uma caixa-preta maior, que simplesmente recebe informação” (Ibid., p. 44), de forma a aproximar a psicologia do já ultrapassado *behaviorismo* clássico. Alerta que se deve proceder de maneira contrária:

O que estamos sugerindo, pois, é que as pessoas e grupos, longe de serem receptores passivos, pensam por si mesmos, produzem e comunicam incessantemente suas próprias e específicas representações e soluções às questões que eles mesmos colocam (MOSCOVICI, 2015, p. 45).

Dessa forma, para identificar uma RS, o ponto de partida é a análise das práticas de conversação. Vale destacar que a identificação da RS demonstra ter contradições inerentes, oriundas da origem na sociologia de Durkheim. Elas são rígidas/estáticas o suficiente para construir um sistema de valores, mas estão ao mesmo tempo em constante mutação. Para lidar com essa aparente dicotomia, entende-se que uma RS possui na verdade, dois conjuntos. Um deles é marcado pela memória coletiva, valores e condições históricas. Esse conjunto é rígido e não está sujeito ao contexto material e social imediatos, formando o chamado Núcleo Central da RS. O outro conjunto forma o chamado Sistema Periférico da RS, para o qual os contextos material e social imediatos exercem forte influência. Estes sistemas são ilustrados de maneira simples, na imagem da figura 10.

Figura 10: Uma representação dos elementos que compõem uma RS.



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

O núcleo e o sistema periférico são indiretamente abordados na obra de Moscovici. A elucidação destes termos, conforme destacado por Hilger e Moreira (2012), Sierra (2011) e Maturano e Mazzitelli (2016), é uma contribuição de outros psicólogos sociais que continuaram e ampliaram o trabalho de Moscovici, sobretudo do psicólogo francês Jean-Claude Abric (1941-2012), o qual escreve que:

É a existência desse duplo sistema que permite entender uma das características essenciais da representação social que poderia parecer contraditória: são às vezes estáveis e móveis, rígidas e flexíveis. Estáveis e rígidas porque são determinadas por um núcleo central profundamente ancorado no sistema de valores compartilhado pelos membros do grupo; móveis e flexíveis porque são alimentados por experiências individuais e integram a vivência e a situação específica, a evolução das relações e das práticas sociais nas quais os indivíduos ou os grupos estão inseridos (ABRIC, 2001, p. 27).

A ideia de núcleo e periferia de uma RS é extremamente útil pela possibilidade de visualizar, ainda que de forma simplificada, uma representação de um grupo. Nesse sentido, Moscovici enfatiza que as representações são “entidades quase tangíveis” (MOSCOVICI, 2015, p. 10). No momento em que é possível, para quem utiliza a TRS, identificar núcleo e periferia, então de maneira muito clara a representação assume essa natureza quase tangível. Moscovici enfatiza que as representações circulam, se entrecruzam e se cristalizam continuamente através de uma palavra, gesto, ou reunião, em nosso mundo cotidiano. Assim, poder-se-ia inferir que uma representação se forma para um dado assunto da Física, por exemplo, com palavras como “Quântica” ou “Plasmas”, sendo cruciais para a elaboração de uma RS. As expressões que se relacionam mais diretamente com esses termos no grupo serão o núcleo central, são as ideias mais arraigadas e de mais difícil modificação. Além do mais, quando há uma mudança brusca no núcleo, Moscovici indica que a representação antiga é abandonada e se dá a formação de uma nova representação. No contexto da sala de aula, por exemplo, quando se introduz um objeto de estudo completamente novo, o mais correto é entender que surge uma nova representação. Já quando se está abordando um assunto já bem conhecido, entende-se que há uma modificação na antiga representação.

Quanto ao local de surgimento das representações, Moscovici enfatiza que existem dois universos, os universos consensuais e reificados, que substituem as noções que se tinha na sociologia de Ciência sagrada e profana. Ele destaca que “é facilmente constatável que as ciências são os meios pelos quais nós compreendemos o universo reificado” (MOSCOVICI, 2015, p. 52). O universo reificado se apresenta como todo o conjunto de representações bem estabelecidas, compreendendo tudo aquilo que é tomado ou entendido como fato científico. Este universo não está sujeito ao contexto nem às individualidades do grupo, a identidade é deixada de lado. O universo consensual compreende os saberes que são modificados ao longo do tempo por grupos sociais, transformando os diferentes tópicos do universo reificado, em termos e

linguagem acessíveis ao grupo, formando um universo consensual com o uso de representações sociais. Assim, Moscovici defende que a TRS permite uma análise e entendimento sobre a formação de universos consensuais, muitas vezes distantes do universo reificado, como é o caso, por exemplo, do misticismo quântico frente à Física Quântica. Acrescenta ainda, que o papel de levar indivíduos a formação de representações alinhadas com o universo reificado é o que denomina de ideologia:

Ao mesmo tempo, nós vemos com mais clareza a natureza verdadeira das ideologias, que é de facilitar a transição de um mundo a outro, isto é, de transformar categorias consensuais em categorias reificadas e de subordinar as primeiras às segundas (MOSCOVICI, 2015, p. 53).

Dada a formação de representações sociais no universo consensual que se distanciam do universo reificado, Moscovici destaca que, na sociedade, “a finalidade de todas as representações é tornar familiar algo não familiar, ou a própria não familiaridade” (MOSCOVICI, 2015, p. 54). Assim, entende-se que, conforme enfatizado por Hilger e Moreira (2012), o fenômeno do misticismo quântico é visto como a tentativa de transformar algo não familiar, a Mecânica Quântica, em algo familiar. Além disso, sempre que um material ou objeto de estudo que pretende ser representativo de algo comum, mas contendo características incomuns, ou seja, não familiares ao grupo, tais características incomuns sofrerão naturalmente modificação no sentido de aproximação com aquilo que for familiar. Certamente, a tendência de utilizar termos da Física Clássica em contextos de Física Quântica pode aqui ser tomada como exemplo. Além disso, Moscovici destaca que a própria ciência possui uma natureza que contribui para a formação de universos consensuais, pois “o objetivo da ciência é tornar o familiar não familiar em suas equações matemáticas” (Ibid., p. 59).

Entretanto, Moscovici alerta que nem sempre é simples transformar termos não familiares, ideias ou seres, em palavras usuais, próximas e atuais, que pode ser encarado como um dos muitos desafios dos educadores na introdução de qualquer novo conteúdo. Para que se tenha uma feição familiar, é preciso pôr em funcionamento os dois processos básicos que geram as RS: ancoragem e objetivação.

- *Ancoragem*: mecanismo que transforma novas ideias, estranhas e que podem ser perturbadoras, em termos mais familiares. Assim, por exemplo “uma pessoa religiosa tenta relacionar uma nova teoria, ou comportamento de um estranho, a uma escala religiosa de valores” (MOSCOVICI, 2015, p. 60), o que remete às teses de diálogo ou de integração entre ciência e religião

(BAGDONAS; SILVA, 2015). Em síntese, ancorar é classificar e dar nome a algo. Aquilo que não pode ser classificado e que não for tornado em familiar, não existe para o grupo.

- *Objetivação*: mecanismo que trata da formação de imagens pelo grupo, transformando algo que antes era abstrato em algo concreto. A objetivação da figura divina é um exemplo, onde pessoas religiosas comparam “Deus com um pai e o que era invisível, instantaneamente se torna visível [...], como uma pessoa a quem nós podemos responder como tal” (MOSCOVICI, 2015, p. 72). Alguns conceitos não permitem a formação direta de imagens, a Física Quântica é repleta destes, então as imagens se mesclam formando o que Moscovici denomina núcleo figurativo, que se trata de um conjunto de imagens, ou “um complexo de imagens que reproduzem visivelmente um complexo de ideias” (Ibid., p. 72). Com a objetivação, “a imagem de um conceito deixa de ser um signo e torna-se uma réplica da realidade” (Ibid., p. 74), onde há novamente a convencionalização da realidade.

Vale ressaltar que, à medida um objeto social é ancorado na formação de uma RS e posteriormente objetivado, esse objeto torna-se real para o grupo. Para isso acontecer, é necessário também que o objeto seja rotulado como importante e interessante. Nesse sentido, os integrantes de um grupo

estão, conforme William James [filósofo do pragmatismo], interessados na realidade prática, a realidade para nós mesmos; e, para se conseguir isso, um objeto deve não apenas aparecer, mas ele deve parecer tanto *interessante* como *importante* (MOSCOVICI, 2015, p. 53, grifo do autor).

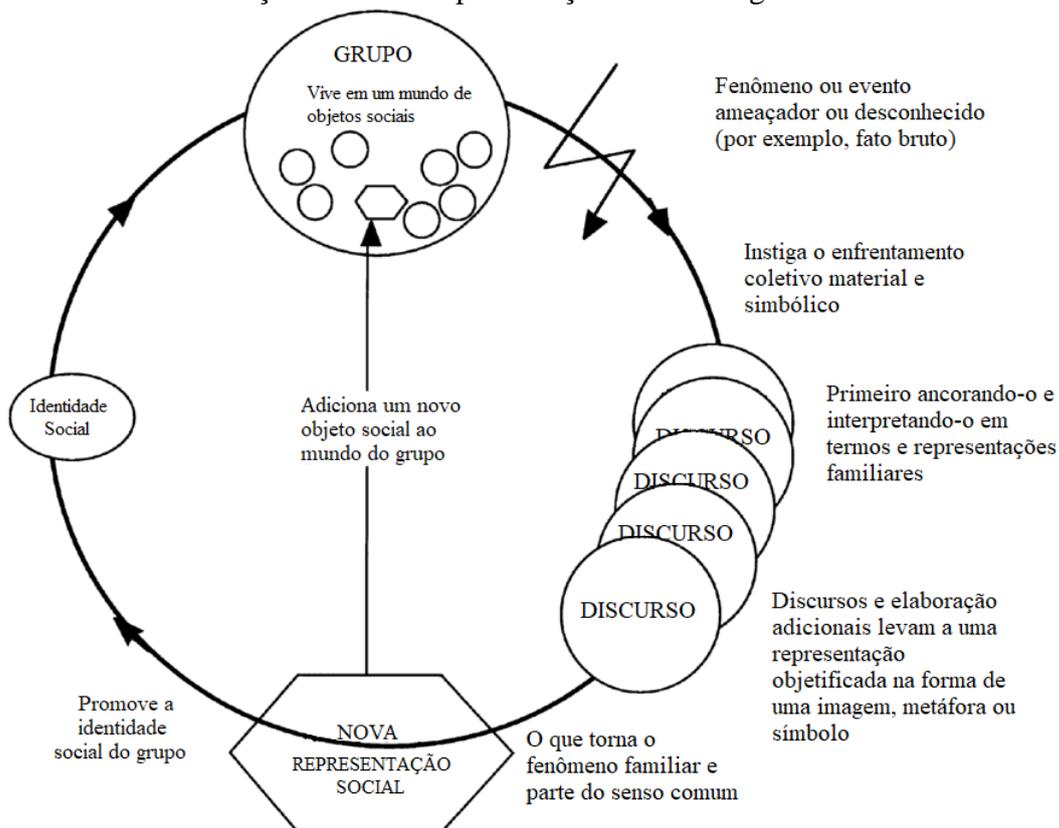
Assim, os objetos, que podem ser entendidos como um dado tópico de estudo, como a Física Quântica, não deve apenas ser apresentado, supondo-se que assim uma correta representação social se formará naturalmente, alinhada com o universo reificado. O objeto deve ser interessante e importante, caso contrário o grupo o trata negativamente, o rotula como irreal, pois não faz parte do universo consensual, de forma que o objeto pode ser real para outros, mas não será real para o grupo.

Desta forma, Moscovici defende que a TRS toma como ponto de partida a diversidade dos indivíduos, atitudes e fenômenos, em toda sua imprevisibilidade. O

objetivo da teoria é descobrir como os indivíduos e grupos podem construir um mundo estável e previsível a partir desta diversidade. Identifica-se então que a construção da RS se dá pelos mecanismos de ancoragem e objetivação, mantém-se pelas funções de convencionalização e prescrição, obtendo legitimidade para a formação de novos objetos sociais a partir do discurso, do diálogo entre os integrantes. Estes aspectos da psicologia social fundamentada na TRS podem ser sintetizados na imagem da figura 11, ou de certa forma ainda:

Resumindo, o campo da psicologia social consiste de objetos sociais, isto é, de grupos de indivíduos que criam sua realidade social (que é, na realidade, sua única realidade), controlam-se mutuamente e criam tanto seus laços de solidariedade como suas diferenças. Ideologias são seus produtos, a comunicação é seu meio de intercâmbio e consumo, a linguagem é sua moeda (MOSCOVICI, 2015, p. 160).

Figura 11: Um esquema que ilustra o processo de aquisição de conhecimento, na formação de novas representações sociais segundo a TRS.



Fonte: Wagner, Duveen, Jovchelovitch, Lorenzi-Cioldi, Marková e Rose (1999, modificada).

A imagem da figura 11, modificada para o português pelo autor desta dissertação, apresenta um esquema simplificado do processo e das consequências da formação de uma representação social. O esquema é lido no sentido horário a partir do

topo, tendo sido elaborado por alguns psicólogos sociais, como por exemplo Duveen, que escreveu a Introdução e traduziu a obra de Moscovici que compõe nossa análise. Destaca-se a importância do discurso para formação de uma nova RS, com o material simbólico sendo entendido como os conceitos-chaves presentes na formação de uma representação, a ancoragem e a objetivação.

Destaca-se também, em um levantamento das primeiras pesquisas sociais realizadas em RS (MOSCOVICI, 2015), a presença de alguns temas metodológicos comuns e ligações com outras ciências sociais. Moscovici afirma que “seja qual tiver sido o objetivo específico das pesquisas, elas compartilham, contudo, os quatro princípios metodológicos seguintes” (Ibid., p. 89):

- a) *Obter o material de amostras de conversações normalmente usadas na sociedade:* dada a importância tantas vezes repetidamente enfatizada da conversação na TRS, é clara a importância deste princípio. Ele enfatiza que em ambientes onde os indivíduos se sintam mais à vontade, como salões, cafés, etc. são os mais propícios para se observar a emergência de novos significados, que podem resultar em ancoragem. É um desafio constante ao professor tornar a sala de aula um ambiente agradável, para que esse princípio metodológico possa ser seguido.
- b) *Considerar as representações sociais como meios de recriar a realidade.* Moscovici ressalta que “antes de entrar, pois, em um estudo específico, devemos averiguar as origens do objeto e considerá-lo como uma obra de arte e não como matéria-prima” (MOSCOVICI, 2015, p. 90). O objeto a ser analisado no grupo certamente sofrerá modificações, cabe garantir que as modificações na formação de um universo consensual sejam direcionadas sempre em uma aproximação com o universo reificado.
- c) *Que o caráter das representações sociais é revelado especialmente em tempos de crise e insurreição.* Quando um grupo, ou um objeto relevante para este, está em um processo de mudança, então “as pessoas estão, então, mais dispostas a falar, as imagens e expressões são mais vivas, as memórias coletivas são excitadas e o comportamento se torna mais espontâneo” (MOSCOVICI, 2015, p. 91).

d) *Que as pessoas que elaboram tais representações sejam vistas como algo parecido a “professores” amadores e os grupos que formam como equivalentes modernos daquelas sociedades de professores amadores que existiam há mais ou menos um século.* Uma vez que se tenha destacado a importância da comunicação, é evidente que em grupos existem aqueles indivíduos que são mais comunicativos. Geralmente estes acabam expondo suas ideias e influenciando os demais, são vistos então como professores amadores neste sentido. Vale ressaltar também que muitas pessoas influentes nas redes sociais também podem ser assim caracterizadas, muitas vezes contribuindo para a formação de uma RS que destoa grandemente do universo reificado.

Moscovici ainda destaca algumas características de cunho epistemológico quanto à Psicologia Social de maneira geral, que perpassa todas as vertentes deste campo de estudo. Ele afirma que “devemos admitir que a psicologia social não é realmente uma ciência” (MOSCOVICI, 2015, p. 128). A Psicologia Social, defende, não pode ser tomada como uma disciplina, como um campo de interesse unitário, um referencial sistemático, um corpo conciso de saberes, ou mesmo um conjunto comum de perspectivas por todos que a praticam. Moscovici defende que a psicologia social é ainda uma proto-ciência, consiste em um movimento de pesquisa e metodologia “que periodicamente atrai um conjunto de interesses diversos que, algumas vezes, conseguem enriquecê-las de maneira nova e inesperada” (Ibid., p. 128). De forma semelhante como foi elucidado em Lessl (2018), é preciso estar atento, contudo, para não cair nas armadilhas dos critérios de demarcação entre ciência e não ciência. Ele enfatiza que nem os métodos, nem as linguagens formais, garantem o caráter científico de coisa alguma e nem tudo em Ciência adquire o caráter de científico. Muitas teorias demoram anos para serem aceitas pela comunidade, então “por que deveríamos nos desesperar”? (Ibid., p. 133). Ele ressalta que a TRS pode em breve adquirir um caráter científico, com a devida persistência e criticidade de seus colaboradores, em uma perspectiva que remete a epistemologias da ciência muito difundidas, uma vez que, como o físico e filósofo da ciência, Mario Bunge afirma,

o sociólogo que desespera de jamais conseguir apresentar teorias comparáveis em exatidão com as teorias físicas, receberá consolo e estímulo se pensar que no tempo de Galileu, a física era tão imprecisa quanto possível - apenas estava na trilha certa: ela construíra para si mesma o método correto. Este método, que se tornou eventualmente o método da ciência, é o adotado pela sociologia matemática contemporânea: mistura audácia especulativa com exigente comprovação empírica (BUNGE, 1974, p. 52).

Defende Moscovici, então, que a TRS pode se encaminhar para ser um conhecimento científico, contudo, não será pela mera acumulação de fatos, pois, mencionando Poincaré, afirma que “um acúmulo de fatos não constitui uma ciência, assim como um monte de pedras não se torna uma casa” (MOSCOVICI, 2015, p. 145). Enfatiza que quando um conceito ou modelo é proposto, ele deve ser avaliado em termos de sua utilidade, quando aos fenômenos que ele pode prever e sobre os experimentos que ele sugere. Nesse sentido, esclarece que

a exigência essencial é ter novas ideias que possam ser esquematizadas ou desenvolvidas. Não há a necessidade de se procurar imediatamente e a todo custo uma validação empírica ou esperar até que alguém seja guiado por dados experimentais. Como Novalis escreveu; ‘Se a teoria precisa esperar pelo experimento, ela nunca verá a luz do dia’ (MOSCOVICI, 2015, p. 145).

Assim, ele compara a TRS como a teoria flogística que explicava a combustão e serviu como base para os estudos de Lavoisier, defendendo assim que a teoria do flogisto foi útil na química, uma vez que tenha defendido processos centrais do empreendimento científico, servindo como guia para a pesquisa, forçando cientistas a interagir, adquirindo uma linguagem comum que caracteriza os empreendimentos científicos. Embora a teoria do flogisto não seja mais aceita hoje, não se pode retirar dela seu caráter científico, como destacado por Moscovici, da mesma maneira que teorias e campos de conhecimento da Física que foram substituídos por novas teorias não perdem seu caráter científico. Outrossim, apesar de tudo o que os críticos da psicologia social podem sugerir, Moscovici enfatiza que a TRS tem se mostrado suficiente clara e precisa para guiar um crescente corpo de pesquisa. Ele defende que, de um ponto de vista diverso, pode-se argumentar que a pesquisa em representações sociais tem contribuído tanto quanto qualquer outro trabalho em psicologia social para uma melhor compreensão de amplo espectro de fenômenos sociais, “tais como entendimento público da ciência, ideias populares sobre saúde e doença, concepções de loucura, ou o desenvolvimento de identidade de gênero para nomear alguns poucos” (MOSCOVICI, 2015, p. 25). Sobre as considerações sobre a natureza científica de uma teoria, realça

que o objetivo de uma teoria científica deve ser o conhecimento através da ação, juntamente com uma ação através do conhecimento, conciliando assim, teoria e prática, ou incentivo à atividade prática. Esse objetivo pode ser alcançado através da matemática, experimentação, observação ou reflexão histórica e científica. Por fim, em uma concepção bastante popperiana, de que conjecturas necessitam ser passíveis de refutação (POPPER, 1982), ressalta que “todas as ciências verdadeiramente bem-sucedidas conseguiram produzir verdades perigosas, pelas quais elas lutaram e cujas consequências elas previram” (MOSCOVICI, 2015, p. 166). Assim, uma ciência perigosa, em termos de Moscovici, seria uma ciência que pode ser refutada. A teoria da relatividade, por exemplo, correu esse risco, pois se os resultados da observação do eclipse solar de 1919 empreendida por Eddington tivessem sido diferentes das previsões de Einstein, possivelmente a teoria geral da relatividade já teria sido descartada naquele mesmo momento. A teoria passou no teste de refutação, tendo assim conseguido sua primeira e importante validação. Assim, uma teoria verdadeiramente científica é aquela que corre o risco de ser refutada, que é uma teoria perigosa e “é por isso que a psicologia social não poderá alcançar a verdadeira ideia de uma ciência, a não ser que ela também se torne perigosa” (Ibid., p. 166).

Por fim, Moscovici ainda aborda alguns temas problemáticos, os quais chama de escândalos do pensamento social e que podem ser estudados com o uso da TRS. Para notar essas questões, destaca, basta olhar para publicações populares para, então, perceber a quantidade de pessoas que lê seus horóscopos, consulta pessoas que curam pela fé, ou ainda que consome remédios miraculosos, com livros que tratam desse tipo de assunto conseguindo um número de leitores maior que qualquer texto acadêmico. Moscovici enfatiza que estes dados sintetizam que “a maior parte das pessoas prefere explicações populares a explicações científicas [...], as pessoas aceitam acima de tudo aqueles fatos ou percebem aqueles comportamentos que confirmam suas crenças habituais” (MOSCOVICI, 2015, p. 168). E os indivíduos procedem assim, mesmo quando a experiência mostra que a crença habitual está errada ou equivocada e quando a razão mostra que é um absurdo seguir com algumas crenças. A questão que Moscovici tentar responder, portanto, é porque razão as pessoas pensam tão naturalmente e constantemente de maneira não lógica e não racional. Ele defende que as faculdades de cada indivíduo de percepção e observação do mundo externo são capazes de produzir conhecimento verdadeiro, enquanto fatores sociais provocam distorções e desvios nas

crenças e nos conhecimentos do mundo nos indivíduos. Ou ainda, de maneira mais clara, “assume-se que as pessoas se comportam de maneira correta e racional quando sozinhas, mas tornam-se imorais e irracionais quando agem em grupo” (Ibid., p. 170). Um exemplo claro disso, é o fenômeno denominado por economistas (KAHNEMAN, 2012) e sociólogos como *risky shift*, em que se identifica que os grupos geralmente se inclinam para soluções de mais risco do que os indivíduos. Assim, dado que o escândalo do pensamento social surge sempre pela interação dos indivíduos e que não há como escapar disto, uma vez que todo grupo em algum momento interage, Moscovici alerta que há a necessidade de utilizar uma teoria que analise tanto aspectos psicológicos como sociais, com a utilização de ferramentas metodológicas próprias para isso, o que constitui uma importância fundamental da Psicologia Social fundamentada na TRS.

Vale destacar ainda, sobretudo quanto à concepção de Moscovici na compatibilidade entre ciência e crenças religiosas, ou quaisquer ideias e saberes que possam ser conflitantes, que ele destaca a importância de um conceito da psicologia cognitiva, que mesmo em se utilizando a psicologia social como referencial de análise, é válida a nível individual e também grupal. Como já fora destacado em Falade e Bauer (2019), a hipótese da polifasia cognitiva propõem que ciência e qualquer outra forma de conhecimento podem coexistir formando uma pluralidade de modos de pensamento, compartilhada pelo senso comum. Por causa deste compartilhamento, que implica em convencionalização, a polifasia é conceito também possível na psicologia social. Em verdade, Moscovici (2015, p. 334) enfatiza que esta hipótese garante que “nossa tendência em empregar maneiras de pensar diversas e até mesmo opostas – tais como as científicas e religiosas, [...] – é uma situação normal da vida cotidiana e na comunicação”.

Assim, assume-se essa tendência em empregar maneiras de pensar diversas e até mesmo opostas. Este é um assunto que é objeto de estudo na psicologia e na sociologia. Mas há que se ter um cuidado: o assunto pode ser estudado, mas promover maneiras de pensar diversas e até mesmo opostas não é um objetivo do fazer científico. De fato, esta certamente não é a defesa de Moscovici (2015), ele alerta a que se esteja atento ao fato de que formas distintas de pensar podem coexistir na estrutura cognitiva de um indivíduo, ou na representação de um grupo, de forma que incentiva a discussão de formas de conciliação entre os modos de pensamento.

Não obstante, enfatiza que a polifasia, conceito bem aceito em psicologia cognitiva, coloca em xeque a ideia básica defendida por muitos psicólogos de que a vida mental dos indivíduos é uma única unidade lógica. Moscovici alerta que isto é um desiderato, não é um fato, e, portanto, um erro comum em psicologia cognitiva. Além disso, enquanto seres polifásicos, os indivíduos são influenciados por três elementos – contexto, normas e fins – quando se dá preferência a uma forma de pensamento em relação a outra. Dependendo do contexto, quando em um encontro religioso, por exemplo, pode ser racional dar preferência para o pensamento religioso, não adotando grande rigor científico, uma vez que o ambiente possui certas normas e almeja certos fins, que são diferentes de um ambiente acadêmico. Falade e Bauer (2019) utilizam uma analogia clara, comparando a polifasia com o ser poliglota.

3.1.1 Comparação com os esquemas de pensamento de Kahneman

Entende-se que a formação das representações sociais na teoria de Moscovici (2015) deve estar ligadas a funções bem estabelecidas na estrutura cognitiva dos membros de um grupo social. Nesse sentido, abordamos o trabalho de Daniel Kahneman (2012), ganhador do prêmio Nobel em economia, por suas ideias de integração da pesquisa psicológica e ciências econômicas, especialmente em relação ao julgamento humano e à tomada de decisões sob incerteza. Na principal obra de Kahneman, *Rápido e Devagar: duas formas de pensar* (2012), encontramos que muitas vezes um determinado grupo de pessoas tendem a partilhar de pressupostos básicos sobre um tema em questão, o que influenciará a tomada de decisões e o pensamento intuitivo. Nesse sentido, Kahneman escreve que:

Meu objetivo principal é apresentar uma visão de como a mente funciona baseando-me em progressos recentes na psicologia cognitiva e social. Um dos progressos mais importantes é o de que agora compreendemos não só os prodígios como também as falhas do pensamento intuitivo (KAHNEMAN, 2012, p. 19).

Kahneman defenderá que, baseado em diversos trabalhos da psicologia, para as mais diferentes situações com que um indivíduo pode se deparar, o sistema cognitivo poderá trabalhar em algum dos dois modos de pensamento possíveis, aos quais ele denomina Sistema 1 e Sistema 2. O Sistema 1 opera automática e rapidamente, sem nenhum esforço e nenhuma percepção de controle voluntário, sendo responsável pelo

pensamento intuitivo. Por outro lado, o Sistema 2 aloca atenção às atividades mentais laboriosas que o requisitam, incluindo cálculos complexos. Segundo Kahneman (ibid, p. 29), “as operações do Sistema 2 são muitas vezes associadas com a experiência subjetiva de atividade, escolha e concentração”, de forma que o Sistema 2 se relaciona com o pensamento lento, que demanda um período de reflexão. O Sistema 1 funciona automaticamente e o Sistema 2 está normalmente em um modo de pouco esforço, em que apenas uma fração de sua capacidade está envolvida. O primeiro gera continuamente sugestões para o segundo, como impressões, intuições, intenções e sentimentos. Se endossadas pelos Sistema 2, impressões e intuições podem acabar se tornando crenças.

Como uma situação que Kahneman utiliza, para exemplificar a utilização dos sistemas de pensamento, tem-se o seguinte problema; “ 17×24 ”. Rapidamente se associa que este é um problema de multiplicação, passível de ser resolvido com papel e lápis, quando não mentalmente. Também se tem um vago conhecimento intuitivo do leque de resultados possíveis. Certamente “se admitiria que tanto 12.609 como 123 são implausíveis” (Ibid., p. 28). Esses eventos, automáticos e involuntários, fazem parte do Sistema 1. Este sistema fornece as impressões que muitas vezes se transformam em crenças e é a fonte dos impulsos que muitas vezes se tornam em escolhas e ações. Por outro lado, é apenas com um processo de trabalho mental deliberado, laborioso e ordenado que será possível chegar à resposta para diversas questões, o que caracteriza o Sistema 2. Além disso, Kahneman indica que o sistema 1 é formado por pensamentos automáticos que apresentam uma estrutura rígida e não sujeita ao contexto imediato, o que é diferente para o Sistema 2, que, constituindo os pensamentos não imediatos e que permitem reflexões, “monitora e controla pensamentos e ações ‘sugeridas’ pelo Sistema 1” (Ibid., p. 58), permitindo alguns comportamentos ou suprimindo e modificando outros.

Um tema importante para a atividade didática é referente ao controle da atenção para exercer uma atividade. Defende-se que o controle da atenção é compartilhado pelos dois sistemas. Contudo, o Sistema 2 tem “alguma capacidade de mudar o modo como o Sistema 1 funciona programando as funções normalmente automáticas da atenção e memória” (Ibid., p. 32). O Sistema 1 seria o responsável pela perda de atenção, uma vez que é involuntário e, portanto, o responsável pela alocação da atenção às distrações do ambiente, por mais que o Sistema 2 tente dirigir a atenção a um objeto específico.

Assim, Kahneman enfatiza que a expressão *pay attention* (prestar atenção, com *pay* dando a ideia de pagamento) representa bem a ideia de controle da atenção. Cada indivíduo dispõe de um orçamento de atenção limitado para realizar atividades e, se tentar ir além deste orçamento, fracassa. Uma característica das atividades que exigem esforço e atenção, é que elas interferem uma na outra, razão pela qual é difícil ou às vezes impossível conduzir várias delas ao mesmo tempo. Da psicologia cognitiva, Kahneman utiliza um conceito que associa o estado de atenção sem esforço, ou com pouco esforço, o conceito de fluxo (*flow*). O estado de fluxo representa uma situação em que atividades que necessitam de grande esforço mental podem ser realizadas, na verdade, com pouco esforço. As pessoas que experimentam este fluxo, entram em um “estado de concentração sem esforço tão profundo que elas perdem a noção de tempo, de si mesmas, de seus problemas” (Ibid., p. 54). Quando em uma situação de fluxo, diz-se que o indivíduo está em uma experiência ótima (*optimal experience*) e muitas atividades podem induzir à sensação de fluxo, como ler um livro, assistir um filme ou participar de uma corrida, sendo experiências ótimas para alguns. Em uma atividade de fluxo, Kahneman enfatiza que “manter a atenção concentrada nessas atividades absorventes não exige empenho do autocontrole” (Ibid., p. 54). Assim, poder-se-ia inferir que a atividade didática deve, em certa medida, procurar fornecer aos estudantes situações de fluxo, com objetos de estudo que sejam interessantes e importantes (MOSCOVICI, 2015).

No que remete à formação de representações, o autor aponta que “indivíduos mais inteligentes apresentam maior probabilidade do que outros de guardar representações” (KAHNEMAN, 2012, p. 61). Contudo, enfatiza que inteligência não deve ser entendida apenas como a capacidade de raciocinar; é também a capacidade de encontrar material relevante na memória e mobilizar a atenção quando necessário. A função da memória imediata é atribuída ao Sistema 1, mas o grau de checagem e busca deliberada é uma característica do Sistema 2, que varia de indivíduo para indivíduo.

O fato de os Sistema 1 e 2 existirem e serem diferentes para cada pessoa, reforça a noção de *polifasia* mencionada por Moscovici (2015). De fato, Kahneman enfatiza que os indivíduos possuem algo como “mentes separadas” (KAHNEMAN, 2012, p. 64). Uma dessas mentes, a qual chama de algorítmica e que estaria englobada no Sistema 2, lida com pensamentos lentos e cálculos exigentes. Algumas pessoas são melhores do que outras nessas tarefas de capacidade cerebral, se destacam em testes de inteligência e

são capazes de passar de uma tarefa para outra de modo rápido e eficiente. Entretanto, mencionando alguns trabalhos de psicologia, como de Keith Stanovich, argumenta que inteligência elevada não torna as pessoas imunes a vieses e, portanto, a erros ou enganos. Além disso, uma vez que se aceita a noção de mentes separadas, os psicólogos pensam nas ideias como nódulos em uma vasta rede, a qual é denominada *memória associativa*, em que cada ideia está ligada a muitas outras. Kahneman enfatiza que existem técnicas de medição do pensamento associativo, ele esclarece que:

Até poucas décadas atrás, o único modo de estudar associações era fazer a muitas pessoas perguntas como: “Qual é a primeira palavra que vem à sua mente quando você escuta a palavra ‘dia’?” Os pesquisadores registravam a frequência das respostas, como “noite”, “ensolarado” ou “longo”. Na década de 1980, os psicólogos descobriram que a exposição a uma única palavra causa mudanças imediatas e mensuráveis na facilidade com que muitas palavras relacionadas podem ser evocadas (KAHNEMAN, 2012, p. 69).

Nesse sentido, argumenta, as palavras evocadas apresentam certa relação entre si, e tal efeito é denominado *priming* (traduzido como preparação, mas também pode ser entendido como evocação ou ainda estímulo, dependendo do contexto). Os efeitos *priming* assumem diversas formas, e “as ideias evocadas têm certa capacidade de evocar outras ideias, embora mais fracas” (Ibid., p. 69). Assim, entende-se que a evocação de palavras, o *priming effect*, pode ser útil como ferramenta metodológica para mapear uma representação social, enquanto técnica guiada pelos princípios metodológicos da Teoria da Representação Social (MOSCOVICI, 2015), uma vez que Kahneman aborda esse efeito sem grande preocupação, como a construção de uma rede de evocação de um grupo, mas preocupa-se com a cognição individualmente. Uma aproximação da ideia de *prime* com a de Representações Sociais, refere-se ao fato de Kahneman constatar que o *priming* pode afetar a ação ou atitudes individuais mesmo que não se tenha consciência do efeito em questão. Assim também o é para com a representação no grupo, os indivíduos são influenciados e guiados por ela, a estabelecendo no diálogo, embora não haja consciência da existência de uma representação. Com isso, entendemos que as ideias de Daniel Kahneman sobre sistemas de pensamento e sobre o efeito *priming* podem em muito contribuir sobre um entendimento mais profundo sobre as representações sociais, dado também as semelhanças entre os sistemas de pensamento e os sistemas nucleares e periféricos das representações sociais na teoria de Serge Moscovici (2015).

3.2 Referencial Epistemológico

Dedica-se esta seção à análise de tópicos sobre Epistemologia da Ciência em obras do físico e filósofo Paul Karl Feyerabend. A principal obra que constitui base para nossa análise é *Contra o Método* (2011a). Para esclarecimento de algumas questões específicas foram consultadas também *A Ciência em uma Sociedade Livre* (2011b), *Adeus à Razão* (2010), *A Conquista da Abundância* (2006), *Ciência, um Monstro: Lições Trentinas* (2017), *Estructura y desarrollo de la ciencia* (1984) e uma obra de um aluno de Feyerabend que analisa em detalhe o conceito da incomensurabilidade, Hoyningen-Huene: *Kuhn, Feyerabend e Incomensurabilidade* (2012). Estes textos trazem esclarecimentos diversos sobre a visão de ciência do filósofo e foram consultados com intuito de enriquecer a discussão sobre os pilares desta epistemologia apresentados originalmente em *Contra o Método* (2011a).

3.2.1 Por que falar de Epistemologia?

Quando é abordado o termo *Epistemologia*, tem-se em mente abordar aspectos da natureza da Ciência, como esta se desenvolve, quais regras segue e como pode-se classificá-la, identificando conceitos e teorias que podem adquirir o *status* de científico. Na medida em que se estuda como a Ciência se desenvolve, é natural abordar sua relação com outras áreas de estudo, uma vez que, por exemplo, muitas das questões que a ciência procurava resolver surgiram de discussões metafísicas, religiosas, ou ainda, interesses econômicos e políticos, de forma que “ensinar ciência como um solilóquio no qual a ciência fala sozinha e evolui apenas pela autocrítica é empobrecer a disciplina”. (MATTHEWS, 1995, p. 195), além de se estar apresentando um desserviço histórico, uma vez que a ciência, como atividade humana, esteve e está sujeita aos interesses daqueles que a elaboram. Max Jammer (1984) atenta para essa questão, destacando, entre outros fatores, a influência da filosofia na física. Ele defende que durante as mudanças críticas no fundamento de qualquer teoria em Física, a intervenção da filosofia se faz necessária. O desenvolvimento de algumas ideias fundamentais em Física clássica ilustra essa questão. Baseadas em princípios newtonianos, diversas áreas, como a mecânica analítica de Lagrange ou o eletromagnetismo de Maxwell, estabeleceram uma descrição mecânica do mundo. Pereira e Silva (2017), por exemplo, destacam que Maxwell representava o éter como um meio constituído de células como uma colmeia, com vórtices que se interligavam por esferas intermediárias, lembrando

pequenas engrenagens. Jammer (1984) destaca que nessa época se difundiu a ideia da física como uma disciplina verdadeiramente científica, separando-a completamente da noção de *Filosofia Natural* a qual esteve ligada, uma vez que a descrição mecânica do mundo se transformou em um dogma, dando a noção de autossuficiência da Física, sem a necessidade de uma interpretação filosófica. Quando este modelo se deparou com diversas crises, uma revisão de seu sistema metodológico e conceitual foi necessária, “processo este que envolve considerações epistemológicas e, frequentemente, também considerações ontológicas” (JAMMER, 1984, p. 116, tradução nossa), uma vez que com a adição de novos conceitos físicos, gradativamente se vê o mundo de uma forma diferente. Jammer (1984) destaca então que a relação da Física com o pensamento filosófico acontece frequentemente, com o advento da Física Moderna sendo um claro exemplo, onde a visão de mundo é novamente modificada, com a introdução de conceitos totalmente novos, com a Quântica e com a Relatividade. Assim, entende-se que o cientista não necessita ter sempre em mente os aspectos da epistemologia da ciência para prosseguir com suas atividades, contudo, em uma atividade didática não se deve ignorar tais aspectos, para que se possa passar uma visão correta e abrangente do desenvolvimento científico.

Além disso, a Epistemologia como estudo da natureza ou origem do conhecimento científico é esclarecida pela etimologia do termo. A palavra ciência tem sua origem etimológica no latim *scientia*, que significa “conhecimento”. O termo epistemologia tem origem no grego, *epistéme*, o qual significa também conhecimento. Já *logos*, também tendo origem no grego, significa teoria, ou estudo. Dessa forma, o termo *Epistemologia* é entendido como o estudo da natureza do conhecimento, e *Epistemologia da Ciência*, sem redundâncias, pode ser entendido como o estudo da natureza do conhecimento científico, “dizendo-se que visa estudar criticamente a natureza, os princípios, a justificação, a validade e o alcance da ciência, ou seja, uma Filosofia da Ciência” (MASSONI, 2010, p. 66). A discussão acerca da existência ou não de um método científico, discussão esta que os epistemólogos costumam fazer em seus escritos, é uma discussão puramente epistemológica. Além disso, epistemologia pode apresentar também uma vertente para a psicologia, pois pode se relacionar com o estudo na natureza do conhecimento cognitivo. Por essa razão que se fala em, por exemplo, Epistemologia Genética, que é um dos mais importantes trabalhos de Piaget (1970), em que o autor se preocupa em como o ser humano aprende, como constrói conhecimento.

O campo de estudo sobre Epistemologia da Ciência recebeu grande atenção e diversas contribuições a partir do século XX, com o advento da Física Moderna, quando a ideia de existência de um *Método Científico indutivo* foi questionada inicialmente pelo filósofo austríaco Karl Popper (POPPER, 1982). Sua crítica inicial recaiu sobre o empirismo lógico e o indutivismo ingênuo. Popper eleva a Física a um patamar mais alto, colocando-a como verdadeira ciência em oposição às pseudociências, como o Marxismo, segundo o critério de demarcação por ele desenvolvido (POPPER, 1982). Após Popper, diversos filósofos e físicos dedicaram-se à discussão sobre estes aspectos da ciência, inclusive com críticas à Popper. Entre eles há um notório austríaco, astrofísico e aluno de pós-doutorado de Popper, Paul Feyerabend, que ficou conhecido por discutir criticamente a visão de supremacia científica das áreas exatas, colocando a ciência em uma posição de igualdade com outras formas de conhecimento. Feyerabend destaca que, evidentemente, a ciência contribui para o desenvolvimento humano em diversas áreas, contudo defende que em uma sociedade democrática, ela não deve ser imposta sobre as outras culturas e formas de ver o mundo.

Assim, observa-se que as ideias de Feyerabend podem contribuir em uma situação didática que se pretenda abordar, por exemplo, a relação entre ciência e religiosidade, pois constitui uma defesa da Tese do Diálogo entre ciência e religião (BAGDONAS; SILVA, 2015). Destaca-se também, uma vez que Feyerabend possuía formação em Física, a recorrente menção em suas obras a alguns conteúdos de Física, como a Física Quântica. Então, algumas de suas ideias podem igualmente auxiliar na construção de uma atividade didática sobre o tema e isto justifica sua escolha como referencial epistemológico.

3.2.2 A Epistemologia de Feyerabend

Paul Karl Feyerabend (1924-1994) foi um filósofo austríaco de Viena. Participou da Segunda Guerra Mundial, alcançando o posto de tenente no exército do Eixo, que o convocara. Foi afastado do combate por ter sido atingido por uma bala na espinha, o que o obrigou a caminhar com uma bengala pelo resto de sua vida. Apesar desse momento conturbado na vida do austríaco, logo após a guerra, em 1946, começou sua carreira acadêmica, quando resolveu cursar história. Feyerabend tem um começo no meio acadêmico interessante, pois é como uma caricatura de jovens que se apaixonam por diversas áreas e acabam querendo experimentar um pouco de tudo. Feyerabend

começou na História, logo após graduou-se em Física e acabou indo para a Filosofia por acaso (MOREIRA; MASSONI, 2011), através de livros que encontrara em feiras e livrarias ou ganhara de presente. Feyerabend esclarece que “no todo, meus interesses eram difusos (ainda o são). Um livro, um filme, uma apresentação teatral ou uma observação casual podiam me mover em qualquer direção” (FEYERABEND, 1996, p. 37). Vale mencionar também que ele foi homenageado com um asteroide que leva seu nome, o asteroide (22356) *Feyerabend*, observado pela primeira vez em 1992 pelo grupo *Spacewatch*, da Universidade do Arizona⁷.

Desta forma, levado por acaso ao interesse em Filosofia, conseguiu uma bolsa para estudar com Wittgenstein, a qual não recusaria, mas que não se concretizou pela morte deste filósofo, também austríaco. Assim, foi encaminhado para outro supervisor, Karl Popper, em Londres. Feyerabend inicialmente gostava da teoria de Popper, em especial o falsacionismo, assunto dominante nos círculos filosóficos da época, porém acabaria por se mostrar insatisfeito com ela, elaborando suas teses pouco tempo depois. Sua relação com Popper é interessante, pois evidentemente este não aceitaria de bom grado as ideias anárquicas de Feyerabend. Ao levar a Popper algum de seus ensaios, teria causado uma reação única em seu supervisor:

“Não vou ler sua diatribe”, gritou Popper ao ver meus comentários sobre a sua diatribe [diatribe seria uma crítica severa] contra Bohr (ele acalmou-se quando lhe contei que muita gente reclamou do meu estilo agressivo, tendo-o atribuído à sua -de Popper- influência. “É assim?”, disse ele, sorriu e foi-se). (Ibid., p. 153).

A relação conflituosa entre Popper e Feyerabend⁸ assim se apresenta pelo posicionamento deste em relação aos principais conceitos na filosofia de Popper. Em primeiro lugar, Popper (1982) defendia que em vez da existência de um método indutivo, a ciência segue um método hipotético dedutivo, não induzindo leis gerais a

⁷ Disponível em <http://www.minorplanetcenter.net/db_search/show_object?object_id=22356>. Acesso em fevereiro, 2020.

⁸ A relação de Feyerabend com Popper é ilustrada de forma interessante em um diálogo sobre o método (1984, p. 147), onde um pesquisador (A), racionalista, entrevista Feyerabend (B): “A: O que você tem contra o racionalismo crítico? / B: Racionalismo crítico? / A: Sim, o racionalismo crítico; a filosofia de Popper. / B: Não sabia que Popper tivera uma filosofia. / A: Não pode estar falando sério. Você foi aluno dele... / B: Assisti a algumas de suas aulas... / A: E se tornou seu discípulo... / B: Isso, dizem os popperianos... / A: Você traduziu *A Sociedade Aberta* de Popper... / B: Precisava de dinheiro... [...] Popper não é um filósofo, é um professor de escola; e por isso os alemães o tem tanto em conta. De qualquer forma, os wittgensteinianos se dão conta de que minha admiração por Wittgenstein não me converte em wittgensteiniano. Mas isso nos afasta completamente do assunto...”.

partir dos experimentos, mas guiando os experimentos com base em hipóteses anteriores, em um processo dedutivo baseado no racionalismo crítico. Feyerabend é avesso ao método hipotético dedutivo, ou pelo menos, à ideia de que este é o único método seguido em ciência, enfatizando que “todas as metodologias, até mesmo as mais óbvias, têm seus limites” (FEYERABEND, 2011a, p. 47). Assim, ele se mostra contrário à existência de uma única metodologia científica. Para ele não existe *o método científico*, mas sim, diversas formas de proceder cientificamente, no que denominou *pluralismo metodológico*.

Antes de esclarecer sobre o que trata o pluralismo metodológico e no que se sustenta, é relevante abordar os objetivos do autor ao propor suas ideias. Feyerabend (2011a) esclarece que a situação sobre a origem do conhecimento levanta a questão relativa à ciência *versus* democracia; para ele esta é a questão mais importante a ser abordada, de como a ciência deve se encaixar e como deve ser a postura de um cientista em uma sociedade verdadeiramente democrática.

No prefácio à edição chinesa de *Contra o Método*, escreve: “Meu principal motivo para escrever este livro foi humanitário, não intelectual. Eu queria dar apoio às pessoas, não fazer avançar o conhecimento” (FEYERABEND, 2011a, p. 22). O trabalho do filósofo então deve ser entendido como um conjunto de ideias e pensamentos que encaminham a ciência para uma aproximação dos interesses da sociedade. De fato, essa ideia de aproximação é ressaltada ao enfatizar que o público leigo deve ter a oportunidade de participar na tomada de decisões em diversas áreas em que a ciência afeta a sociedade, “nos casos em que o trabalho dos cientistas afeta o público, este até *teria obrigação* de participar” (Ibid., p. 21, *grifo do autor*). Evidentemente o público leigo não tem a obrigação de votar aquilo que é científico ou não, contudo deve participar em tomadas de decisão que lhe afetam diretamente. Pode-se citar um exemplo simples, sobre a construção de uma usina hidroelétrica: o público em geral não possui conhecimentos científicos sobre o processo de geração de energia, porém os moradores do local onde a usina é projetada podem conhecer muito sobre o terreno, a geografia, a fauna e a flora da região, então a participação da comunidade se torna relevante. Assim, “tudo o que digo é que os não especialistas frequentemente sabem mais do que os especialistas e *deveriam, portanto, ser consultados*” (FEYERABEND, 2011a, p. 16, *grifo do autor*). Além do mais, a objeção de que

os cidadãos não têm a competência de um especialista para julgar assuntos científicos não leva em conta que problemas importantes frequentemente cruzam os limites de várias ciências, de modo que os cientistas em cada uma dessas ciências também não têm as qualificações necessárias. (FEYERABEND, 2011a, p. 318).

Dessa forma, apesar de defender tópicos como o relativismo ou o anarquismo na epistemologia, entende que essas abstrações causaram “mais mal do que bem, e [sua preocupação] é a qualidade de vida dos indivíduos” (FEYERABEND, 2010, p. 25). Mas é importante ressaltar que Feyerabend não é contra a ciência em si, ele é físico⁹ e entende que “ciência é uma das invenções mais maravilhosas da mente humana. Mas sou contra ideologias que usam o nome da ciência para o assassinio cultural” (FEYERABEND, 2011a, p. 23).

Feyerabend (2011a) propõe então a noção de *anarquismo epistemológico* como sendo a mais humanizadora forma de enxergar o desenvolvimento científico. Na verdade, ele defende que a ciência é um empreendimento essencialmente anárquico, com o *anarquismo teórico* sendo mais humanitário e mais capaz de estimular o progresso de que as demais alternativas teóricas da epistemologia que defendem lei e ordem.

O termo anarquista pode parecer um pouco pejorativo, insinuando que Feyerabend é um defensor de uma desordem e é contra o progresso científico, mas não é nada disso. Em primeiro lugar, um anarquista no “bom sentido da palavra” (MOREIRA; MASSONI, 2011, p. 105), será aquele que se opõe a um princípio único, absoluto, a uma ordem imutável e não um indivíduo que se opõe a toda e qualquer organização. Se essa ideia é aplicada à risca, nota-se que sempre é preciso certo grau de anarquismo para romper com alguma tradição vigente com a qual não se concorda. A tradição com que Feyerabend não concordava não era a ciência em si, mas as regras que, segundo ele, são desumanas. Ele enfatiza que “tenha-se sempre em mente que meus exemplos não criticam a ciência; criticam os que desejam sujeitá-las às suas regras simplórias, ao mostrar os desastres que tais regras criariam” (FEYERABEND, 2011a, p. 75). Ele se mostra modesto com suas proposições de anarquismo, defendendo que é equivocada a

⁹ O posicionamento de Feyerabend sobre a relação entre Física e Filosofia é retratado de forma interessante por Hoyningen-Huene (2012, p. 28): “Após uma ou duas aulas, penso que em 1981 ou algo próximo a isso, o abordei. Geralmente, quando você chega em um filósofo e diz ‘Bem, sabe, eu era físico’, isso soa muito bem porque as pessoas respondem ‘Ah, ele é um físico, não filósofo, que maravilha’. Então fiz assim. Aproximei-me de Feyerabend e me apresentei, ‘Meu nome é Paul Hoyningen. Sou físico que virou filósofo’. Ele rebateu: ‘Puxa, que decadência!’.”

crítica de que a falta de uma lei ou de uma ordem na ciência vá levá-la ao caos, uma vez que “o sistema nervoso humano é por demais bem organizado para que isso ocorra” (Ibid., p. 36). Mesmo sendo um defensor do anarquismo dentro da ciência, ele destaca que eventualmente certa ordem, certa racionalidade pode ser necessária e a ciência não deixará de crescer com isso. Para ele, “poderá, é claro, vir um tempo em que seja necessário dar à razão uma vantagem temporária e em que seja prudente defender suas regras a ponto de excluir tudo o mais” (Ibid., p. 36). Essa asserção parece descrever momentos de negação do pensamento racional pelos quais a ciência passa atualmente, da afirmação da pós-verdade¹⁰, com a proliferação de ideias anacrônicas, inadequadas ou interpretações intencionalmente enganosas e que atraem um elevado número de pessoas, como o Misticismo Quântico, Terra Plana, campanhas contra vacinação, entre outras, que estimulam a disseminação de variadas formas de negacionismo. Em tempos como estes, Feyerabend alerta: pode haver a necessidade de retomada da Razão.

A proliferação de ideias que estimulam certas formas de negacionismo é abordada também por David Lindley, em *Uncertainty* (2007), o qual menciona a noção de um advento do anarquismo na ciência, mas com um sentido distinto do de Feyerabend, embora com alguns pontos de concordância. O também astrofísico, doutor pela universidade de Sussex, coloca que tem se mostrado comum pelo público não acadêmico uma apropriação de termos físicos, sobretudo do “princípio de incerteza”, em meios literários e jornalísticos. Ele coloca, por exemplo, que desconstrucionistas literários insistem que um texto não tem nenhum significado absoluto ou intrínseco, mas adquire diferentes significados dependendo de quem realiza a leitura. Ele também coloca que durante diversos conflitos em que os Estados Unidos se envolveram no Oriente Médio, era comum o jargão entre alguns jornais de que “quanto mais

¹⁰ Pós-verdade é tomado aqui como um neologismo que se relaciona com a noção de verdade, mas é uma estrutura que prescinde da necessidade imediata de vinculação com o real, com o factual, com o objeto, de modo que desdenha os fatos e propaga interpretações baseadas num apelo às emoções e às crenças pessoais, e faz uso de mecanismos de persuasão. Em uma era de pós-verdade, não eventualmente as pessoas deixam de se guiar por fatos e conhecimentos científicos bem fundados, mas por aquilo que escolhem acreditar que seja verdade. No mundo da pós-verdade perde-se grandemente o reconhecimento da autoridade: “Não concordo com Einstein ou com Freud” e “acredito que a Terra é plana” são declarações cada vez mais comuns entre alunos em idade escolar, mesmo que nunca tenham lido estes autores. As conversas giram em torno de um individualismo exacerbado, cujo centro é uma autopercepção das coisas sem qualquer critério, a não ser aquilo em que se acredita, ou que se decide acreditar a partir das redes sociais. Embora pós-verdade não seja sinônimo de *fake News*, um estado de pós-verdade é um campo fértil à disseminação de *fake News*.

precisamente a mídia mede eventos individuais em uma guerra, mais embaçada a guerra parece para o observador” (LINDLEY, 2007, p. 210, tradução nossa). Esta ideia se aproxima mais da complementariedade do que do princípio de incerteza *per se*. Eventos como este são entendidos por Lindley como uma tentativa de aproximar ciências sociais e literárias, que se referem a novelas ou situações do dia a dia, de um exercício formalmente analítico, o que fora o desejo não alcançado de diversos positivistas lógicos desde o círculo de Viena. Outrossim, Lindley (2007, p. 214, tradução nossa) destaca que “foi o sonho clássico de conhecimento científico perfeito, de determinismo estrito e causalidade absoluta, que causou alarme quando extrapolado para além das fronteiras da ciência” e, uma vez que diversos campos do conhecimento falharam em aproximar seus saberes de um determinismo científico, o princípio de incerteza parece ter aberto possibilidade para essa aproximação. O pensador ressalta a opinião de alguns historiadores, de que em um universo em que a ordem se torna uma relação acidental com a natureza, sendo tudo meramente ocasional, como possivelmente indicado pelo princípio de incerteza, “finalmente resolve-se voltar ao anarquismo” (LINDLEY, 2007, p. 215, tradução nossa).

Há alguma distância do *anarquismo teórico* defendido por Feyerabend (2011a) com o anarquismo evocado por Lindley (2007), uma vez que este aborda sobretudo a ideia de um anarquismo ontológico, com respeito à natureza do universo e das medidas em Física Quântica, mas há um ponto de concordância, pois este anarquismo, que suscita aparente desordem em Física que Lindley menciona, “sugere que a ciência, apesar de todo seu maravilhoso poder e alcance, tem limites. A fria racionalidade não poderia, afinal de contas, suplantiar todas as outras formas de conhecimento” (LINDLEY, 2007, p. 215, tradução nossa). Aqui reside o apelo metafórico relacionado ao princípio de incerteza de Heisenberg, uma vez que este

não torna o jornalismo, a antropologia ou a crítica literária científicas [podem adquirir este *status* por outros meios]. Ao invés disso, nos diz que o conhecimento científico, como o nosso conhecimento geral e informal de eventos do dia a dia do mundo em que habitamos, pode ser tanto racional e proposital quanto acidental. A verdade científica é poderosa, mas não é todo-poderosa (LINDLEY, 2007, p. 216, tradução nossa).

Lindley então afirma que o medo de um anarquismo na ciência é exagerado. A ciência, mesmo com suas limitações segue uma ordem e um modelo de desenvolvimento. Em geral, Feyerabend não nega esta suposição. Para a ele, a ciência é

um empreendimento anárquico do ponto de vista *metodológico*, no sentido em que, nos diversos campos que constituem a ciência, diversas metodologias podem ser seguidas para alcançar um resultado desejado, com progresso podendo ser entendido de acordo com a metodologia adotada. Nesse sentido, ele defende que a tese do anarquismo “contribui para que se obtenha progresso em qualquer dos sentidos que se escolha atribuir ao termo” (FEYERABEND, 2011a, p. 42). Para um empirista, por exemplo, progresso significa transição a uma teoria que permita testes empíricos diretos da maioria dos pressupostos básicos. Para outros, o progresso pode significar unificação e harmonia, e Feyerabend destaca que é assim que Einstein encarava a Teoria Geral da Relatividade.

Assim, é interessante notar que a ideia de anarquismo metodológico é reforçada pelo fato de a ciência não ser uma atividade homogênea, mas um grande conjunto de grupos que realizam suas pesquisas da maneira que julgam mais adequado. A ciência “não é *uma* tradição, e sim *muitas*, e, assim, dá origem a muitos padrões, parcialmente incompatíveis” (Ibid., p. 295, *grifo do autor*). De forma mais explícita, Feyerabend defende que

quem diz que é a ciência que determina a natureza da realidade presume que as ciências têm uma única voz. Acredita que existe um monstro, a Ciência, e que quando ela fala, repete e repete sem parar uma única mensagem coerente. Nada distante da verdade. Diferentes ciências têm ideologias muito distintas. (FEYERABEND, 2017, p. 85).

Nesse sentido, ele utiliza o exemplo da Biologia Molecular em comparação com a Quântica, em que os biólogos moleculares são objetivistas em um sentido mais simples. Para estes, existem as entidades fundamentais do mundo, sejam elas diretamente observadas ou não. Contudo, esta não é a ideia oriunda da Mecânica Quântica, onde as descobertas dependem dos procedimentos. Dessa forma, as ciências são repletas de pequenos conflitos e divergências. O monstro ao qual Feyerabend chama Ciência, que fala com uma única voz, não corresponde de fato à verdadeira ciência, mas é, uma colagem, uma aberração feita por propagandistas e reducionistas que acreditam cegamente que toda a atividade científica segue uma única regra e fala a uma só voz.

Vale ressaltar que o anarquismo de Feyerabend é distante da ideia de um anarquismo ingênuo, como ele ressalta que alguns de seus críticos afirmam (FEYERABEND, 2011a e 2011b). Em primeiro lugar, o caráter limitado de todas as

regras e padrões é reconhecido pelo anarquismo ingênuo, sendo que um anarquista ingênuo diz “a) que tanto regras absolutas quanto regras dependentes de contexto têm seus limites” (FEYERABEND, 2011a, p. 294) e também “b) que todas as regras e todos os padrões são desprovidos de valor e deveriam ser abandonados. [...]. Assim, embora esteja de acordo com a), não concordo com b).” (Ibid., p. 294). O que ele sustenta, então, é que todas as regras têm seus limites, não existindo uma racionalidade abrangente, mas de modo algum defende que se deva proceder sem alguma regra ou padrão.

A ideia de que a ciência segue um desenvolvimento anárquico é baseada em uma perspectiva histórica. Feyerabend em seus diversos trabalhos analisa situações diversificadas ao longo da ciência, realizando um trabalho historiográfico de maneira a mostrar que não há uma única regra, “ainda que plausível e solidamente fundada na epistemologia, que não seja violada em algum momento” (Ibid., p. 37). Dessa forma, ele defende que, dado que qualquer regra metodológica possui limitações, o cientista nunca utiliza uma única metodologia, mas sim uma pluralidade de métodos, para cada situação. Esse procedimento, Feyerabend (2011a) denomina de *metodologia pluralista*. Se o cientista utiliza uma pluralidade de métodos, todos podendo guiar ao progresso, este entendido de acordo com a tradição a que se pertença, então todas as regras metodológicas são válidas. Assim, defende que a única regra que existe em ciência é “*tudo vale*”.

Defende-se que a ideia de um método fixo ou de uma teoria fixa de racionalidade baseia-se em uma concepção equivocada dos cientistas e de suas circunstâncias sociais, de forma que propõe que haja apenas um princípio que pode ser defendido em toda e qualquer circunstância, o princípio de que *tudo vale*. Os métodos hipotético-dedutivo, indutivo, dedutivo, ou qualquer outro que se imagine, são válidos na atividade científica, mas possuem limitações. Esta é a ideia principal que Feyerabend busca transmitir ao elucidar *este princípio metodológico* em sua epistemologia, de que todos os métodos valem.

Não obstante, ele chama a atenção para outras ferramentas que estão fora da esfera da ciência e que a fazem obter certo desenvolvimento, ou pelo menos sobreposição de uma teoria sobre outra, que pode, certas vezes, ser entendido como progresso. Ele alerta para a questão da propaganda, mencionando Galileu, que precisou recorrer a ela e abrir mão da racionalidade, dos argumentos lógicos, em virtude de certa

teimosia de seus opositores em defender diferentes tópicos, como o Terraplanismo ou imobilidade da Terra. Havia argumentos mais elaborados em defesa da imobilidade da Terra, mas os mais simples que persistentemente eram adotados por opositores de Galileu foram combatidos com propaganda e com insistência. Aserções de que a Terra seria pesada demais para alçar-se por cima do Sol ou que as montanhas dificultariam o movimento de rotação do globo eram reais e Galileu, segundo Feyerabend coloca (2011a, p. 104), chamava isso de “razões completamente infantis que foram suficientes para fazerem imbecis continuar acreditando na imobilidade da Terra [...], é desnecessário preocupar-se com homens como esses, cujo nome é legião, ou prestar atenção às suas tolices”. Evidentemente a propaganda não é uma ferramenta recorrentemente usada em ciência, mas foi muito usada ao longo de seu desenvolvimento, principalmente por Galileu. Ela é uma das muitas ferramentas para fundamentar princípios científicos e corrobora o princípio metodológico básico “tudo vale”.

Além disso, Feyerabend destaca que também podem ser usadas hipóteses que contradigam teorias bem confirmadas ou resultados experimentais bem estabelecidos, num processo que denomina *contra-indução*. Proceder contraindutivamente é entendido como a maneira mais propícia para o surgimento de novas e revolucionárias ideias em qualquer ambiente científico, significando ir de encontro a uma condição de consistência pregada por racionalistas, de que ideias novas devam estar de acordo, ou em consistência, com teorias bem aceitas. Ora, não é possível fazer avançar a ciência se todas as hipóteses novas estiverem de acordo com teorias bem aceitas. A Teoria Quântica, com Planck e principalmente com Einstein, se mostrava contrária a pressupostos básicos da Física Clássica. Dessa forma, pode-se inferir que “a proliferação de teorias é benéfica para a ciência, ao passo que a uniformidade prejudica seu poder crítico” (FEYERABEND, 2011a, p. 49).

Assim, a tarefa de um cientista que procede desta maneira, que procura trazer novas hipóteses e ideias ao seu campo de estudo, prossegue em uma lógica contraindutiva, em um exercício de tornar aceitos seus argumentos e proposições, novos e intrigantes, em uma comunidade científica que ainda preserva ideias antigas. Mais precisamente

a tarefa do cientista, contudo, não é mais “buscar a verdade” ou “louvar a Deus” ou “sistematizar as observações” ou “aperfeiçoar as predições”. Esses não passam de efeitos colaterais de uma atividade para a qual sua atenção está agora principalmente dirigida que é “*tornar forte a posição fraca*”, como diziam os sofistas, e, *desse modo, sustentar o movimento do todo* (FEYERABEND, 2011a, p 45, grifo do autor).

Em primeiro lugar, há aqui uma crítica às ideias de Popper (1982), que defendia a busca por conjecturas com mais verossimilhança, ou seja, mais verdadeiras no sentido tarskiano (TARSKI, 2007) de maior correspondência com os fatos, defendendo inclusive a ideia de existência de uma verdade objetiva que a ciência sempre almeja, mas nunca consegue alcançar, como a ideia do pico da montanha¹¹. Feyerabend é taxativo: não é isso que o cientista busca. Nessa questão tarskiana dos fatos, ele dirá inclusive que “o cientista precisa comparar ideias antes com outras ideias do que com a ‘experiência’ e tem de tentar aperfeiçoar, em vez de descartar, as concepções que fracassaram nessa competição”. (FEYERABEND, 2011a, p. 44). Nessa atitude de aperfeiçoar em vez de descartar as conjecturas que falharam ou não encontraram corroboração é que o pesquisador estará tornando forte o argumento fraco e fazendo valer a máxima “tudo vale”, pois, para Feyerabend, essas ideias que fracassaram na competição ainda podem (e as vezes podem muito) ser úteis à ciência.

Defende que um dos poucos físicos a compreender esse aspecto do desenvolvimento científico foi Niels Bohr, uma vez que ele “jamais tentava esboçar um quadro acabado, mas percorria pacientemente todas as fases do desenvolvimento de um problema [...] e jamais considerava resultados obtidos como qualquer outra coisa que não pontos de partida para novas pesquisas” (Ibid., p. 38). Assim Bohr pode ser mencionado como um físico que seguia a metodologia pluralista mencionada por Feyerabend. Einstein, em alguns momentos, como na explicação para o efeito fotoelétrico, também pareceu seguir uma perspectiva contraindutiva, tornando forte o argumento fraco, de que a radiação luminosa é composta por partículas, resgatando a ideia de luz como tendo natureza corpuscular e fortalecendo a ideia pouco difundida no começo do século vinte da quantização inicialmente estabelecida por Planck.

¹¹ A visão de Popper sobre o que é “a verdade” em ciência é uma das mais interessantes e marcantes dentre todos os epistemólogos. Para ilustrar essa questão, Popper (1982) traz a interessante analogia do alpinista, afirmando que a situação de busca por verdade pode ser comparada ao cenário “de um pico montanhoso, usualmente envolto em nuvens. Um alpinista não só terá dificuldade em alcançá-lo, mas também não saberá quando o alcançou, pela dificuldade em distinguir o pico principal dos subsidiários, no meio das nuvens. Mas isso não afeta a existência objetiva do pico”. (POPPER, 1982, p. 252).

Identificamos que assim também o pode ser Feynman, uma vez que o físico novaiorquino afirma:

[...] Um dia, ficarei convencido de que existe um certo tipo de simetria em que todos acreditam, no dia seguinte tentarei descobrir as consequências se não for, e todo mundo é louco, menos eu. Mas o que é incomum em bons cientistas é que, enquanto eles estão trabalhando, eles não têm tanta certeza de si mesmos como os outros costumam ter. Eles podem viver com dúvida constante [...] (FEYNMAN; ROBBINS, 1999, p. 200, tradução nossa).

Tal como Bohr, Feynman não desenhava um “quadro acabado” para uma teoria, por mais brilhante que ela parecesse ser, como, por exemplo, é o caso da *QED* (*Quantum Electro Dynamics*), mas procurava pontos em que as teorias pudessem falhar. Isto pode levar a novos avanços na ciência.

Isto constitui o cerne do pensamento contraindutivista, em uma metodologia pluralista, baseada no princípio de tudo vale. Coloca-se, de maneira a ficar clara a oposição da contraindução à racionalidade crítica defendida por Popper, os princípios dessa metodologia na tabela a seguir:

Quadro 4: Os princípios da contraindução, em oposição ao racionalismo crítico.

Racionalismo Crítico	Contraindução
1. Só aceitar hipóteses que se ajustam a teorias confirmadas ou corroboradas;	1. Introduzir hipóteses que conflitem com teorias confirmadas ou corroboradas;
2. Eliminar hipóteses que não se ajustem a fatos bem estabelecidos.	2. Introduzir hipóteses que não se ajustam a fatos bem estabelecidos.

Fonte: elaborado pelo autor (2020).

Outra situação semelhante a de Bohr seria a que envolve o físico brasileiro José Leite Lopes (1918-2006), um pernambucano que se doutorou em Princeton, sob orientação de Wolfgang Pauli. Lopes era um especialista em teoria quântica de campos e física de partículas e sua maior contribuição foi a predição em 1958 do bóson Z^0 (bóson neutro, já que se tem também W^+ e W^-), através de analogias e comparações entre o eletromagnetismo e a interação nuclear fraca, mas especificamente da seguinte maneira:

Lopes considerou que a constante de interação eletromagnética com a matéria seria igual à constante de interação fraca com a matéria. Desse modo, ele propôs que a interação elétron-nêutron só poderia ser realizada por intermédio de um bóson vetorial neutro, o hoje conhecido Z^0 , e chegou a estimar a sua massa em cerca de 60 vezes a massa do próton (m_p). (BASSALO, 2006, p. 261).

Em um primeiro momento, Lopes não teria recebido qualquer prêmio de destaque e sua predição teria sido deixada de lado por algum tempo. Porém, em 1979, os ganhadores do prêmio Nobel de física pela unificação do eletromagnetismo e da interação fraca, Sheldon Glashow (Glashow tendo sido orientado por Schwinger, um dos pais da *QED*), Weinberg e o paquistanês Abdus Salam, trouxeram à tona o trabalho de Lopes, em especial Weinberg, que, segundo Bassalo (2006), teria citado o trabalho do físico brasileiro na sua leitura de premiação do Nobel, enfatizando a importância do trabalho de Lopes, que pôde ajudar e esclarecer muitos pontos importantes aos ganhadores do Nobel de 1979. Assim, vemos, novamente, cientistas que não rechaçaram uma ideia antiga e que já estava esquecida por alguns, mas eles tornaram forte o argumento fraco e fizeram progredir a ciência, como Feyerabend indica.

Estas situações ao longo do desenvolvimento histórico da ciência permitem entender outro ponto defendido por Feyerabend, pois à medida que esclarece a metodologia pluralista, observa-se que é recorrente a atitude de pesquisadores olharem para ideias mais antigas e pouco reconhecidas para desenvolverem uma teoria ou aperfeiçoá-la. Nesse sentido, Feyerabend nos alerta que “não há nenhuma ideia, por mais antiga e absurda, que não seja capaz de aperfeiçoar nosso conhecimento. [...] E nem se rejeita a interferência política. Talvez ela seja necessária para superar o chauvinismo da ciência que resiste a alternativas ao *status quo*.” (FEYERABEND, 2011a, p. 59). Assim, ele vai mais fundo na questão de recorrer às ideias antigas. Em nota de rodapé que se sucede a essa afirmação, ele defende que se deva ver a Bíblia, o épico Gilgamés, a Ilíada e tantas outras conhecidas obras como cosmologias alternativas, plenamente capazes de explicar o mundo, e de inspirar novas explicações. Feyerabend não discute se o que está na Bíblia é verdadeiro ou não. Isto é relevante para um ensino que se proponha a abordar a relação entre Ciência e Religião, entretanto argumenta que por vezes alguns ensinamentos de obras como essas podem trazer um crescimento para a ciência, bem como um crescimento para as pessoas individualmente.

Alguns exemplos, nesse sentido, seriam a medicina tradicional chinesa, o vudu e em uma situação bastante peculiar, a astrologia. Sobre o vudu ele dirá que “um estudo

de suas manifestações pode ser empregado para enriquecer, e talvez mesmo revisar, nosso conhecimento de fisiologia” (Ibid., p. 62). Pode-se questionar sobre a importância do vudu, mas Feyerabend abordou esta questão como uma resposta por suas ideias terem sido motivo de chacota de uma pesquisadora renomada, ao afirmar que, se é assim, um físico de fronteira deveria estar constantemente revisando Aristóteles e um fisiologista deveria estudar o vudu. Feyerabend nos esclarece que é evidente que isso não acontece, porém o físico usa algumas ideias aristotélicas no seu dia a dia, mas como já teria esclarecido Thomas Kuhn (1998), ele está tão imerso na atividade de Ciência Normal que isto não é necessário, mas se porventura tentasse desbravar tópicos pouco conhecidos do aristotelismo poderia achar algo relevante. O mesmo vale para o vudu. O outro ponto seria a medicina tradicional chinesa onde Feyerabend mostra uma clara interferência política no fazer científico de uma dada comunidade. Quando a visão ocidental estava se impregnando na medicina chinesa, tinha-se a seguinte situação:

“O que é compatível com a ciência deve viver, o que não é compatível com a ciência deve morrer”. [...] Médicos da velha espécie, por exemplo, devem ser ou excluídos da prática da medicina, ou reeducados. [...] Essa era a atitude até por volta de 1954, quando a condenação de elementos burgueses no Ministério da Saúde iniciou uma campanha pelo revivescimento da medicina tradicional. Sem dúvida essa campanha foi politicamente inspirada. (FEYERABEND, 2011a, p. 63).

Assim, uma ideia antiga, a medicina tradicional chinesa, que hoje é reconhecida por diversos médicos e setores da sociedade, outrora repugnada pela tradição ocidental, pôde reviver graças à interferência política. Só essa interferência é que pôde assegurar a diversificação, e combater um episódio do que ele chama de chauvinismo científico (referindo-se à sobreposição da ciência ocidental à oriental). Mesmo uma ideia antiga que parecia absurda pôde permanecer e até hoje aperfeiçoa alguns conhecimentos na medicina e vem sendo utilizada por diversas pessoas.

Por fim, outro exemplo bastante discutido na obra de Feyerabend (2011a; 2011b e 1984), repousa sobre a astrologia. O posicionamento do filósofo sobre o assunto é peculiar, destacando que os ataques que esta recebe são quase sempre incompetentes e carregados de uma suposta visão científica, chauvinista, que não corresponde a um real entendimento da ciência. Em primeiro lugar, argumenta que a guerra contra os astrólogos não foi iniciada por cientistas, mas pela Igreja e por razões religiosas. E acredita que a violência que caracteriza essa batalha, hoje ainda, é uma relíquia dos

tempos medievais, por mais “científicos” que se chamem os argumentos contra a astrologia. Em uma interessante conversa com um racionalista (A), que não se identifica, Feyerabend (B), esclarece alguns pontos importantes desta discussão (1984, p. 157, tradução nossa), ao evocar a figura emblemática de Johannes Kepler (1571-1630):

B: Você já ouviu falar de Kepler?

A: (Parecendo ofendido) Claro.

B: Você sabia que ele fez horóscopos?

A: Porque ele tinha que ganhar a vida!

B: E que escreveu ensaios em defesa da astrologia?

A: Dificilmente poderia ter sido sério.

B: Por quê?

A: Um dos primeiros astrônomos copernicanos?

B: Sim, e não apenas defendeu e praticou a astrologia, mas também revisou e acumulou evidências para sua versão revisada.

A: (Aparentando desdenhar do argumento).

B: Você não precisa acreditar em mim. Leia o próprio Kepler; ele tem seus *Tertius interveniens*¹² e outros ensaios em suas *Obras Completas*; lê o antigo ensaio de Norbert Herz sobre astrologia de Kepler.

A: Bem, de certa forma eu entendo o problema. Afinal, a física de seu tempo não era muito avançada.

B: Mas esse não era o seu argumento inicial! Você disse que a astrologia havia sido reduzida ao absurdo pela nova astronomia. Agora, aqui temos um novo astrônomo, na verdade um dos melhores astrônomos, que escreve uma defesa da astrologia. E não apenas escreve essa defesa, mas reúne evidências e melhora o assunto.

A: Pode ser que tenha sido um pouco apressado, mas, afinal, errar é humano ...

B: Essa não foi a sua atitude no início da discussão! Você atacou os astrólogos como se fossem criminosos, como se a tentativa deles já tivesse terminado completamente, e com as evidências mais condenatórias contra eles. Agora, de repente, “você está errado”, [...], como você é tolerante com seus próprios erros!

Como destaca Voelkel (1999), ao longo de sua vida, Kepler teve sentimentos contraditórios sobre astrologia. Por um lado, como ele escreveu alguns anos depois em seu livro *De fundamentis astrologiae certioribus* (1601), “ele não gostava da ideia de ‘nutrir a superstição de estúpidos’. De outro lado, ele acreditava sinceramente que os alinhamentos dos planetas tinham influências sutis, mas importantes, sobre o homem e a

¹² Kepler via, por um lado, excessos da astrologia e por outro, uma rejeição excessiva a ela. Dessa forma, escreve *Tertius Interveniens (As intervenções de terceiros)*. Esse trabalho era uma mediação, mas que também apresenta as visões gerais de Kepler sobre o valor da astrologia, incluindo alguns mecanismos conjecturados de interação entre planetas e almas individuais. Enquanto Kepler considerava a maioria das regras e métodos tradicionais da astrologia como sendo algo como um total desperdício, havia talvez, também “um pouco de grão bom” para ser encontrado por um astrólogo científico consciente.

natureza.” (VOELKEL, 1999, p. 27, tradução nossa). Para mencionar um aspecto desta sutil influência que preocupava Kepler, Feyerabend (1984) traz à tona o conceito de plasma, que compõe o Sol e também circunda os planetas, sendo que estas nuvens de plasma se interpenetram e interagem. Ele argumenta que a atividade solar influencia na recepção de ondas curtas pelos organismos e que esta atividade solar depende, por sua vez, da posição relativa dos plasmas planetários, que equivale a dizer que depende da posição relativa dos planetas. Há, segundo o filósofo, um ramo da astrologia, a radio-astrologia, proposta pelo RCA (*Radio Corporation of America*), que se ocupa destas questões. Outrossim, é sabido que campos magnéticos afetam, por exemplo, a orientação de diversos animais. Variações no campo magnético terrestre ou solar podem causar inclusive problemas de saúde nos humanos, como indicam Giannaropoulou et al. (2013), no artigo “Possible *influence of the polarity reversal of the solar magnetic field on the various types of arrhythmias*”, para citar um exemplo.

Ademais, em uma visão racionalista e simplista da ciência é comum a defesa, por exemplo, de que a astrologia não merece qualquer atenção por não apresentar progresso e ter encontrado objeções decisivas. Sobre o progresso, Feyerabend (2011a) esclarece, é interpretado segundo a tradição a que se pertença. Se progresso é entendido como esclarecimento teórico, as pesquisas guiadas pelo RCA indicam progresso para a astrologia. Se um tema que encontra objeções decisivas deve ser abolido, “esse seria o fim da investigação sobre o câncer [...]. Mais de trinta anos e nenhum resultado decisivo. Também assim foi para o eletromagnetismo clássico” (FEYERABEND, 1984, p. 161). Ressalta-se que Feyerabend não apresenta com estes argumentos uma defesa *per se* da astrologia, ou de outras formas de conhecimento criticadas por boa parte da comunidade científica, na verdade enfatiza:

não teria nada contra os inimigos da astrologia se dissessem: nós não gostamos de astrologia, nós a desprezamos, nunca leremos livros sobre ela e você pode ter certeza de que não a apoiaremos. Isso é totalmente legítimo. [...]. Mas nossos cientistas, nossos objetivos e racionais cientistas, expressam seus argumentos e usam sua autoridade considerável para dar força ao seu desgosto. [...] no entanto, quando começamos nossa pequena conversa, você se comportou como se soubesse muitíssimo sobre astrologia, e o mesmo se aplica a todos os cientistas que fazem declarações sobre assuntos sobre os quais não têm ideia. (FEYERABEND, 1984, p. 161, tradução nossa).

Desta forma, Feyerabend faz uma crítica ferrenha aos que julgam qualquer visão de mundo¹³ distinta (ou alternativa) sem o mínimo de cuidado e conhecimento sobre tais assuntos. Além disso, entende-se que há fatores que extrapolam os limites da ciência e que são influentes para defesa de posições como a astrologia, ou visões religiosas, como por exemplo, o fator de identificação e um senso de pertencimento de grupo, de forma que atacar outras visões de mundo com argumentos científicos, ou que tentam ser científicos, é ignorar estes diversos fatores que influenciam a formação e coesão de qualquer grupo, de forma que os argumentos não surtirão efeito e o pertencimento no grupo pode se mostrar mais forte que as contestações agressivas.

“Qual é solução?”, perguntaria o racionalista a Feyerabend sobre a astrologia, diferentes formas de medicina, ou religião, com respeito à ciência. “A solução é muito simples: deixar as pessoas fazerem o que querem” (FEYERABEND, 1984, p. 167). Segundo o filósofo, entende-se que não cabe ao cientista julgar as decisões de outrem, apenas indicar o que acredita ser melhor para a sociedade, **sem sobrepor sua visão de mundo sobre as demais, uma vez que a ciência é apenas mais uma tradição existente, em meio a muitas outras.** Além disso, a ciência não pode ser classificada como boa ou má, por mais que tenha tido seus avanços ou retrocessos. Na verdade, ele defende que “as tradições não são boas nem más, elas simplesmente são” (FEYERABEND, 2011b, p. 36).

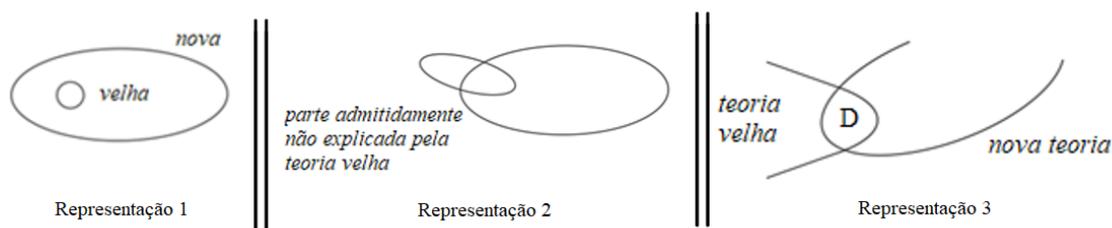
A ciência é, então, uma tradição entre muitas, não é boa nem má, mas para Feyerabend, ela simplesmente é. Contudo, a própria ciência não é uma única tradição bem definida, mas um conjunto de várias tradições de pesquisa (FEYERABEND, 2017), que possuem diversas formas distintas de encarar o progresso e diversas maneiras de ver o mundo, tal como a Física Clássica e a Física Moderna, por exemplo. Um ponto analisado por Feyerabend, na comparação das diversas tradições que

¹³ Vale um comentário sobre o entendimento de Feyerabend sobre o que constitui uma visão de mundo. Ele define uma visão de mundo como uma “coleção de crenças, atitudes e suposições envolvendo integralmente a pessoa, não apenas o intelecto. Isso tem certa coerência e universalidade, e impõe-se com poder maior do que o dos fatos e das teorias relacionadas a fatos.” (FEYERABEND, 2006, p. 221). Entende-se por essa razão que um indivíduo adota preferencialmente uma visão de mundo, como a científica, dedica seu tempo e esforços (ir a universidade ou ocupar-se sobre tarefas acadêmicas todos os dias, por exemplo) nesta coleção de crenças e suposições (como crença que monopólos magnéticos nunca serão observados, que teorias com liberdade assintótica são preferíveis, ou diversas outras convicções, afinal, é um conjunto de crenças) ou atitudes (do ponto de vista metodológico). Assim, uma visão de mundo pode ser entendida como algo mais abrangente, científica ou religiosa, ou mais específico, do ponto de vista do clássico versus quântico. O conjunto de crenças e atitudes na Física Clássica não é idêntico para a Física Quântica.

compõem a ciência, é a influência que teorias têm sobre os dados de análise, os fatos. Uma vez que o desenvolvimento teórico em um dado tópico tenha sido levado a efeito e atingido um estágio avançado, coletar dados para fins de teste acaba sendo a tarefa que resta ao cientista, e “assim é – contanto que fatos *existam e estejam disponíveis independentemente de considerar-se ou não alternativas à teoria a ser testada.*” (FEYERABEND, 2011a, p. 52, *grifo do autor*). Ele denomina este pressuposto, do qual depende o argumento precedente, de pressuposto de “autonomia relativa dos fatos”, ou “princípio de autonomia”, o qual está subentendido em quase todas as situações que envolvam confirmação e teste. Assim, o princípio de autonomia é seguido sobretudo pelo método empírico. Contudo, Feyerabend destaca que este princípio contém limitações, sendo talvez, equivocado. Ele defende que fatos e teorias estão muito mais intimamente ligados do que supõe o princípio de autonomia, pois a descrição de cada fato individual depende de alguma teoria e “existem fatos que não podem ser revelados, exceto com o auxílio de alternativas à teoria a ser testada, e deixam de estar disponíveis tão logo tais alternativas sejam excluídas” (Ibid., p. 52). Como exemplo, ele cita o estudo do movimento browniano, pois “sabe-se, atualmente, que a partícula browniana é uma máquina de moto-perpétuo de segunda espécie e sua existência refuta a segunda lei fenomenológica” (Ibid., p. 53). Feyerabend aponta que uma refutação direta da segunda lei que considere apenas a teoria fenomenológica e “fatos” do movimento browniano é uma tarefa impossível, pois medidas de movimento exato da partícula, de temperatura e transferência de energia na forma de calor, para cálculos de energia cinética e energia perdida para superar a resistência do fluido, estão fora do alcance das possibilidades experimentais. Sem o acréscimo da teoria cinética no debate, a partícula browniana poderia simplesmente ter sido tomada como algo extravagante, não tendo o caráter decisivo que assumiu. Assim, a refutação foi feita “pela teoria cinética e pela utilização desta por Einstein em seus cálculos das propriedades estatísticas do movimento browniano” (Ibid., p. 54). Através deste exemplo Feyerabend ilustra um de seus importantes pressupostos, de que os dados e os fatos são influenciados, ou às vezes dependentes, das teorias, não existindo “fatos crus”. Fatos revelados por teorias antigas acabam sendo incorporados em teorias novas, geralmente com o auxílio de hipóteses *ad hoc*, aproximações *ad hoc* ou redefinição de termos. Feyerabend defende que na comparação entre velha e nova teoria, quanto à relação de conteúdo empírico, é incorreto afirmar que toda nova teoria que substitui uma antiga incorpora todos os fatos da anterior; pelo contrário, incorpora apenas alguns fatos, mas há uma multitude de

fatos que são revelados por ambas as teorias e não podem ser entendidos pelas duas ao mesmo tempo, como ilustrado esquematicamente na imagem da Figura 12, com as Representações 1 e 2 ilustrando as concepções equivocadas e a Representação 3 representando uma imagem mais correta na comparação de teorias do ponto de vista empírico.

Figura 12: Representações para comparação empírica entre teorias.



Fonte: Feyerabend (2011a, modificada pelo autor).

Sendo que D, na Representação 3, se refere a um domínio que representa “os problemas e fatos da velha teoria que ainda são lembrados e foram distorcidos de modo que ela se ajustasse ao novo referencial” (FEYERABEND, 2011a, p. 206) da teoria aceita. Não obstante, representam-se as novas teorias como abertas, no sentido de que não são entidades finalizadas.

Mesmo as teorias antigas podem ser revisadas e ampliadas para fazer avançar o atual conhecimento em um dado campo de estudo. Aos modelos nas Representações 1 e 2 usualmente Feyerabend denomina de *ilusões epistemológicas*, causadas sobretudo pela teoria de Lakatos (1978), que encara que a teoria de Einstein ou de Copérnico são melhores que de Newton e Ptolomeu, respectivamente, porque teriam explicado tudo o que as anteriores não tinham explicado com êxito. Embora a teoria de Einstein tenha explicado o periélio de Mercúrio, ainda em 1915 “ninguém havia ainda tido êxito em apresentar uma explicação relativista da teoria clássica da perturbação com o grau de aproximação alcançado por Laplace e Poincaré” (Ibid., p. 206). Com respeito a Copérnico, Feyerabend (2011a, p. 117) enfatiza que teorias precedentes

eram capazes de explicar todos os movimentos angulares dos planetas com uma precisão maior do que 6’[...] excetuando-se apenas a teoria especial necessária para explicar Mercúrio [...]. Isso é certamente melhor que a precisão de 10’ que o próprio Copérnico declarou um objetivo satisfatório para a sua própria teoria.

Assim, ele argumenta que é incorreto afirmar que todos os fatos abordados por teorias antigas são explicados satisfatoriamente por novas teorias. Isso, além de equivocado, mostra-se como um recurso propagandístico de reducionistas da ciência, que costumam repercutir suas ideias em livros didáticos e assim espalhar suas convicções. Um trabalho historiográfico como o de Feyerabend tem o interesse de tratar tais vícios. Tendo em mente que os dados são influenciados pelas teorias, adentra-se em uma importante concepção da teoria de Feyerabend, de que teorias rivais podem ser *incomensuráveis*.

O conceito da incomensurabilidade costuma ser apresentado em estudos sobre História e Epistemologia da Ciência ao se estudar a obra de Thomas Kuhn, *A Estrutura das Revoluções Científicas*, publicada originalmente em 1962. Feyerabend também se dedica ao tema (2011a, 2011b e 2010), contudo o filósofo austríaco utiliza pela primeira vez o termo em *Explanation, Reduction and Empiricism*, artigo de 1962, de forma que os dois filósofos da ciência introduzem o termo simultaneamente. Segundo Hoyninguen-Huene (2014), incomensurabilidade tem origem no latim em *incommensurabilis*, que é uma variante do vocábulo grego *asymetron*, termo utilizado pelos geômetras, sobretudo os pitagóricos, para “descrever a impossibilidade de medir a diagonal de um quadrado através de números racionais” (Ibid. p. 21).

Kuhn e Feyerabend se apropriaram do termo no intuito de descrever a impossibilidade de haver uma unidade de medida para comparação de teorias “revolucionárias” para o primeiro, ou mutuamente excludentes, para o segundo. Essa influência da geometria no sentido de incomparabilidade influenciou mais fortemente a visão de Feyerabend, ao passo que Kuhn se encaminha para uma vertente de incompatibilidade, utilizando essa etimologia mais próxima de um sentido metafórico:

Aplicado ao vocabulário conceitual usado numa teoria científica e em seu entorno, o termo “incomensurabilidade” funciona metaforicamente. A expressão “nenhuma medida comum” passa a ser “nenhuma linguagem comum”. A afirmação de que duas teorias são incomensuráveis e, assim, a afirmação de que não há uma linguagem, neutra ou não, que ambas as teorias, concebidas como conjunto de sentenças, possam ser traduzidas sem resíduos e perdas. A incomensurabilidade em sua forma metafórica não implica incomparabilidade [...] (KUHN, 2006, p.51)

Assim, a tese da incomensurabilidade em Kuhn (1998) está baseada na concepção de incompatibilidade, pois um paradigma novo, aceito após uma revolução

científica, não pode ser relacionado (avaliado) com um paradigma antigo, tampouco é válido entender um paradigma como um caso limite do outro, como Popper (1982) entendia. Para Kuhn o paradigma novo é incompatível com o antigo e dois pesquisadores adeptos de paradigmas diferentes não conseguirão chegar a um entendimento, Kuhn (1998, p. 246) afirma que são “[...] forçados a um diálogo de surdos. Embora cada um deles possa ter esperança de converter o seu adversário a sua maneira de ver a ciência e a seus problemas, nenhum dos dois pode ter a esperança de demonstrar sua posição”. Na epistemologia kuhniana se faz necessária uma conversão, tal qual uma conversão religiosa, dos adeptos do antigo paradigma para o novo.

Com isso se estabelece uma primeira discordância com a teoria de Feyerabend, pois, uma vez que este defenda a ideia de pluralismo teórico, entende-se que diversas teorias e ideias podem coexistir, e não faria sentido a predominância de um único paradigma, em um período de ciência normal. A mudança entre esses paradigmas ou visões de mundo poderia se dar por distintas razões que não a “filosofia da conversão”. O filósofo austríaco esclarece que, ao considerar o debate Einstein e Bohr e o avanço da visão de mundo clássico para a quântica, a filosofia da conversão simplesmente não faz sentido:

A transição da física clássica, com sua estrutura objetiva de espaço-tempo, para a teoria quântica, com as suas subjetividades integradas, certamente foi uma das transformações mais radicais na história da ciência. Contudo, cada estágio dessa transformação foi discutido. [...] O choque final entre a nova filosofia e o seu predecessor clássico expressou-se de maneira dramática no debate entre Bohr e Einstein. Será que Bohr e Einstein apenas manifestaram suas opiniões? Não. Einstein levantou uma objeção; Bohr ficou mortificado, pensou muito, descobriu uma resposta, transmitiu-a a Einstein, e este a aceitou. Einstein levantou outra objeção; Bohr sentiu-se novamente mortificado, pensou intensamente – e assim por diante. Considerando esses detalhes, nós compreendemos que a filosofia da conversão simplesmente não faz sentido. Sugiro que a noção de *fronteiras hermenêuticas* tem defeitos similares, e exatamente pelos mesmos motivos. (FEYERABEND, 2006, p. 352, *grifo do autor*).

Contudo, uma vez que se aceite que a filosofia da conversão na mudança de paradigmas seja um conceito equivocado, é preciso que se manifeste alguma forma de comparação entre teorias, que propicie a mudança entre visões de mundo. Dado que, para Moreira e Massoni (2011, p. 107), “na versão de Feyerabend, incomensurabilidade significa incomparabilidade”, fica-se com a sensação de que nesta epistemologia isto

não é viável. Na verdade, Feyerabend argumenta que existe uma forma de comparação, mas ela é sutil e não pode se dar por maneiras racionais, tal qual os geômetras não podiam medir a diagonal de um quadrado através de números racionais. Ele afirma (FEYERABEND, 2011b, p. 85), que “comparação por conteúdo, ou verossimilitude, estava, é claro, fora de questão. Mas certamente havia outros métodos”. Assim, Feyerabend, tal como Kuhn, porém de maneira ainda mais clara, descarta a ideia de que teorias melhores são aquelas com maior verossimilhança.

Destaca-se que a noção realismo e subjetivismo são centrais para o princípio da incomensurabilidade em Feyerabend, pois para ele, ao se mudar de teoria, muda-se o entendimento sobre a realidade, sobre o mundo, e é como se as coisas em si mudassem, pois o mundo perceptual mudou. Argumenta que muitas pessoas estudadas assumem que a realidade dos entes (sejam quânticos, ou referentes à astronomia, ou qualquer outro conjunto) é o “que os cientistas dizem, outras opiniões podem ser registradas, mas não são e não devem ser levadas a sério” (FEYERABEND, 2006, p. 55). Mas a ciência, como já discutido, não oferece uma única estória, mas muitas. Afinal a ciência não é uma única tradição, mas um conjunto delas, que muitas vezes colidem (já que dados e fatos são influenciados por teorias) e o relacionamento de uma realidade objetiva, independente da estória utilizada é algo extremamente problemático. Feyerabend coloca que Max Planck já teria observado esse problema, assim, de acordo com Planck, citado por Feyerabend (2006, p. 35):

Essas duas declarações, “existe um mundo externo real que é independente de nós” e “esse mundo não pode ser conhecido diretamente”, juntas formam a base de toda a física. Contudo, até um certo ponto, estão em conflito, revelando, portanto, o elemento irracional inerente à física e a qualquer outra ciência.

Tamanha é a influência do relativismo e do subjetivismo no trabalho do filósofo, que ele enfatiza que uma mudança de princípios universais provoca uma mudança no mundo inteiro (FEYERABEND, 2011b). Pode-se argumentar que tal mudança é em um nível epistemológico, ou seja, referente ao entendimento dos entes e não sobre os entes em si. Mas Feyerabend indica que essa distinção é pouco relevante, porque afinal de contas, tudo ao que o ser humano tem acesso é uma representação do mundo, um ponto de aproximação, portanto, com a Teoria das Representações Sociais (MOSCOVICI, 2015). Feyerabend (2011b, p. 88) chega ao ponto de reconhecer que as atividades epistêmicas “podem ter uma influência decisiva até mesmo sobre a peça mais sólida do

espaço cósmico – elas fazem com que deuses desapareçam e os substituem por montes de átomos no espaço vazio”.

Convém destacar brevemente a diferença mais notória entre subjetivismo e relativismo. Subjetivismo se refere ao conhecimento como dependente de fatores que residem no sujeito cognitivo. Pode-se dizer que o gosto, por exemplo, é algo subjetivo, pois depende de fatores que são próprios de cada pessoa. O quão fácil ou complicado um conteúdo estudado se mostra para um aluno é algo que depende essencialmente de como o conteúdo se relaciona com aspectos da sua estrutura cognitiva, é, portanto, algo subjetivo. O Relativismo, por outro lado, pode ser entendido como uma doutrina que relaciona o conhecimento a fatores externos aos indivíduos, como o contexto político ou a situação econômica e social. Se a Teoria das Representações Sociais é utilizada como referencial para uma pesquisa ou atividade didática, entende-se que a realidade de um dado tópico, como a quântica, é fortemente influenciada pelo pensamento do grupo. Assim, tem-se a influência do relativismo, uma vez que a aquisição de significados depende das características relativas ao grupo, como, por exemplo, o contexto, se o grupo está em uma zona de conflito ou em uma comunidade próspera. A religião e a percepção da relação entre ciência e religiosidade dependem sobremaneira das circunstâncias em que estão inseridos os indivíduos (alunos em um contexto religioso veem a ciência de forma diferente daqueles em contexto onde a religião é pouco influente) e, assim, relacionada ao relativismo. Ambos os conceitos são abordados por Feyerabend em sua obra e constituem um ponto importante de análise, além de ser um paralelo interessante com a TRS, que enfatiza o caráter convencional da realidade nas representações.

Retomando a ideia da incomensurabilidade, o entendimento sobre este tópico na epistemologia de Feyerabend fica mais bem elucidado ao se tomar alguns exemplos que mostram que algumas teorias incomensuráveis para Kuhn não o são para Feyerabend. Um exemplo mais clássico, que concerne aos modelos planetários de Ptolomeu e de Copérnico, é um caso típico para Kuhn de incomensurabilidade. O indicador seria a noção atribuída à “planeta”. No sistema ptolomaico, o Sol, a Lua e outros astros são tidos como planetas por orbitarem a Terra, mas não são planetas para Copérnico. O oposto também vale, uma vez que a Terra não é um planeta para Ptolomeu e é para Copérnico. Isso seria uma incompatibilidade que representa a incomensurabilidade para Kuhn, a redefinição de conceitos fundamentais em duas teorias. Feyerabend (2011b)

não concorda com essa proposição, mas enfatiza que “a mera diferença de conceitos não é suficiente para tornar as teorias incomensuráveis, no meu sentido. **A situação deve ser armada de tal maneira que as condições de formação de conceito em uma teoria proíbam a formação dos conceitos básicos da outra**” (FEYERABEND, 2011b, p. 85, grifo nosso).

Ou seja, quanto ao domínio da incomensurabilidade, o conceito feyerabendiano é muito mais restrito. Por conseguinte, significa que existem menos exemplos históricos de incomensurabilidade, uma vez que o foco está relacionado aos conceitos de teorias fundamentais e suas implicações ontológicas. Se for possível formar o conceito “planeta” em uma teoria e também em outra, que traz uma nova visão de mundo, então não se tratam de teorias incomensuráveis. Ele (2011b, p. 85) esclarece que os únicos exemplos que ele percebe que se encaixam nessa condição são: “a física clássica e a teoria quântica, a relatividade geral e a mecânica clássica, a física homérica agregada e a física de substância dos pré-socráticos”¹⁴. Estas teorias são incomensuráveis porque há conceitos que surgem em uma teoria que não podem ser entendidos na outra. O conceito “planeta” existe nos modelos ptolomaico e copernicano, apenas muda-se o sentido, o significado do conceito. Na Física Quântica, por exemplo, há conceitos que não existem em Física Clássica, ou ao menos não podem ser explicados por esta teoria, como o conceito de caminhos múltiplos ou o conceito de incerteza, do princípio de incerteza, para se mencionar apenas alguns exemplos.

Mas, se pelo domínio, o termo é restrito na epistemologia feyerabendiana, a respeito da pervasividade, o conceito é mais extenso que o de Kuhn, uma vez que Feyerabend (2011a e 2011b) defende que teorias incomensuráveis devem sê-las em *todos* os seus domínios e aspectos; já para Kuhn, teorias incomensuráveis podem ter alguns aspectos comparáveis, comensuráveis em certo sentido. A situação de Ptolomeu e Copérnico é um bom exemplo, pois para o filósofo americano são incomensuráveis pela mudança no significado do termo “planeta”, mas, conforme Hoyninguen-Huene (2014, p. 61), “as predições de ambas quanto às posições planetárias no céu são

¹⁴ Dado que para esta epistemologia a Física Clássica e Física Quântica, a Mecânica Clássica e a Mecânica Quântica são os dos mais claros exemplos de incomensurabilidade, isto é um fator a ser explorado em uma sequência didática que aborda tais temas. A noção de incomensurabilidade em Feyerabend é abordada fazendo em sala de aula um comparativo entre Física Clássica e Física Moderna, destacando que são campos de estudo distintos, visões de mundo distintas (FEYERABEND, 2006), e que portanto, não devem ser comparadas. São tópicos com objetivos diferentes, cada um com a sua utilidade e sua contribuição para a ciência.

plenamente comensuráveis e podem imediatamente ser comparadas com relação à precisão empírica”. Logo, a incomensurabilidade kuhniana é local, no sentido de que se aplica a características específicas, não a todas as características e facetas de uma teoria. Feyerabend, por outro lado, até por sua relação já discutida quanto à observação, defenderá a tese de uma incomensurabilidade global, que afeta “todas as sentenças deriváveis das duas teorias” (Ibid., p. 61). Em síntese, para o austríaco:

Em meu entendimento, a incomensurabilidade é um evento raro. Ela ocorre apenas quando as condições de significância para os termos descritivos de uma linguagem (teoria, ponto de vista) não permitem o uso dos termos descritivos de uma linguagem (teoria, ponto de vista): a meu ver, meras diferenças de significado ainda não levam à incomensurabilidade (FEYERABEND, 2010, p. 323).

Assim, para Feyerabend, as teorias incomensuráveis podem ser poucas, mas elas são totalmente incomensuráveis, não devendo ser comparadas em nenhum de seus domínios. Desta forma, geralmente tem-se a impressão de que as teorias para Kuhn e, principalmente, Feyerabend, tornam impossível qualquer comparação teórica, trazendo a sensação de incapacidade de reconhecer quando uma teoria é melhor que outra. Por essa razão há constante preferência pelas epistemologias de Popper (1982), Lakatos (1978) e até mesmo Laudan (2011), que colocam de forma clara, meios de comparar as diversas teorias. Contudo, é preciso deixar claro que as epistemologias de Feyerabend e Kuhn são contrárias a métodos específicos de comparação, o primeiro descartando a comparação direta e o segundo recusando a comparação ponto-a-ponto (HOYNINGEN-HUENE, 2012). Para Kuhn, a comparação ponto-a-ponto é impossível pela razão de modificação de significados dos conceitos, porém a comparação de teorias por méritos ainda é válida, o que indica um caráter racionalista nessa epistemologia, embora, pela filosofia das conversões sempre se tenha assumido que ele é defensor do irracionalismo. Na verdade, como Hacking (2010, p. 9) traz: “Kuhn achava que a ciência é irracional? Não exatamente. Isso não quer dizer que ele também tenha sido ‘racional’. Eu duvido que ele tenha muito interesse na questão”. Kuhn defende um viés irracional na conversão, mas defende uma racionalidade na comparação, pois para ele “é racional escolher teorias com mais resultados, porque elas atendem melhor aos objetivos científicos. Essa propriedade da seleção teórica torna todo o processo da ciência racional e progressivo” (HOYNINGUEN-HUENE, 2014, p. 63).

Já para Feyerabend, essa comparação racional é inviável, uma vez que os dados são diferentemente interpretados, como já destacado. Nesse sentido, entende-se que os critérios de comparação para ele são subjetivos, e podem inclusive sê-lo no sentido ordinário do termo, como valores estéticos, julgamentos de gosto, preconceitos metafísicos e até crenças religiosas (HOERNIG; MASSONI, 2018). Feyerabend (2011b, p. 224), com seu senso de humor característico, afirma que “claro, alguma espécie de comparação sempre é possível (por exemplo, uma teoria física pode soar mais melodiosa do que outra teoria física quando lida em voz alta com acompanhamento de violão)”.

Assim, para o austríaco, o processo científico como um todo não é guiado estritamente pela Razão (FEYERABEND, 2010), embora a racionalidade esteja sempre presente (FEYERABEND, 2011a). Em última instância, mesmo sem meios racionais na comparação, o avanço científico, para ele, continua progressivo, pois o progresso científico consiste no “aumento do conjunto de teorias incomensuráveis e perspectivas, cada qual forçando os outros a uma maior articulação” (HOYNINGUEN-HUENE, 2014, p. 64), tal qual Bohr e Einstein faziam no desenvolvimento da Física Quântica.

Por fim, ainda é interessante mencionar o que acontece quando se faz a transição entre as teorias que são incomensuráveis. Comumente encontram-se afirmações de que, sob certas condições, a teoria da relatividade (especial) recai na relatividade galileana ou na mecânica newtoniana, o que o filósofo austríaco não concorda (de maneira semelhante a Kuhn). Feyerabend (2011a) afirma que existem apenas alguns fenômenos de transição, que podem receber um nome próprio, como *pseudoimagens-residuais*, que são “um análogo perceptivo muito interessante da transição, digamos da mecânica newtoniana à relatividade especial: a relatividade, também, não nos dá fatos newtonianos, mas análogos relativísticos de fatos newtonianos” (Ibid., p. 220), no sentido de que a massa, na Mecânica Clássica, não é propriamente a massa da Teoria da Relatividade, mesmo para baixas velocidades. O que se observa, em termos de Feyerabend, seria uma “pseudoimagem-residual” da mecânica relativística para baixas velocidades, mas que não é o mesmo ente. Pode-se pensar nesta situação como um análogo para a massa de repouso e a massa inercial (MOREIRA; MASSONI, 2011), uma vez que na relatividade, a massa de repouso não é nem a massa inercial e nem a massa gravitacional. Mais explicitamente:

A atração gravitacional não é determinada pela massa de repouso, pois um fóton é defletido pelo campo gravitacional apesar de ter massa nula. Também é concepção superada dizer que é possível transformar energia em matéria e matéria em energia. A energia se conserva. A energia não se transforma. Em Física de Altas Energias, são partículas que se transformam umas em outras. Ou seja, a energia se conserva, mas os portadores de energia, e a forma em que ela aparece, de fato mudam (MOREIRA; MASSONI, 2011, p. 71).

Assim, o conceito de massa mostra-se com estas sutilezas, de forma que, quando se mudam as teorias, muda-se o entendimento sobre o que este é. Além disso, pode-se considerar o conceito de massa de repouso como um conceito sem sentido e não existente para na mecânica clássica, o que é uma marca de que as teorias são incomensuráveis, que as condições de formação do conceito em uma teoria proíbam a formação dos conceitos básicos da outra, como já destacado.

Com a importância do subjetivismo e da incomensurabilidade, um critério de demarcação objetivo sobre o que constitui uma visão de mundo como científica ou não, como melhor que outra visão, se torna inexpressivo e um tanto incoerente com os fundamentos da epistemologia de Feyerabend. A solução para a escolha e seleção de visões de mundo repousa sobre o objetivo inicial da obra de Feyerabend, a ciência deve ter um amplo controle público, não relegando a participação de leigos em tomadas de decisão sobre aplicações da ciência. A proposta de Feyerabend é muito mais razoável do que se imagina, pois, no atual cenário em que vivemos, as decisões sobre aplicação do dinheiro público, por exemplo, em centro acadêmicos “estão nas mãos de órgãos políticos, do senado, de um governo local, da *National Science Foundation* (que é um órgão *político*, e não puramente científico)” (FEYERABEND, 2017). O caso Lysenko¹⁵, por exemplo (FEYERABEND, 2010), ocorreu por influência do governo local, em que cientistas e políticos conservadores, e não o povo como um todo, decidiram sobre questões científicas. Giordano Bruno também “não foi queimado por conselhos democráticos, e sim por especialistas.” (FEYERABEND, 2010, p. 191).

¹⁵ O caso Lysenko ocorreu na antiga união soviética, no final da década de vinte. Lysenko era um agrônomo e biólogo soviético, responsável pelo estudo de produção de alimentos e melhorias em cultivos de trigo, entre outros. Ele propôs alternativas à teoria cromossômica da hereditariedade, considerada por ele como reacionária e capitalista, buscando fundamentar as teorias em biólogos e especialistas russos. Assim, as ideias de Lysenko foram apoiadas e difundidas pelo governo soviético. Porém, produções baseadas nas teorias de Lysenko não vingavam, o que levou uma grande faixa da população soviética à penúria e à morte por má nutrição.

Uma opção por retirar bilhões de reais de bolsas de estudo e investir este dinheiro no fundo eleitoral certamente não é uma decisão democrática. Se a ciência e os recursos que a ela são dirigidos tivessem um real controle público e não apenas de órgãos políticos, situações como estas poderiam ser evitadas. Neste sentido, o que acaba movendo alguns cientistas ainda é o investimento e os recursos envolvidos direta ou indiretamente em um dado campo, ou seja, “o elemento mais capaz de levar um cientista moderno a abandonar aquilo que sua ‘consciência científica’ lhe diz que deve perseguir ainda é o *dólar* (ou mais recentemente, o franco suíço)” (FEYERABEND, 2011a, p. 64). Assim, por mais que uma área seja tida como “científica”, sem investimento neste campo de estudo pode sucumbir, o que corrobora a proposição de que há fatores externos que falam mais alto do que o denominado *status científico*, quanto à sobrevivência de ideias e teorias.

Feyerabend (2010) destaca que houve críticas sobre a sugestão de que a ciência deve ser submetida a controles democráticos, pois não estaria claro de como devem ser formados e escolhidos tais conselhos. Ele destaca que “é verdade. [...] As medidas democráticas são *ad hoc*, são introduzidas para um objetivo específico e servem pessoas específicas” (FEYERABEND, 2010, p. 191), de forma que a escolha sobre a formação dos controles democráticos não deve ser ditada por um teórico distante, não há uma regra, a formação desses controles depende da situação em que se está envolvido. Em diversos países muçulmanos onde a ciência é enxergada como estando a serviço da religião, um controle democrático certamente contará com autoridades religiosas, o que não aconteceria em sociedades do Ocidente. As situações podem ser as mais diversas possíveis, com diversos indivíduos, das mais diversas profissões sendo considerados como importantes na formação de grupos de controle. Feyerabend (2010) argumenta, contudo, que em uma supervisão democrática da ciência é inevitável que alguns ramos de pesquisa queridos a muitos pesquisadores podem ser eliminados, “simplesmente não é possível ter todos os desejos satisfeitos” (FEYERABEND, 2010, p. 192). Mas os especialistas evidentemente não serão excluídos do debate, terão oportunidade de apresentar sugestões e explicar por qual razão “tanto dinheiro é necessário para que elas [as pesquisas] sejam realizadas. Quanto à questão de se eu próprio iria sobreviver nessas circunstâncias – bem, isso teremos de esperar para ver!” (Ibid., p. 192).

Prosseguindo dessa maneira, conseqüentemente, em uma democracia, “as populações locais não apenas usariam, mas também *deveriam* usar as ciências nas

maneiras mais adequadas a elas” (FEYERABEND, 2011a, p. 318, *grifo do autor*). Destaca, contudo, que a competência do público geral, não especializado, pode grandemente ser melhorada **com uma educação que almejasse tais fins**, mostrando a ciência com as qualidades que possui, mas que expusesse também “a falibilidade dos especialistas, em vez de agir como se ela não existisse” (Ibid., p. 318).

Assim, chega-se ao último aporte da epistemologia de Feyerabend: a discussão sobre algumas implicações em uma educação para uma sociedade democrática. Feyerabend (2011b) destaca inicialmente que há pelo menos duas maneiras de decidir uma questão coletivamente, as quais denomina intercâmbio guiado e intercâmbio aberto. No primeiro caso, “alguns ou todos os participantes aceitam apenas aquelas respostas que correspondem a seus padrões” (FEYERABEND, 2011b, p. 38). Em geral, adota-se o discurso de que se está estabelecendo uma situação de diálogo e interação, ao passo que se trata apenas de uma doutrinação disfarçada. Se um dos lados não aceitou ainda a tradição escolhida pela maioria, deve ser persuadido, educado nos padrões aceitos. Uma troca aberta, por outro lado, é guiada por uma filosofia pragmática, “a tradição adotada pelas partes envolvidas não é especificada no início e desenvolve-se à medida que a troca prossegue” (FEYERABEND, 2011a, p. 289).

Assim, **entende-se que o papel do professor não é apresentar a visão de mundo científica como uma verdade absoluta a qual todos os alunos devem aceitar sem questionar**. Contudo, deve-se apresentar o conteúdo, a visão de mundo da ciência, como uma tradição entre várias, talvez a melhor delas, mas ao aluno deve ser possibilitado decidir aquilo em que quer acreditar, esse é o princípio fundador de uma sociedade democrática, de uma sociedade livre (FEYERABEND, 2011b). **Cabe ao professor estar preparado para apresentar os argumentos da melhor maneira possível, mas sem imposição destes**. Evidentemente, o professor deve ensinar o conteúdo físico, a Física como ela é aceita pela comunidade científica. Sem imposição não significa dizer que o aluno pode acreditar, por exemplo, que a Terra é plana e que o professor não deva contestar isso; ou que o aluno quer acreditar que a força gravitacional cai com o inverso da distância, ao invés do quadrado da distância, e que o professor deva concordar. Não se trata disto. Sem imposição significa mostrar que a explicação física, a visão científica, não é a única visão de mundo possível. O aluno terá, uma vez conhecida a explicação científica, a liberdade de continuar escolhendo acreditar que a Terra é plana, mesmo que a ele tenham sido mostradas todas as

evidências e argumentos de que não o é; com as avaliações tendo sido aplicadas de acordo com o conhecimento científico que o professor buscou compartilhar. Em termos de Física Quântica, o professor precisa apresentar o conteúdo físico conforme o entendimento científico atual, e a avaliação procurará captar se a RS do grupo (MOSCOVICI, 2015) alinha-se a tal entendimento. Se após um módulo didático o aluno ainda preferir acreditar em ideias relacionadas ao misticismo quântico, terá liberdade para isso, mas a escolha será consciente e não por ingenuidade.

Quanto à discussão do aspecto ciência e religião, nota-se que pela epistemologia de Feyerabend, a tese do conflito (BAGDONAS; SILVA, 2015), simplesmente não faz sentido, é agressiva e antidemocrática. A relação entre ciência e religião deve ser apresentada, seguindo a lógica do intercâmbio aberto, possibilitando o diálogo e permitindo ao educando que lhe seja assegurado o direito de acreditar naquilo que julgar melhor.

3.3 A Psicologia Pragmática de James: Ciência e Religiosidade.

Chega-se, por fim, ao último ponto de nossa escolha teórica. No momento em que se propõe analisar a relação entre ciência e religião se faz necessário ter uma visão abrangente sobre ambos os termos, procurando definições. A Epistemologia da Ciência de Paul Feyerabend fornece relevantes discussões sobre a natureza da ciência, trazendo alguns indícios sobre a relação com a religião.

Contudo, para uma melhor definição desta, e discussão de algumas implicações para uma prática didática, realiza-se uma breve análise da obra *As Variedades da Experiência Religiosa: Um estudo sobre a Natureza Humana* (2017), do filósofo pela universidade de Berlim, médico pela universidade de Harvard e professor de psicologia – o novo iorquino William James (1842-1910), tido como um dos precursores da psicologia moderna e líder do movimento do Pragmatismo em psicologia e filosofia. Esta obra resulta de um ciclo de conferências em Gifford, na Escócia, ministradas entre 1896 e 1902, sobre psicologia e religião. James utiliza algumas de suas ideias da filosofia do pragmatismo para dar uma interpretação própria sobre a religiosidade, conduzindo a uma abordagem pragmática da questão religiosa.

Sendo William James um filósofo do pragmatismo, é notório o esforço em sua obra de uma aproximação entre religião e a vida cotidiana, utilizando para tanto a noção de *experiência religiosa*, que pode se manifestar na vida dos indivíduos em diferentes graus. Religião será, então, considerada segundo James como uma experiência, como uma vivência, “e não apenas como uma crença na experiência alheia” (JAMES, 2017, p. 7). Nesse sentido, ele argumenta que se torna relevante uma separação do tema em duas vertentes, com “uma grande linha divisória que atravessa o campo religioso. De um lado, fica a religião institucional, de outro, a religião pessoal” (JAMES, 2017, p. 39).

O ramo institucional da religião envolve as questões de culto, sacrifício, cerimônias, teologia e qualquer forma de organização eclesiástica. Quando se estuda este ramo, toma-se a religião como algo exterior aos indivíduos, uma arte externa, que direciona o comportamento de fiéis para com as figuras religiosas em que acreditam. Por outro lado, no ramo pessoal, “são as disposições interiores do próprio homem [ser humano] que formam o centro de interesse, sua consciência, seus abandonos, seu desvalimento, sua imperfeição” (Ibid., p. 39). Segundo esta vertente, a religião é vista como algo pessoal, induz atos pessoais e não rituais, em que as organizações eclesiásticas assumem uma posição secundária. O estudo da religião como algo pessoal, como uma experiência pessoal, é o objeto de estudo de William James. Para ele, esta forma é mais fundamental e importante para a Psicologia ou Filosofia do que a Teologia ou o Eclesiasticismo. Por essa razão utiliza, em alguns momentos, o termo *religiosidade*¹⁶, ao invés de *religião*, buscando dar a ideia de proximidade, pois se tem em mente abordar a religião como algo pessoal, ou seja, a religiosidade dos cientistas, no que acreditavam e como isso influenciava suas visões de mundo (FEYRABEND, 2006).

Seguindo esse pensamento, James entende que religião passa a significar “*os sentimentos, atos e experiências de indivíduos em sua solidão, na medida em que se sintam relacionados com o que quer que possam considerar o divino.*” (JAMES, 2017, p. 41, *grifo do autor*). Nessa relação com o que possa se considerar divino, James argumenta que “divino” é aquilo que suscita reações solenes, de forma que “deve haver algo solene, sério e terno em relação a qualquer atitude que denominamos religiosa”.

¹⁶ Como no título do presente trabalho, “Física Quântica e História e Filosofia da Ciência: conceitos, vida, crenças e *religiosidade* como motivadores na aprendizagem de Física”.

(Ibid., p. 47). São essas experiências solenes, na religião vista como algo pessoal, que James considera relevantes no seu estudo das experiências religiosas.

Assim, dado o entendimento na abordagem de James sobre o divino e sobre as experiências pessoais, o autor sublinha **que todo indivíduo se depara com diferentes experiências religiosas ao longo da vida**. Mesmo ignorando a religião, toda pessoa possui experiências religiosas. Essas experiências podem ser de negação de qualquer divindade, com indivíduos acreditando no “Não Deus, e o adora. [...] com uma índole que, psicologicamente falando, não se distingue do zelo religioso” (Ibid., p. 45). A figura do físico britânico Paul Dirac pode ser usada para ilustrar esta posição, uma vez que Heisenberg (1996), na obra *A Parte e o Todo*, traz uma conversa sobre a religião entre Dirac e Pauli, os quais seriam respectivamente, ateu e cristão. Heisenberg (1996, p. 106) escreve:

Nesse íterim, Paul Dirac havia se juntado a nós. Ele mal acabara de completar 25 anos e tinha pouco tempo para a tolerância: - Não sei por que estamos falando de religião – objetou. – Se formos honestos, e os cientistas têm que sê-lo, teremos de admitir que a religião é uma miscelânea de asserções falsas, sem nenhuma base na realidade. O próprio conceito de Deus é produto da fantasia humana [...]. -E assim prosseguiu a discussão. Estávamos surpresos por reparar que Wolfgang mantinha-se calado. Vez por outra, fazia uma cara desanimada ou dava um sorriso malicioso, mas não dizia nada. No fim, tivemos que pedir-lhe que nos dissesse o que achava. Ele pareceu meio surpreso e disse: - Bem, nosso amigo Dirac também tem sua religião, cujo princípio norteador é: “Deus não existe e Dirac é seu profeta”. - Todos rimos, inclusive Dirac, e isso encerrou nossa noitada na sala de estar do hotel.

Estas experiências a qual James se refere também podem não significar, necessariamente, um relacionamento com uma figura divina ou com um teísmo, pois, afastando todas as costumeiras associações com o termo religião, “seja qual for o significado mais especial que possa ter, significa sempre um estado de espírito *sério*.” (JAMES, 2017, p. 46, *grifo do autor*). Portanto, experiência religiosa para James é sempre a que envolve uma devoção, um estado de espírito sério, que pode ser relacionado a leis morais ou leis da natureza e não necessariamente a uma figura divina. Nesse sentido, James coloca que havia, no começo do século XX, um crescente número de igrejas que se espalhavam pelo mundo sem uma figura divina¹⁷, sob o nome de

¹⁷ Existe, por exemplo, a Igreja Positivista do Brasil, com sede no Rio de Janeiro e com alguns templos espalhados pelo país, inclusive há um em Porto Alegre. Esta igreja não cultua qualquer forma de divindade, mas fundamenta-se na máxima de Augusto Comte: “O amor como princípio, a ordem como

sociedades éticas, ou similares, com um culto do divino abstrato ou de leis morais. Ou ainda, “em muitas mentes, a ‘ciência’ está tomando o lugar da religião. Onde isso acontece, o cientista trata as ‘Leis da Natureza’ como fatos objetivos que devem ser reverenciados” (Ibid., p. 63). Nesse sentido é que Feyerabend (1984, p. 156, tradução nossa) coloca que “a ciência hoje é nossa religião favorita”. **Se uma situação suscita alguma devoção, algum respeito profundo e admiração, pode ser classificada como religiosa, de forma que a religião se estende, na filosofia pragmática, para além de uma mera dicotomia entre ter ou não uma religião.** Essa dicotomia aliás, se encaixaria na primeira forma de vida religiosa, externa e que entende religião como baseada em rituais, que não interessa a William James.

A noção de experiência religiosa aqui discutida pode ser comparada à visão de mundo de diversas personalidades científicas. Max Jammer¹⁸, por exemplo, discute extensamente a vida religiosa de Einstein em *Einstein e a religião* (2000). A noção mais fundamental na filosofia pragmática, de religiosidade como devoção, é elucidada por Einstein, citado por Jammer, ao afirmar que “todas as especulações mais refinadas no campo da ciência provêm de um profundo sentimento religioso, sem esse sentimento, elas seriam infrutíferas” (JAMMER, 2000, p. 28).

Jammer (2000) destaca que os credos religiosos costumam ser direcionados pelo meio em que se cresce, pela educação que se recebe e pela literatura que se lê, sendo que tais fatores tiveram uma influência duradoura na vida de Einstein. Os pais de Einstein eram judeus, porém não dogmáticos, uma vez que não praticavam os rituais judaicos e raramente frequentavam sinagogas. Em Munique, Einstein ingressa em uma escola católica¹⁹ e, para balancear os estudos religiosos da escola, os pais de Einstein contratariam uma parente da família, mais versada em assuntos de religião judaica, para que ensinasse ao jovem Einstein os princípios da religião judaica. Neste tempo, Jammer (2000) coloca que Einstein experimentou um período de fervorosa experiência religiosa, onde seguia com afinco as prescrições religiosas e mantinha-se fiel ao estilo de vida

base, o progresso como objetivo” (esses mesmos dizeres estão lapidados na faixa da sede, no Rio de Janeiro). A influência do positivismo foi significativa no Brasil, pois seu lema inspirou a Bandeira Nacional idealizada por Raimundo Teixeira Mendes e desenhada pelo artista Décio Villares.

¹⁸ Max Jammer (1915-2010) foi um físico alemão, reitor da universidade de Bar-Ilan, em Israel, e colega de Einstein em Princeton, o que possibilitou a coleta das informações que constituem a obra analisada.

¹⁹ A influência do cristianismo fora bastante significativa e duradoura na vida de Einstein, pois, anos mais tarde, quando questionado sobre seu posicionamento sobre a existência ou crença na figura de Jesus Cristo, assegurou que, conforme Isaacson (2007, p. 396): “Sou judeu, mas sou fascinado pela luminosa figura do Nazareno. [...] Quem pode ler os Evangelhos sem sentir a presença real de Jesus? Sua personalidade pulsa em cada palavra. Não há nenhum mito que esteja imbuído de tanta vida.”

religiosa, de forma que Einstein teria colocado que a sua juventude foi um período de “paraíso religioso”, onde a “natureza, a música e Deus estabeleceram fortes sentimentos religiosos que nunca foram esquecidos e que se constituíram a base de uma fé isenta de qualquer dúvida” (JAMMER, 2000, p. 20). À medida que entrara no ambiente acadêmico, Einstein tornaria esse fervor religioso da infância em certo ceticismo religioso, principalmente com a leitura de diversos autores, como Kant, Marx, Mach e outros.

Jammer (2000) coloca que alguns autores que estudam a vida de Einstein, atribuem essas influências ideológicas e consequente afastamento da religiosidade que Einstein cultivava na infância como cruciais para seu desenvolvimento intelectual, sendo forças propulsoras para o desenvolvimento da Teoria da Relatividade, ressaltando a ideia de que ciência e religião são opostos irreconciliáveis. Contudo,

Einstein nunca concebeu essa relação como antítese. Ao contrário, via os dois campos como complementares, ou melhor, como mutuamente dependentes, numa relação que ele descrevia através da seguinte metáfora: “ciência sem a religião é manca, e a religião sem a ciência é cega”. (JAMMER, 2000, p. 28).

Desta forma, consoante ao enfatizado por James (2017), a religião é vista por Einstein como uma forma de devoção, como tendo um espírito científico necessitando dessa forma religiosa de encarar a ciência e para propor especulações refinadas. Apesar deste posicionamento de Einstein, é interessante notar que houve um posicionamento de diversas pessoas, lideranças científicas ou religiosas, com relação a que a Teoria da Relatividade seria, em última instância, um desrespeito à religião, como alguns estudiosos e críticos colocam (JAMMER, 2000), conotando uma certa liberdade em contraste com aquilo que tem um caráter absoluto, invalidando a “inviolabilidade do dogma religioso” (Ibid., p. 29).

Esse impacto fora relevante, pois alguns físicos, como Arnold Sommerfeld, propunham inclusive que o nome “Teoria da Relatividade” deveria ser substituída por uma versão mais suave, como “Teoria dos Invariantes”. Einstein não teria ficado, de todo, indiferente a este tipo de discussão, argumentando que a existência da teoria não assegura em primeiro lugar a relatividade do espaço e do tempo, mas uma independência das leis da natureza em relação ao ponto de vista de um observador e que “o que há de novo na teoria é a ligação inextrincável entre matéria, o espaço e o tempo” (JAMMER, 2000, p. 33).

Além disto, vale destacar que, segundo Jammer (2000), os sentimentos religiosos ao longo da vida de Einstein nunca foram totalmente estáveis. Quando jovem, a religião era como uma febre ardente, que se esvairia com o começo da vida acadêmica, sem perder, contudo, a essência de uma profunda devoção por alguma ordem que rege as leis da Física, sem perder a influência pelo Deus da cultura judaico-cristã. Jammer (2000) coloca que Einstein encontrou profundo apreço pela figura divina na obra de Espinoza, que se aproxima de um panteísmo. Em síntese, em sua principal obra, *Ética* (2017), Espinoza rejeita a concepção tradicional de Deus, o qual assume uma existência que apresenta uma finalidade cósmica, perdendo-se a noção de um Deus pessoal. Para Espinoza, Deus é tudo, é uma substância com infinitos atributos e, portanto, infinito, que perpassa todo o universo (se a figura de divindade é tudo, então Deus, no espinozismo, é o universo)²⁰.

Nesta filosofia, o objeto supremo de *devoção religiosa*, remontando novamente a noção de religião como devoção (JAMES, 2017), “só pode ser a perfeita harmonia do Universo, e as aspirações humanas têm que aceitar as inexoráveis exigências das leis deterministas que regem a vida” (JAMMER, 2000, p. 37). Apesar do apreço de Einstein pela filosofia de Espinoza, Jammer (2000, p. 38) destaca que “o único elo que une a filosofia de Espinoza à física e a filosofia de Einstein é a ideia de um determinismo irrepreensível”. Assim, Jammer (2000) argumenta que as concepções religiosas teriam afetado em certa medida a própria substância do trabalho de Einstein, visto que a concepção de um determinismo irrestrito em Espinoza, com a figura divina que permeia todo o universo, indicaria que todos os processos físicos, em qualquer escala, seriam regidos por rigorosas leis deterministas. A busca de Einstein por uma unicidade na Física une a ideia tanto da Filosofia de Espinoza como a influência da religião judaico-cristã, com um Deus único.

²⁰ Em sua obra, *Ethica: Ordine Geometrico Demonstrata et in Quinque Partes Distincta, in Quibus Agitur, I. De Deo, II. De Natura et Origine Mentis, III. De Origine et Natura Affectuum, IV. De Servitute Humana seu de Affectuum Viribus et V. De Potentia Intellectus seu de Libertate Humana* (Ética: Demonstrada a ordem geométrica, e dividida em cinco partes, nas quais são tratados I. Deus, II. A Natureza e a Origem da Mente, III. A Origem e a Natureza dos Afetos, IV. A Servidão Humana ou a Força dos Afetos e V. A Potência do Intelecto ou a Liberdade Humana) Espinoza utiliza a noção de substância como “aquilo que existe em si mesmo e que por si mesmo é concebido, isto é, aquilo cujo conceito não exige o conceito de outra coisa do qual deva ser formado” (ESPINOZA, 2017, p. 13), de forma que entende Deus como um ente absoluto infinito, “isto é, uma substância que consiste de infinitos atributos, cada um dos quais exprime uma essência eterna e infinita” (Ibid., p. 13). Entende-se, em Espinoza, que Deus é o todo, ou seja, é o universo, pois defende o universo como uma substância de infinitos atributos e, portanto, Deus.

Ademais, James (2017) destaca a relação importante na experiência religiosa como envolvendo um processo de solidão do indivíduo em sua experiência de devoção e, nesse sentido, Einstein sentia-se, conforme Jammer (2000), ainda mais ligado a Espinoza, por perceber que os dois compartilhavam a necessidade de solidão, bem como o destino de terem sido criados dentro da cultura judaica, mas tendo ambos se distanciado dessa tradição²¹. Por fim, quanto ao posicionamento de Einstein quanto ao panteísmo de Espinoza, ele destaca que:

Não sou ateu, e não creio que possa me chamar panteísta. Estamos na situação de uma criancinha que entra em uma imensa biblioteca, repleta de livros em muitas línguas. A criança sabe que alguém deve ter escrito aqueles livros, mas não sabe como. Não compreende as línguas em que foram escritos. Tem uma pálida suspeita de que a disposição dos livros obedece a uma ordem misteriosa, mas não sabe qual ela é. Essa, ao que me parece, é a atitude até mesmo do mais inteligente dos seres humanos diante de Deus. Vemos o Universo, maravilhosamente disposto e obedecendo a certas leis, mas apenas uma pálida compreensão delas. (JAMMER, 2000, p. 40).

Segundo Jammer (2000), Einstein ainda apresentava uma posição clara sobre a necessidade de visões de mundo distintas da ciência para completude da sociedade, uma vez que “nem mesmo a ciência em estágio avançado seria capaz de definir, muito menos recomendar, valores éticos. Pois a ciência restringe-se àquilo que *é*, e a ética, ao que *deve ser*” (JAMMER, 2000, p. 42, *grifo do autor*). Desta forma, a religião em uma atividade de cooperação com a ciência, poderia ser útil para a formação de valores éticos para os cientistas, pois estes valores não são fornecidos pela atividade científica, que não é boa nem má, simplesmente *é* (FEYRABEND, 2011b).

Assim, identifica-se a figura de Einstein como um bom exemplo que ilustra a principal noção de William James para a religião, como uma experiência pessoal baseada na devoção, experiência essa que pode possuir diferentes níveis, indo da devoção pela ciência em si ou por alguma figura divina. Einstein, por ser sempre o

²¹ Einstein seguramente se distancia das tradições judaicas por uma opção, com base em suas crenças, contudo, Espinoza, antes uma liderança nas sinagogas que frequentava na Holanda (Espinoza nasceu em Amsterdã, tendo origem portuguesa), fora excomungado por suas ideias de panteísmo não terem sido aprovadas pelas lideranças religiosas locais, sendo consideradas ideias heréticas. O conselho da sinagoga da cidade de Herem o expulsa da sinagoga, determinando que nenhum judeu jamais lhe poderia dirigir a palavra, ajudá-lo em qualquer situação e que deveriam manter dele uma distância de no mínimo quatro côvados, sendo também proibida a leitura de qualquer texto por ele produzido (SPINOZA, 2017). Dessa forma, Espinoza passou a viver uma vida isolada, na completa simplicidade e solidão, jamais vendo seus trabalhos recebendo alguma consideração ou admiração.

físico mais conhecido entre o público geral, como o de jovens estudantes de Ensino Médio (GURGEL, PIETROCOLA, WATANABE, 2014), é figura fundamental para se mostrar a relação entre ciência e religiosidade (em preferência aos termos ciência e religião, como já discutido). Algumas outras personalidades também podem ser abordadas, como Planck, que segundo Heisenberg (1996) se mostrava como um cristão luterano ortodoxo, ou também Richard Feynman, ambos por serem figuras marcantes para o Ensino de Física Quântica. **Planck, em sua autobiografia (PLANCK, 2012), adota um discurso conciliatório entre Ciência e Religião**, enfatizando que possuem diferentes métodos, com a ciência operando com o intelecto e a religião com o sentimento. Contudo, o significado e a direção do progresso são idênticas, pois “religião e ciência travam uma batalha comum na incessante cruzada, sem fim, contra o ceticismo e o dogmatismo, a descrença e a superstição.” (PLANCK, 2012, p. 236). Por outro lado, Feynman se encaminha para uma vertente agnóstica, adotando no início de sua carreira um discurso que lembra aspectos do positivismo (HOERNIG; MASSONI; LIMA, 2020), além de tom bastante respeitoso às diferentes crenças, que difere, por exemplo, do já abordado discurso de Dirac:

Não acredito que a ciência possa refutar a existência de Deus; Eu acho que isso é impossível. E se é impossível, não é uma crença na ciência e em um Deus - um Deus comum da religião - uma possibilidade consistente? Sim, é consistente. (FEYNMAN; ROBBINS, 1999, p. 247, tradução nossa).

Feynman ainda apresenta alguns argumentos sobre a crescente falta de confiança na ciência, e porque muitas pessoas têm preferido seguir unicamente argumentos religiosos, metafísicos ou até místicos. Ele coloca: “quero responder à pergunta de por que as pessoas podem permanecer tão tristemente ignorantes e não entrar em dificuldades na sociedade moderna. A resposta é que a ciência é irrelevante.” (FEYNMAN; ROBBINS, 1999, p. 103, tradução nossa). Feynman, ganhador do prêmio Nobel em Física, coloca, então, que a ciência tem se mostrado irrelevante. Evidentemente não é irrelevante para ele, mas para o grande público, para leigos, de forma que acredita que “a ciência permaneceu irrelevante porque esperamos até que alguém nos faça perguntas ou até sermos convidados a fazer um discurso sobre a teoria de Einstein para pessoas que não entendem a mecânica newtoniana, mas nunca somos convidados a atacar a cura pela fé ou a astrologia” (Ibid., p. 110). Feynman propõe então que esses assuntos que possuem ou apresentam algum atrito com a ciência, como

muitas vezes é entendido para a relação ciência e religiosidade, devem ser tratados de alguma forma, não ignorados. Para os físicos em seus laboratórios, sugere que

devemos escrever principalmente alguns artigos. Agora o que aconteceria? A pessoa que acredita em astrologia terá que aprender um pouco de astronomia; a pessoa que acredita na cura pela fé pode precisar aprender um pouco sobre medicamentos e alguma biologia. Em outras palavras, será necessário que a ciência se torne relevante (FEYNMAN; ROBBINS, 1999, p. 110, tradução nossa).

Por fim, vale destacar ainda um aspecto relevante da obra de William James, a discussão sobre o misticismo, por sua possível implicação com o advento do fenômeno do Misticismo Quântico, abordado por diversos autores, como apontam Hilger e Moreira (2012). Em primeiro lugar, James (2017) destaca que o adjetivo “místico” se aplica a estados de breve duração, com um raptó da racionalidade do indivíduo. Destarte, James (2017) procura restringir o termo, mantendo sua utilidade para fins de classificação, propondo quatro marcas que caracterizam um estado de misticismo. A primeira característica é a *inefabilidade*, ou seja, que não se pode nomear ou descrever. Por essa peculiaridade, que o autor denomina como uma característica negativa dos chamados estados místicos, é que tais estados “parecem muito mais estados de sentimento do que estados de intelecto. Ninguém pode explicar a outra pessoa que nunca conheceu determinado sentimento, ou em que consistem a qualidade ou o valor dele.” (JAMES, 2017, p. 348). O segundo fator é a *qualidade noética*, pois, por mais subjetivos e inefáveis que os fenômenos sejam, para os que experimentam, são tidos como “estados de visão interior dirigida a profundezas da verdade não sondadas pelo intelecto discursivo” (Ibid., p. 348). A terceira marca é a já mencionada *transitoriedade*, pois William James, em seus diversos estudos sobre psicologia, assegura que indivíduos que alegam experimentar fenômenos místicos nunca os experimentam por um tempo prolongado, mas por alguns minutos apenas. A última marca é a *passividade*, que identifica os estados místicos como independentes do sujeito que o experimenta, o qual não tem controle direto sobre a experiência. Essas quatro características são tidas como suficientes para “marcar um grupo de estados de consciência tão peculiares que merecem um nome especial, [...] grupo místico” (Ibid., p. 349).

Desta forma, William James procura mapear o fenômeno do misticismo, voltado para o ramo religioso. Ele argumenta que a opinião oposta ao misticismo, em filosofia, é qualificada, por vezes, como racionalismo. James (2017, p. 77) defende que “o

racionalismo insiste em que todas as nossas crenças devam finalmente encontrar para si mesmas bases definíveis”. Assim, para o racionalismo, impressões vagas de algo indefinido não tem lugar em um sistema racionalístico e não constituem base para um conhecimento verdadeiro. Mas em seus estudos de Psicologia, James (2017) indica que estados de misticismo *religioso* são observados e existe forte probabilidade que sejam reais, com perda da racionalidade.

Um aspecto de interesse para esta investigação é analisar até que ponto os estados de misticismo *religioso* podem ser estendidos para abarcar a ideia de misticismo *quântico*. O fenômeno do misticismo quântico é por demais amplo e complexo para se abordar em definitivo com a filosofia de William James. Mas há indícios de que há diferença notável entre “misticismo”, na obra de William James, “misticismo religioso” e “misticismo quântico”. Estados de misticismo *quântico* não poderiam ser pertinentes ou reais, pois podem lhes faltar, entre outros fatores, alguma das quatro características dos estados realmente místicos abordados por James (2017). Dessa forma, entende-se que estados de misticismo religioso podem ser reais, o autor defende que o sejam, ao passo que estados de misticismo quântico são inexistentes. Assim, para se tratar o fenômeno do misticismo quântico, pode ser razoável uma volta ao seu oposto, o racionalismo e, como Feyerabend alerta (2011a), em situações como essa pode ser razoável uma retomada da Razão. De qualquer modo, a importância de se tomar o aporte de William James nesta investigação está relacionada à necessidade tornar claros alguns conceitos (por exemplo, religiosidade, religião, experiências religiosas, misticismo religioso) e assim assumir uma postura mais clara e proveitosa na análise dos dados coletados na pesquisa.

4. REFERENCIAL METODOLÓGICO

Apresentamos neste capítulo a metodologia utilizada durante as atividades de pesquisa, coleta de dados e análise, que se dividem em dois estudos, o primeiro tendo duas etapas. Em síntese, no primeiro estudo, utilizando-nos de breves (curtos) questionários, com os quais procuramos mapear as Representações Sociais de diversas turmas de ensino médio em algumas escolas da rede pública de Porto Alegre e o entendimento dos alunos sobre a relação entre Ciência e Religiosidade. Para tal, utilizamos técnicas associadas à TRS para análise da primeira questão (com o questionário apresentado no Apêndice A) e a Teoria Fundamentada para análise da segunda. Na segunda etapa de nosso primeiro estudo, realizamos entrevistas semiestruturadas com professores universitários do Instituto de Física da UFRGS para a identificação de temas chave sobre o Ensino de Física Quântica e possíveis maneiras de apresentá-los na escola básica. Por fim, em um terceiro estudo, nos dedicamos à aplicação de um módulo didático de Física Quântica, com reaplicação do questionário utilizado no primeiro estudo e, portanto, reutilizando as técnicas de análise deste. O módulo didático foi delineado para ser um estudo de caso e na posterior análise dos dados que emergiram de sua aplicação foram utilizadas técnicas da Teoria Fundamentada.

Desta forma, todas as análises qualificam a investigação como sendo de natureza *qualitativa*. Sobre esta modalidade de pesquisa, Massoni e Moreira (2017) salientam que ela se sustenta na investigação científica por seus próprios méritos, possuindo características que se adequam a estudos com aproximações à psicologia social, uma vez que a pesquisa qualitativa:

é flexível à construção e modificação de hipóteses; busca compreender as especificidades dos processos comunicativos, comportamentais e das relações sociais que se estabelecem na educação; o pesquisador trabalha em um paradigma em que a realidade é socialmente construída e pode controlar sua pesquisa e ampliar o poder analítico de seu trabalho (MASSONI; MOREIRA, 2017, p. 127).

Além disso, como destacam Hilger e Moreira (2012), as pesquisas que abarcam a TRS são multimetodológicas, com os instrumentos e técnicas não sendo sempre padronizados. Em nossa atividade, por exemplo, utilizamos técnicas próprias para análise das representações, difundidas em trabalhos na Psicologia Social, e a teoria

fundamentada para a análise de dados de natureza qualitativa. De modo geral, tem-se que “as enquetes e os estudos qualitativos constituem instrumentos indispensáveis e frequentemente mais ricos em informações – inclusive teóricas – para o conhecimento e a análise das representações sociais” (ABRIC, 2001, p. 169). Na sequência são detalhadas as ferramentas metodológicas utilizadas.

4.1 Técnicas associadas à TRS

Para o estudo preliminar foi realizado um levantamento de dados através de um breve questionário (Apêndice A), aplicado em três escolas, a saber, Instituto de Educação General Flores da Cunha, em Porto Alegre, Instituto Estadual Rio Branco, também em Porto Alegre, e Escola Estadual de Ensino Médio Heitor Villa-Lobos, em Gravataí, na região metropolitana de Porto Alegre. Os questionários foram aplicados no mês de outubro, em 2018, e as três escolas são estaduais. O questionário foi aplicado em 291 alunos das três etapas do Ensino Médio após autorização da direção das escolas (Apêndice B) e foi elaborado com dois objetivos, representados nas duas questões de pesquisa, a saber: mapear as Representações Sociais dos alunos com respeito à Física Quântica; investigar como é a percepção dos estudantes com respeito à relação entre Ciência e Religiosidade.

Para o primeiro ponto de interesse, foi realizado um levantamento através de evocações livres, ou seja, um levantamento de palavras, lexemas, para uma análise de associações entre essas evocações, dado que, nesse sentido, Kahneman (2012) aborda que palavras evocadas apresentam relação entre si, com este efeito recebendo o nome de *priming*. Das palavras evocadas pode-se ter uma primeira visualização da estrutura das RS através da formação de um núcleo central formado pelos termos evocados com maior frequência, e uma periferia da representação, pelos termos menos mencionados, mas que podem estar associados ao núcleo. Essa atividade de evocação de palavras é conhecida como Técnica de Associação Livre de Palavras – TALP. Segundo Rodrigues, Borges e Pietrocola (2018), a TALP compõe uma das metodologias de abordagem estrutural das representações, tendo sido idealizada por pesquisadores em Psicologia Social na França (DI GIACOMO, 1981).

Para o segundo ponto ou objetivo do estudo, referente à relação entre Ciência e Religiosidade, dada a influência de James (2017) sobre o entendimento de religião

como algo pessoal, optamos por construir questões que permitissem visualizar a concepção dos estudantes sobre o posicionamento de cientistas renomados frente ao possível embate *Ciência versus Religião*, de forma a colocar a religião como algo centrado em indivíduos e não como algo externo. Dessa forma, procedemos inicialmente à identificação dos cientistas conhecidos pelos estudantes, de forma semelhante à Gurgel, Pietrocola e Watanabe (2014) em seu trabalho sobre identificação cultural, para posterior identificação da percepção dos alunos sobre como os cientistas mencionados se posicionavam quanto à questão religiosa. Desta, forma, elaboramos três questões, uma questão referente à RS e duas referentes à relação *Ciência e Religiosidade*, a saber:

- *Escreva todas as palavras ou expressões que te vêm à mente quando ouves a palavra “Quântica”.*
- *Liste o/a (os/as) cientista(s) de maior renome que você lembra (em qualquer área do conhecimento).*
- *Você acredita que esse(s) cientista(s) tenha(m)/tivesse(m) alguma crença religiosa? Ou acredita que seja(m)/era(m) ateu(s)?*

De posse das diversas respostas, a classificação e organização dos dados se deu de maneiras distintas. Para a primeira questão, procedemos com uma análise de similitude para a construção de rede semântica, cuja estrutura informa as regiões nuclear e periférica da RS. Uma análise deste tipo pode ser feita com um grafo, ou rede, em que figura em cada vértice um lexema evocado e em cada aresta uma relação de similaridade entre dois lexemas. A espessura das arestas, no grafo a ser apresentado no Capítulo 5, é proporcional à medida de similaridade entre dois termos conectados. A estes grafos se dá o nome de *redes de similitude*, uma vez que permitem a visualização da similaridade entre termos evocados, além de permitirem uma clara identificação das regiões nuclear e periférica de uma representação social (RS). A formação dessa rede foi realizada no *software* gratuito IRAMuTeQ²², que realiza automaticamente a análise de similitude, após os dados serem apropriadamente preparados, permitindo ao usuário a construção das redes de similitude. Um pouco da lógica matemática por trás da

²² IRAMuTeQ é um acrônimo para *Interface de R pour les Analyses Multidimensionnelles de Textes et de Questionnaires*, sendo um *software* livre ligado ao pacote estatístico R. Sendo assim, para rodar o IRAMuTeQ é necessário instalar os pacotes de funções do R. Pode-se efetuar o download do primeiro em <<http://www.iramuteq.org/>> e do segundo em <<https://www.r-project.org/>>.

construção das redes de similitude pode ser encontrado nos próprios manuais do programa, sendo em geral descritos por Ratinaud e Marchand (2012).

Para a segunda questão do questionário (curto), uma listagem simples e posterior confecção de histogramas foi realizada com o *software* IBM SPSS Statistics²³. Este programa também é utilizado para elaborar histogramas e listar as categorias que foram levantadas com respeito à terceira questão do questionário, com base em princípios da teoria fundamentada, que é explicitada na sequência.

4.2 A Teoria Fundamentada

A teoria fundamentada é uma metodologia utilizada em pesquisa qualitativa-interpretativa que permite ao pesquisador elaborar uma teoria com base em dados empírico-qualitativos, de forma a construir uma *teoria derivada em dados* sistematicamente reunidos e analisados por meio de processos de pesquisa. Esta teoria foi proposta e desenvolvida originalmente por Ansel L. Strauss e colaboradores, como Barney G. Glaser e Juliet Corbin, na década de setenta (MASSONI; MOREIRA, 2017). Charmaz (2009) esclarece que em sua primeira obra, *The Discovery of Grounded Theory* (1967), Glaser e Strauss assumiram uma postura de oposição aos pressupostos metodológicos predominantes da época, em que a pesquisa quantitativa era a única vista como adequada para as atividades acadêmicas. Segundo Charmaz (2009), os autores manifestaram com esta obra um enunciado de vanguarda, em que contestavam noções do que era o consenso metodológico e oferecem estratégias sistemáticas para uma efetiva atividade de pesquisa qualitativa, que segue sua própria lógica e é capaz de gerar teoria. A autora afirma que “em especial, Glaser e Strauss pretenderam construir explicações teóricas abstratas dos processos sociais” (CHARMAZ, 2009, p. 19). Além disso, em uma atividade de pesquisa realizada na sala de aula, a pesquisa qualitativa baseada na teoria fundamentada mostra-se como uma ferramenta pertinente, uma vez que “os pesquisadores qualitativos querem a oportunidade de se conectar com os participantes da pesquisa e ver o mundo de seus pontos de vista.” (CORBIN; STRAUSS, 2015, p. 27, tradução nossa).

²³ Este *software* não é livre, mas pode ser feito o download de uma versão de teste, disponível em: <<https://www.ibm.com/products/spss-statistics>>.

Assim, conforme salientam Corbin e Strauss (2015), a principal função da Teoria Fundamentada é a elaboração de uma teoria a partir de dados empíricos, e é por essa razão que comumente se fala em *Teoria Fundamentada em dados*. Destacam que não é apenas uma descrição de dados empíricos, mas a formação de uma teoria que explica em detalhe os dados coletados. Os autores enfatizam que a teoria a que se referem difere da descrição por possuir categorias e conceitos que são integrados em torno de uma categoria central para formar uma estrutura que oferece uma explicação teórica sobre o porquê e como algo acontece (CORBIN; STRAUSS, 2015). Assim, teoria é entendida como um levantamento de padrões e relações entre categorias que permitam explicar e compreender o fenômeno ou evento em estudo.

Em sua atividade, o pesquisador não começa com uma lista de conceitos pré-identificados, mas, ao contrário, os conceitos são derivados dos dados durante a análise. Estes conceitos, derivados da análise inicial, “guiam a coleta de dados subsequentes. Cada coleção de dados é seguida por análise.” (CORBIN; STRAUSS, 2015, p. 36, tradução nossa). Em nossa pesquisa, buscamos seguir este princípio, na medida em que os dados coletados no estudo preliminar guiaram a execução do módulo didático e a coleta de dados realizada durante a execução deste, de forma que, se eventualmente uma forte presença de concepções ligadas ao misticismo quântico fosse identificada no mapeamento da representação social com o questionário curto, o módulo didático deveria ser pensado e conduzido com maior ênfase no sentido de amenizar ideias errôneas sobre Física Quântica. O mesmo pode ser dito sobre a percepção dos alunos acerca da relação entre Ciência e Religiosidade.

O processo de coleta de dados é seguido por análise contínua até que se tenha um construto bem integrado e uma teoria densa que permita responder às questões de pesquisa, de forma que a Teoria Fundamentada serve “como um modo de aprendizagem sobre os mundos que estudamos e como um método para a elaboração de teorias para compreendê-los” (CHARMAZ, 2009, p. 24).

Dessa forma, a essência da metodologia da Teoria Fundamentada está, conforme enfatiza Boaro (2017), relacionada à interpretação por parte do pesquisador dos dados coletados, processo que envolve comparações e identificação de conceitos de forma a descobrir propriedades, dimensões e relações entre conceitos. Em nosso contexto, as expressões e frases identificadas, expressas pelos alunos e destacadas através de gravação de áudio de episódios de sala de aula durante a aplicação do módulo didático,

do diário de campo do pesquisador e de respostas a perguntas abertas, podem conter conceitos relevantes, ou gerá-los, possuindo propriedades específicas e também dimensões. As dimensões se relacionam ao nível de abrangência de tais propriedades. Por exemplo, Strauss e Corbin (2008), ao analisarem em uma comunidade o uso de drogas, identificaram que uma das dimensões desse fenômeno se referia ao pouco uso ou à facilidade de acesso.

Além disso, observa-se na literatura sobre Teoria Fundamentada algumas divergências, sobretudo para com o tratamento e coleta dos dados empíricos. Segundo Charmaz (2009), Glaser buscava encaminhar a teoria para uma aproximação com o positivismo, dizendo que os dados coletados pelo pesquisador são neutros; por outro lado, Strauss e Corbin aconselham, em algumas de suas obras, que os dados devem ser encaixados em teorias pré-concebidas, porém estas podem se modificar ao longo do estudo, de forma que os dados não são mais neutros, mas influenciados por ideias prévias, ou ao menos, durante a coleta, se considerariam os dados que se encaixam em tais categorias, desconsiderando aquilo que não se adequasse às hipóteses iniciais. Massoni e Moreira (2017) esclarecem que o pesquisador pode ter algumas hipóteses de trabalho inicial, que podem surgir, por exemplo, da revisão de literatura e revisão bibliográfica – seguimos este viés em nossa pesquisa – mas em geral tem-se uma área ou um tema de estudo, com algumas perguntas instigantes, com a teoria surgindo dos dados coletados. Charmaz (2009) também afirma que é inviável assumir que todo dado coletado em pesquisa qualitativa seja neutro, e que qualquer visão teórica oferece um retrato interpretativo do objeto de estudo, embora não um quadro fiel dele.

De qualquer forma, os autores alertam quanto à coleta dos dados, que é vital manter um equilíbrio entre objetividade (característica necessária para uma interpretação acurada) e sensibilidade (necessária para perceber nuances sutis e os significados dos dados). Uma técnica útil para aumentar a objetividade é pensar comparativamente (MASSONI; MOREIRA, 2017), comparando achados e fenômenos similares a partir da literatura àquilo que acontece no ambiente estudado, estimulando o pensamento a identificar as propriedades e as dimensões de conceitos relevantes. Charmaz (2009) destaca que alguns pressupostos acerca da maneira que se olha para os dados podem variar, mas há sempre pontos em comum em qualquer abordagem:

Como qualquer recipiente no qual diferentes conteúdos possam ser vertidos, os pesquisadores podem utilizar as diretrizes básicas da teoria fundamentada como a codificação, a redação de memorandos e a amostragem para o desenvolvimento da teoria, sendo que os métodos comparativos são, de muitas formas, neutros. (CHARMAZ, 2009, p. 23).

Em primeiro lugar, a codificação constitui-se como ferramenta importante na análise, sendo entendida como um procedimento que tem o objetivo de “dar vozes claras aos participantes da pesquisa, de compreender eventos e situações específicas e fazer emergir a teoria a partir dos dados” (MASSONI; MOREIRA, 2017, p. 145). Existem tipos diferentes de codificação e a cada tipo uma lógica associada. Apresentamos aqui as estratégias analíticas de codificação empregadas.

A estratégia inicial de codificação empregada foi a microanálise, também chamada de análise “linha por linha” (MASSONI; MOREIRA, 2017). Na teoria de Strauss, a microanálise corresponde a um exame minucioso de dados empíricos, ou de parte destes dados, que, em nossa atividade de pesquisa, foram obtidos, como já dito, por notas de campo, transcrição de áudios, respostas a perguntas abertas e, eventualmente construímos memorandos (anotações à margem de transcrições). O primeiro passo da microanálise é ler atentamente o material escrito que compõe o conjunto de dados e que se considera relevante frente aos objetivos de pesquisa, de maneira a identificar conceitos iniciais e criar as primeiras categorias. O seguinte passo consiste em selecionar e estudar da maneira mais rigorosa possível os fragmentos identificados (como palavras, linhas, frases ou parágrafos), voltando o foco para uma palavra, expressão ou parágrafo que chama a atenção por ser importante ou analiticamente interessante. O terceiro passo é tomar essa palavra ou expressão e, a partir dela, construir uma lista de significados, pesquisando e levantando todos os possíveis significados relacionados, listando tudo o que vêm à mente (do pesquisador principalmente, mas também podendo ser tudo o que vem à mente de outras pessoas (dicionários, por exemplo), para comparar com ideias e concepções do próprio pesquisador) quando se pensa sobre tal palavra ou expressão utilizada pelo informante, podendo-se recorrer a dicionários, opiniões de outras pessoas, sejam pesquisadores ou não, para que se consiga ter um bom repertório de significados possíveis.

Charmaz (2009) indica que a codificação “linha por linha” pode parecer um exercício um tanto arbitrário, uma vez que nem todas as linhas do material transcrito possam conter informações relevantes, de forma que fica evidenciado o caráter

subjetivo do pesquisador em Teoria Fundamentada. Novamente, para diminuir este efeito, é preciso constantemente exercer a microanálise tratando as expressões comparativamente, com uma constante comparação em relação à literatura usada para identificar quais expressões podem ser relevantes, e se possuem ligação com aquilo que já foi pesquisado. Ainda assim, destacam Massoni e Moreira (2017, p. 148), a microanálise é “uma ferramenta vantajosa, pois pode fazer surgir ideias que podem ter escapado ao pesquisador ao fazer uma leitura dos dados para uma análise temática mais geral”.

Para que a microanálise seja mais rica e mais bem estruturada, é recomendado ao pesquisador a formulação de perguntas e comparações. O uso do “questionamento” tem diversas funções, uma delas, a de perceber que cada pessoa pode interpretar uma situação diferentemente e que, em contextos em que se usa a teoria fundamentada, muito provavelmente nenhuma das interpretações está potencialmente correta, são sempre retratos da realidade estudada. As perguntas que se faz forçam a procurar propriedades e dimensões, localizar sujeitos, focar sequências de fatos e ações. Cabe destacar, como enfatizam Boaro e Massoni (2018), que os dados não se revelam por si mesmos, mas é o pesquisador que se força a sair de sua maneira usual de pensamento e assumir uma postura que permita e que force os dados revelarem detalhes (perguntas como “o que”, “como” e “por que” os alunos observados dizem o que dizem). O uso de questionamentos permite que os dados mostrem o que há além das aparências, e as perguntas feitas pelo pesquisador, gerais ou específicas, teóricas ou abstratas, permitem a visualização de novas propriedades e dimensões dos conceitos iniciais, ou a elucidação de propriedades e dimensões já destacadas, de forma que a análise evolui.

Segundo os pressupostos da teoria fundamentada, a partir do uso de diferentes ferramentas analíticas, como as descritas anteriormente, que facilitam o processo de fazer emergir conceitos que podem virar categorias, o processo de codificação dos dados é então dividido em codificação aberta e codificação axial. Codificação aberta é o processo através do qual elementos importantes são identificados nos dados, descritos sob a forma de conceitos, proposições ou frases. Esta codificação é dita aberta porque é preciso abrir os textos (levando em conta que a microanálise não é feita sobre todos os dados coletados, mas sobre algum eleito como relevante), separar dados em fragmentos e depois examinar, buscando evidenciar similaridades, diferenças, propriedades e padrões possivelmente existentes nos dados analisados, permitindo que se agrupe

conceitos que compartilham certas propriedades. Em síntese, durante todo o processo de análise, procura-se identificar novos conceitos, bem como esclarecer o que tais conceitos significam a partir dos processos de análise detalhada já mencionados, de forma a poder classificar, detectar e desenvolver categorias.

Assim, após abrir os textos, com alguns conceitos já obtidos, é recomendado (MASSONI; MOREIRA, 2017) agrupar certos conceitos sob um conceito mais abstrato e mais representativo. Uma forma de proceder nesta classificação mais representativa, é agrupar conceitos em categorias, sendo que são ditas categorias, os eventos, acontecimentos, objetos, ações, interações consideradas conceitualmente similares em natureza ou relacionadas em significados (CORBIN; STRAUSS, 2015). Desta forma, quando os conceitos começam a se acumular, o pesquisador pode começar o processo de agrupar os conceitos, categorizando-os em termos explicativos mais abstratos, que são as categorias. Além disso, conforme afirmam Massoni e Moreira (2017), as categorias têm poder analítico porque possuem potencial de explicar o fenômeno estudado e prever atividades futuras relacionados ao fenômeno.

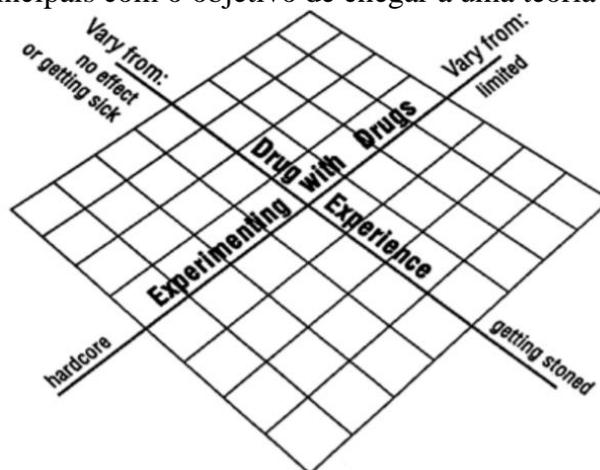
Portanto, à medida que se avança no processo de identificação de conceitos, propriedades e dimensões, características da codificação aberta, passa-se à codificação axial. A codificação axial é o processo de construção de relações entre categorias de conceitos, reagrupando-se dados que foram divididos na codificação aberta, antes desorganizados e que não evidenciavam nenhum padrão claro, de forma a gerar padrões que permitam explicações mais precisas – o processo de gerar padrões a partir da aparente desordem também é chamado de codificação seletiva – de forma a entender as atitudes, os fenômenos, os relatos, os cenários, os fatos em estudo. A codificação é dita axial porque ocorre em torno de um eixo de uma categoria, em geral a categoria que tende a responder à questão de pesquisa. Segundo esse processo a teoria explicativa pode começar a se materializar, pois permitirá a construção de diagramas ou grafos. Ao se elaborar a codificação axial e seletiva, é possível construir uma estrutura de relações em torno de um eixo de uma categoria principal. Boaro (2017) destaca que, ao final, é desejável que as explicações sejam compreensíveis, plausíveis e completas, que a codificação teórica seja integrativa e que conte uma história analítica coerente.

Em nossa pesquisa, as relações entre categorias, provenientes da microanálise que geraram as categorias iniciais, quando reanalisadas com a codificação seletiva, deram origem a categorias axiais, que serão discutidas no Capítulo 5, relacionadas com

o domínio da relação entre Ciência e Religiosidade e domínio histórico e epistemológico, relacionando as categorias que abrangiam conceitos referentes ao tema da religião com a acurácia do ponto de vista histórico e epistemológico destes conceitos. Em certa medida, essas categorias também podem se relacionar com o domínio da representação social, no sentido de elucidar categorias que se aproximem de uma representação social reificada.

Segundo Corbin e Strauss (2015), é potencialmente proveitoso, durante a codificação axial, usar mecanismos como diagramas ou grafos para mostrar relações entre conceitos e categorias. Esses mecanismos ajudam a relacionar conceitos e categorias a categorias consideradas mais centrais, ou principais. Sobre o estudo de consumo de drogas realizado por Corbin e Strauss (2015), por exemplo, os autores analisaram entrevistas com diversos alunos e identificaram a existência de algumas categorias principais, experiências passadas com drogas, que podem ter ido de um uso limitado ou um uso pesado, e uma categoria que remete ao uso de drogas propriamente dito, que vai de um uso que não causa nenhum efeito ou injúrias, até o uso excessivo. Essas categorias são ilustradas na Figura 13:

Figura 13: Um possível diagrama para relacionar conceitos e categorias em torno de categorias principais com o objetivo de chegar a uma teoria fundamentada.



Fonte: Corbin e Strauss (2015).

De maneira geral, o processo de codificação é realizado até que se perceba que a teoria já está alcançando um ponto de saturação, isto é, um ponto em que não é mais possível identificar novas categorias. Assim, a teoria apresenta consistência interna relativamente aos dados, pois indica que os dados foram abrangidos por todas as categorias que surgiram da codificação e das técnicas associadas. Quando se atinge esse

ponto de saturação, é relevante a construção de diagramas, para melhor visualizar e mapear as relações entre categorias e conceitos.

Em nosso contexto, apresentamos após a análise dos dados, um diagrama conceitual, no qual buscamos associar conceitos principais (categorias axiais) com os conceitos mais gerais (categorias), de forma a representar esquematicamente como as categorias se relacionam para melhor compreender como, na educação científica, a religiosidade do pesquisador não embarça, tampouco impossibilita seu fazer científico, e como isso pode ser relevante para promover uma representação social da ciência, no contexto da Física Quântica, alinhada com o saber científico atual.

4.3 Entrevistas semiestruturadas com professores de Física

Após a aplicação do questionário preliminar, como já descrito anteriormente, dedicamo-nos à elaboração de um módulo didático aplicável em turmas de Ensino Médio, de forma a abordar os assuntos discutidos em nossa pesquisa na Escola Básica, que deve ser uma das preocupações de um pesquisador em Ensino de Física. Em virtude do interesse em ministrar tópicos iniciais de Física Quântica no Ensino Médio, e dado que este ainda é um tema que, apesar de incentivado, pouco chega de fato à Escola Básica, ficamos com os seguintes questionamentos: qual seria a melhor forma de ministrar esse tema? Quais tópicos deveriam ser ministrados? Em certo sentido, essa era uma preocupação de educadores americanos, durante a década de 1950, onde havia o questionamento de como elaborar um currículo capaz de formar futuros cientistas, quais deveriam ser os tópicos abordados e como decidir entre os diferentes tópicos, entre diversas outras preocupações pertinentes à época. Um importante pesquisador em educação desse período foi o norte-americano Jerome Bruner, que apontou diversas sugestões e práticas que poderiam ser seguidas para alcançar o objetivo que se queria, à época, a formação de cientistas capazes de auxiliar no desenvolvimento científico e tecnológico do país durante o período da Guerra Fria.

O ponto principal por nós utilizado da teoria de ensino de Bruner, contida sobretudo, na obra *O Processo da Educação* (BRUNER, 1977), é a atenção dada por ele para o currículo, e suas sugestões de como escolher e preparar temas a serem ensinados no Ensino Médio. Esclarecemos, entretanto, que nossa perspectiva quanto ao ensino de Física Quântica é voltada para a formação de uma representação social contemporânea

pelos alunos e que corresponda a um correto entendimento da Física Quântica e, de maneira geral, da Ciência. Desta forma, as sugestões de Bruner no âmbito de formação de cientistas foram tomadas como inspiração metodológica para alcançarmos nosso objetivo.

Bruner e colaboradores, em Massachussets (BRUNER, 1977), alcançavam progressos sobre um programa de ensino de Física tido como ideal para o ensino secundário, à época quando o objetivo era formar cientistas no âmbito da Guerra Fria, ao incluírem os esforços não só de autores de textos, produtores de filmes e educadores, mas também de pessoas que possuíam algum destaque no campo da Física teórica e experimental. Nesse sentido, é recomendado na obra de Bruner “discutir um modo de facilitar as relações entre os cientistas das universidades e os que ensinam nas escolas” (BRUNER, 1977, p. 18). Assim, Bruner sugere que para a elaboração de um programa tido por ele como ideal, um currículo ideal para a Escola Básica, não apenas educadores e pessoas diretamente ligadas à Escola deveriam estar inseridas no processo de elaboração [do currículo], mas também físicos de formação, especialistas com experiência em pesquisa em Física, deveriam estar, de alguma forma, envolvidos.

Nesse sentido, procuramos durante o planejamento do módulo didático, colocar em prática esta sugestão específica da teoria de Bruner. Embora o contexto atual seja muito distinto daquele que moveu Bruner, ele não se modificou no que diz respeito ao desafios de ensinar Física Quântica no nível secundário, esta é a razão principal por que procedemos de maneira semelhante a Krijtenburg-Lewerissa, Pol, Brinkman e van Joolingen (2019), como já mencionado em nossa revisão de literatura, os quais realizaram um estudo denominado *estudo Delphi*, com quarenta e oito professores de diversas universidade holandesas. No estudo, os professores foram entrevistados e solicitados a indicar quais temas julgavam indispensáveis em uma sequência didática sobre Física Quântica para o Ensino Médio. Procedemos de maneira semelhante, com a utilização de entrevistas semiestruturadas realizadas com alguns professores do Instituto de Física da UFRGS.

Massoni e Moreira (2017) destacam que em entrevistas semiestruturadas, as questões direcionadas ao público entrevistado são abertas e flexíveis, permitindo que os sujeitos verbalizem livremente seus pensamentos, tendências e reflexões sobre o tema focalizado. Nesta modalidade de entrevista – existem diversas outras modalidades – aquele que entrevista pode levantar novas questões de acordo com a dinâmica do

diálogo, que acontece naturalmente. O roteiro da entrevista compõe-se de uma lista de tópicos selecionados e não de questões fechadas. Assim, os dados obtidos geralmente não possuem uma forma determinada e por essa razão exigem um pouco mais de esforço para interpretação do que questionários com perguntas fechadas. Em compensação, podem ser mais ricos e resultar em informações mais profundas, uma vez que a discussão, por ser livre, pode suscitar tópicos ou temas que não poderiam ser mencionados em uma entrevista rígida, fechada.

Desse modo, prosseguimos com a execução de entrevistas semiestruturadas com alguns professores de Física do Instituto de Física da UFRGS, que foram escolhidos por terem já ministrado alguma cadeira de Física Quântica na universidade, a nível introdutório ou avançado. As entrevistas foram realizadas com sete professores do Instituto, com a seguinte pergunta norteadora para as discussões:

- *Que tópicos e que sequência o senhor(a) considera de extrema importância para um módulo didático de FQ no EM?*

As respostas foram diversificadas e coletadas com o auxílio de um diário de campo. As entrevistas tomaram rumos distintos, por vezes com sugestões de leituras, seja de livros ou de artigos, ora com sugestões de atividades experimentais, além, evidentemente, de sugestões diretamente relacionadas com a pergunta que guiou as discussões. Vale destacar que um dos professores entrevistados se envolveu e auxiliou muito ativamente neste estudo, com diversas sugestões e com encontros regulares além do selecionado para a entrevista. Por esta razão, foi convidado para coorientar esta pesquisa. As respostas às entrevistas são devidamente apresentadas na seção sobre as análises dos dados no Capítulo 5. Na organização e análise das respostas, foi feita uma listagem simples dos conceitos sugeridos pelos professores e também uma nuvem de palavras, realizada com o *software* IRAMuTeQ, que permite fazer diferentes formas de análise textual, inclusive com a formação de nuvem de palavras, onde palavras ou expressões mais repetidas ao longo de um texto (em nosso caso da transcrição do diário de campo contendo as respostas das entrevistas) ficam em maior destaque na nuvem. Assim, transcrevendo as entrevistas em qualquer programa de edição de texto, seguindo o padrão aconselhado pelos manuais que acompanham o programa, o *software* analisa o texto e permite, então, a construção de uma nuvem de palavras, que é elaborada para auxiliar na visualização dos termos mais relevantes relacionados às entrevistas.

4.4 O Delineamento do Estudo de Caso

Com o estudo preliminar (baseado na aplicação de curto questionário junto a estudantes do Ensino Médio) e com as entrevistas realizadas com os professores especialistas, nossa atividade de pesquisa foi encaminhada à preparação e execução do módulo didático. Destacamos até aqui ferramentas analíticas para tratar os dados coletados. Porém é preciso destacar ainda como foi feita a aplicação do módulo didático na escola.

Para isso, valemo-nos do estudo de caso na acepção de Stake, com apontamentos acerca da obra *Investigación com estudio de casos* (1998). Assim, as ferramentas metodológicas associadas ao estudo de caso foram utilizadas em nosso contexto de pesquisa para fins de delineamento da pesquisa relacionada ao Estudo 2: um caso, uma sala de aula de Ensino Médio da Escola Básica, em uma intervenção didática. Os dados que emergirem do caso estudado foram analisados com as ferramentas já discutidas.

Segundo Stake, o estudo de caso é definido como sendo “o estudo da particularidade e complexidade de um caso singular, para entender sua atividade em circunstâncias importantes” (STAKE, 1998, p. 11, tradução nossa). O caso pode ser uma pessoa, um grupo de estudantes, ou um certo movimento de profissionais. O caso é um entre muitos e, qualquer que seja o estudo, o pesquisador se concentra nele. Segundo Stake afirma, pode-se passar um dia ou um mês analisando o caso, mas enquanto se está focado nisso, se está realizando um estudo de caso. Um ponto interessante para se comparar com outras metodologias de análise em pesquisas qualitativas, é a atenção do autor para generalizações. Evidentemente se almeja em um estudo de caso fazer generalizações para situações mais amplas, quando mencionamos que se realiza um estudo de caso em uma sala de aula, se almeja que o estudo possa ser generalizável para diversas outras salas de aula. Contudo, Stake (1998) defende que o estudo de caso que propõe é mais adequado para propiciar situações para criar ou modificar generalizações, mas não criar generalizações *per se*. Ele enfatiza que “não escolhemos o modelo de estudo de caso para alcançar a melhor produção de generalizações. Os estudos comparativos e correlativos mais tradicionais são mais adequados para esta tarefa” (STAKE, 1998, p. 20, tradução nossa).

Uma metodologia analítica em que se utilizam frequentemente estudos comparativos é a Teoria Fundamentada, o que a mostra adequada para análise dos dados

que surgem do estudo de caso. Além disso, Stake (1998) defende que a tarefa mais importante do estudo de caso é a **particularização, não a generalização**. O pesquisador toma um caso particular, como uma turma de Ensino Médio, por exemplo, e conhece-o bem, não para entender como ele difere de demais casos (como em situações em que se aplicam duas metodologias, uma tradicional e uma inovadora para diferentes casos, para analisar como são os resultados), mas para ver o que é e o que faz o caso estudado. Destaca-se nesta acepção a unicidade do caso, isso pode implicar conhecimento de outros casos em que o caso em questão difere, mas o objetivo principal é a compreensão deste último.

Stake (1998) também enfatiza que a interpretação é uma parte fundamental de qualquer investigação. O autor destaca que há pesquisadores que argumentam que a investigação qualitativa é mais interpretativa do que a quantitativa, e por isso perde rigor científico. Pesquisadores em estudo de caso, comenta ele, têm a tendência de fazer afirmações sobre relativamente poucos dados, invocando o privilégio e a responsabilidade da interpretação. Mas confiar demais na interpretação pode ser um equívoco, pois pode sugerir que o trabalho em um estudo de caso tem pressa de tirar conclusões. Nesse sentido, Stake (1998, p. 23, tradução nossa) alerta que “o bom estudo de caso é paciente, reflexivo, disposto a considerar outras versões de casos. A ética da precaução não é incompatível com a ética da interpretação”. Dessa forma, o pesquisador qualitativo no processo de coleta de dados deve buscar manter conclusões baseadas em observações e em muitos outros dados, não relegando à interpretação suas conclusões com suporte de poucos dados. Se faz necessária uma coleta ampla de dados, uma descrição detalhada do caso estudado, para que com auxílio da interpretação do pesquisador, seja possível chegar a conclusões coerentes e relevantes.

Em síntese, segundo menciona Yazan (2015), esta importância na coleta de dados e interpretação remete a quatro características definidoras da pesquisa qualitativa que também são válidas para estudos de caso qualitativos na acepção de Stake, isto é, os estudos de caso são *holísticos, empíricos, interpretativos e empáticos*. Segundo Yazan (2015), estudo de caso holístico significa que o pesquisador deve considerar a inter-relação entre o fenômeno e seus contextos. Ser empírico significa que o pesquisador baseia o estudo em suas observações de campo, fundamenta seus achados em dados coletados. Interpretativo, como já indicado, significa que o pesquisador se apoia em sua intuição e vê a pesquisa basicamente como uma interação entre sujeito e pesquisador

(professor e aluno), compatível com uma epistemologia que leva em conta diferentes alternativas, diferentes vozes e olhares, como adverte Feyerabend, por exemplo. Por fim, empático significa que o pesquisador reflete as experiências dos sujeitos, se colocando no lugar do sujeito (professor se colocando no lugar do aluno) para interpretar suas vozes, suas afirmações, no que é chamado de perspectiva êmica.

O termo êmico está muito relacionado à noção de empatia, pois uma perspectiva êmica busca descrever categorias e valores internos próprios a grupos em estudo e tomados segundo a lógica e coerência próprias com que se apresentam. O termo êmica está relacionado com ética, contudo êmico se refere a uma pesquisa de dentro do grupo social (da perspectiva do sujeito que compõe o grupo) e ética, de fora (da perspectiva do pesquisador, daí o termo estudo etnográfico, por exemplo). Dada esta perspectiva êmica do estudo de caso na acepção de Stake, tem-se, assim, mais uma defesa ao uso deste autor como nosso referencial de análise, no que se refere ao delineamento do Estudo 2, dado nosso uso da Teoria das Representações Sociais e preocupação com a aprendizagem do grupo.

Ao contrário de outros teóricos de estudos de caso, que sugerem um design rígido e estruturado na metodologia, Stake (1998) defende um design mais flexível, que permita aos pesquisadores fazer mudanças, mesmo depois de iniciada a pesquisa. A única preocupação é para com as questões que o pesquisador almeja responder. Elas precisam estar bem delimitadas para que se dirija a atenção para características relacionadas a elas, e para que possam ser melhor visualizadas e coletadas pelo pesquisador durante a execução do estudo de caso: “talvez a tarefa mais difícil do pesquisador seja projetar boas perguntas, pesquisar questões que direcionem a atenção e pensamento o suficiente, mas não excessivamente.” (STAKE, 1998, p. 25, tradução nossa).

Assim, utilizamos a noção de estudo de caso a partir da obra de Stake (1998) para fins de delineamento do caso a ser estudado, com as ferramentas de análise e validação sendo incorporadas da Teoria Fundamentada, além de algumas ferramentas de análise próprias da TRS ou associadas à ela, relacionadas ao estudo das Representações Sociais. Nosso caso estudado foi uma turma de Ensino Médio de uma das escolas onde foi aplicado o questionário preliminar já elucidado. Optou-se por uma turma de terceiro ano de Ensino Médio da Escola Heitor Villa-Lobos (Figura 14 e Figura 15), da cidade de Gravataí. O critério mais importante para esta *escolha* (afinal, é uma escolha, uma

decisão, um recorte, pois não seria possível fazer a pesquisa nas três escolas em um prazo curto como é o de uma Dissertação de Mestrado) foi o da praticidade, isto é, dentre as três escolas, esta era a mais acessível para o autor desta dissertação, por questão de locomoção e acesso. Além disso, observamos que as demais escolas, de Porto Alegre, frequentemente recebem estagiários da universidade, oriundos de programas como o Programa Nacional de Bolsa de Iniciação à Docência (PIBID) ou do estágio obrigatório dos cursos de Licenciatura, de forma que os alunos destas escolas já possuíam algum contato com a universidade. Os alunos de Gravataí, conforme destacaram direção e professora de Física do colégio, nunca tinham tido contato com um estagiário da UFRGS, assim acreditamos que realizar o módulo didático nesta escola poderia ser uma experiência mais marcante para os alunos de Gravataí, além de que a escola se encontra em uma região de marginalidade, próxima ao chamado Morro do Coco, região em Gravataí marcada pelo tráfico de drogas. Apresentar a UFRGS a estes alunos e mostrar a eles que o ingresso em uma universidade pública de qualidade é possível foi algo que também motivou a escolha deste colégio.

O módulo didático sobre Física Quântica foi ministrado durante os meses de setembro e outubro de 2019. Classificamos esta turma como um caso e passamos a estudá-lo em detalhe, coletando dados de diversas formas, a saber: gravação em áudio de aulas quando foi possível, anotação de discussões que surgiram em sala de aula no diário de bordo do pesquisador, além de questionários aplicados no começo do módulo (idêntico ao questionário preliminar aplicado em 2018, como narrado no Estudo 1, subitem 5.1o), durante o módulo, e questões abertas em uma atividade avaliativa, e um último questionário aplicado ao final do módulo didático²⁴ (Apêndice D), para avaliar principalmente: 1) se houve a formação de uma nova representação social sobre o conceito Quântica; 2) se evoluiu a percepção dos alunos sobre a relação entre ciência e religiosidade; 3) observar se os alunos captaram as ideias principais sobre Física Quântica abordadas no módulo didático; e 4) obter *feedbacks* dos alunos sobre a prática didática.

²⁴ Pretendia-se aplicar este questionário presencialmente, tal qual havia sido para o questionário inicial, contudo as escolas estaduais entraram em um intenso período de greves em 2019, que durou até o mês de janeiro de 2020, de forma que este questionário foi feito remotamente, com a utilização do *Google Forms*.

Figura 14: Entrada e pátio frontal da Escola Heitor Villa-Lobos, de Gravataí, RS.



Fonte: fotos capturadas pelo autor (2019).

Figura 15: Pátio dos fundos e sala da turma onde o Módulo Didático foi conduzido, na escola Heitor Villa-Lobos, de Gravataí, RS.



Fonte: fotos capturadas pelo autor (2019).

Como se pode observar nas imagens, a escola e as salas de aula têm uma infraestrutura de boa qualidade, sendo as salas de aula espaçosas, claras e oferecendo um ambiente agradável ao processo de ensino-aprendizagem. Destacamos que isso também é relevante para que a pesquisa em Representações Sociais, uma vez que em ambientes onde os indivíduos se sintam mais à vontade são os mais propícios para se observar a emergência de novos significados, que podem resultar em ancoragem (MOSCOVICI, 2015). O espaço físico, apenas, não garante que os alunos se sintam acolhidos e à vontade, mas é uma condição importante para que isso aconteça.

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1 Estudo Preliminar: Estudo 1

Neste capítulo passamos à apresentação e análise dos estudos realizados ao longo da presente investigação. A primeira seção é dedicada à apresentação do Estudo 1, onde são discutidos os dados coletados com este estudo preliminar. Ao longo da discussão apresentada no item subsequente é possível identificar como o Estudo 1 trouxe indicações de como deveria ser realizado o módulo didático, que é medular nesta pesquisa. Na segunda seção, apresentamos as entrevistas com os professores de Física e, por fim, na terceira seção, apresentamos como se deu aplicação do módulo didático, que chamamos de Estudo 2.

5.1.1 Etapa 1: Mapeando as RS e a percepção dos alunos sobre a relação entre Ciência e Religiosidade

Neste estudo preliminar 291 alunos das três escolas selecionadas responderam ao questionário inicial proposto (Apêndice A). Damos preferência para alunos de turmas de terceiro e segundo anos de Ensino Médio, pois entendemos que alunos destas turmas poderiam já ter entrado em contato com tópicos de Física Quântica, sendo isso válido especialmente para os alunos de terceiro ano, ou seja, aqueles alunos que poderiam compor o grupo a quem o módulo didático futuramente seria aplicado e que no momento de aplicação do questionário estavam cursando o segundo ano, uma vez que o módulo foi aplicado no ano seguinte ao da aplicação do questionário. Assim, mapear a RS destes alunos e sua percepção sobre a relação entre ciência e religiosidade se tornaria relevante para a preparação e execução do módulo didático. Eventualmente, nem todas as turmas de terceiro e segundo ano puderam responder ao questionário, por estarem em outras atividades, como trabalhos avaliativos ou aulas de educação física, então alguns professores de primeiro ano cederam espaço, outros convidaram, para que o questionário fosse aplicado também com alunos de primeiro ano do Ensino Médio.

Nossa amostra para este estudo preliminar contabiliza 100 alunos do Instituto de Educação Flores da Cunha, de Porto Alegre, RS, sendo 17 alunos de terceiro ano, 52 alunos de segundo ano e 31 alunos de primeiro ano do Ensino Médio. No Instituto

Estadual Rio Branco, também de Porto Alegre, tivemos um total de 97 alunos, sendo 64 alunos de terceiro ano, 33 alunos de segundo ano e nenhum aluno de primeiro ano. Para o colégio Heitor Villa-Lobos, da cidade de Gravataí, RS, tivemos um total de 94 alunos, sendo 24 alunos de terceiro ano, 28 alunos de segundo ano e 42 alunos de primeiro ano, totalizando em 291 respondentes. Todos os alunos responderam integralmente ao questionário.

A primeira questão do questionário trata da evocação de palavras relacionadas à Quântica. Obtivemos um número de 701 evocações, ou seja, 701 palavras e/ou expressões curtas lembradas pelos estudantes quando ouvem a palavra “quântica”. Todos esses termos foram transcritos e posteriormente computados com o programa IRAMuTeQ, como já destacado em nosso capítulo sobre a metodologia.

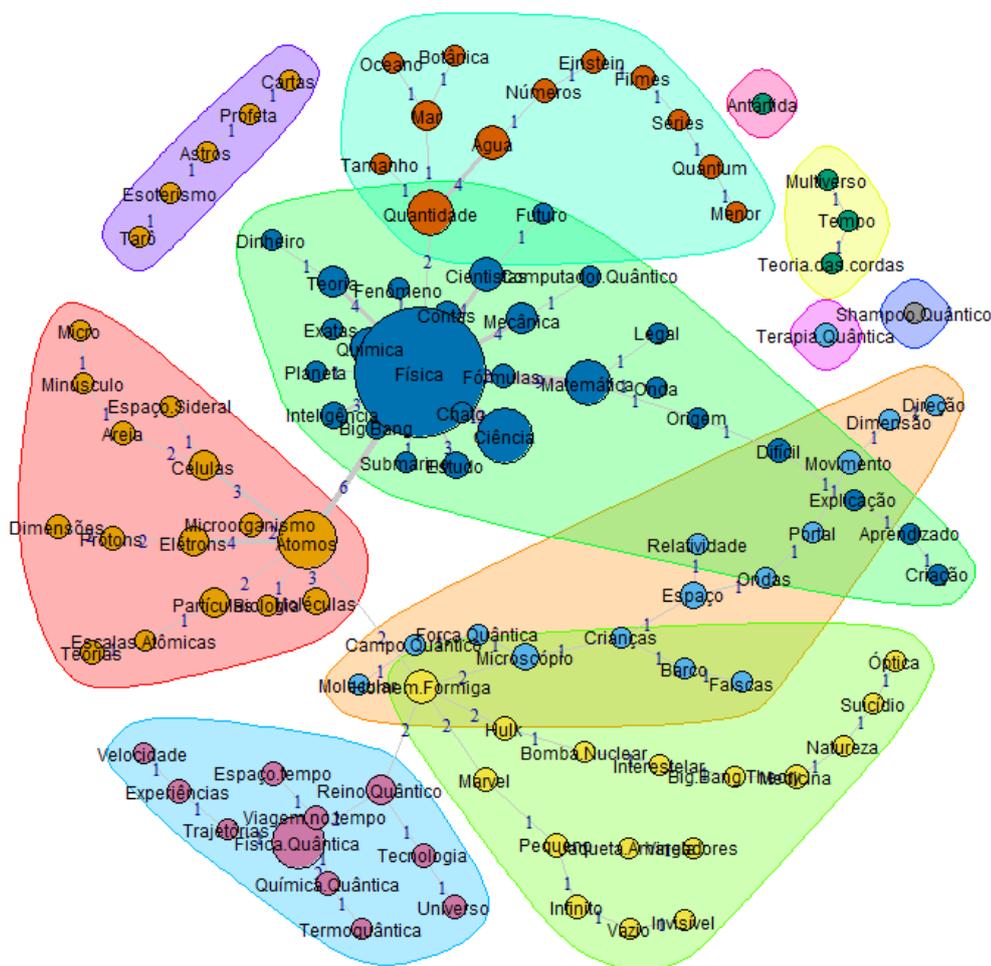
Contudo, é preciso separar estes alunos em grupos sociais característicos. A TRS indica que uma RS é vista como um fenômeno para o qual está relacionado um modo particular de compreender e de se comunicar (MOSCOVICI, 2015), de modo que uma representação é algo típico de um grupo particular de indivíduos. Tomar três grupos de alunos, vinculados a três diferentes escolas situadas em locais e até cidades distintas, e buscar formar uma única RS para todos os 291 alunos é aqui entendido como algo a ser evitado, pois não constituem um grupo homogêneo, possuem particularidades e especificidades locais, contextuais. Os alunos das diferentes escolas que constituíram nossa amostra certamente não interagem todos entre si, afinal são de escolas distantes, até de cidades diferentes (e aqui usamos o sentido mais ordinário do termo, de os alunos não se encontrarem e conversarem cotidianamente, não é o sentido de conversação ou comunicação mais amplo, no âmbito da sociedade) de forma que se perde as características de grupo, estas que formam ou moldam a representação social como, por exemplo, a convencionalização e a prescrição de uma RS.

O mais adequado é agrupar evocações para cada turma individualmente, para assim, com o auxílio do programa montar uma rede de similitude que permita a visualização da RS. Entretanto, se assim procedêssemos, nos depararíamos com dezenas de redes de similitudes que corresponderiam cada uma a uma RS, o que tomaria um tempo de análise excessivo, além de se ter muitas redes de similitude muito simples, o que dificultaria uma análise detalhada. Assim, agrupamos as evocações obtidas em cada escola, assumindo que os alunos das diferentes turmas tivessem um mínimo de interação em ambientes fora da sala de aula, como no pátio ou no refeitório, por

exemplo. Neste ponto fomos favorecidos pelas ideias de Moscovici (2015), que enfatiza que locais em que os indivíduos se sentem mais à vontade são mais propícios para se observar a emergência de novos significados, que podem resultar em uma ancoragem de novos conceitos na representação social. Dessa forma, segundo a TRS, é razoável tomar os alunos respondentes de um colégio e assumir que eles compartilhem de uma RS própria, com certa uniformidade. De forma que, por outro lado, não parece adequado formularmos uma RS única para todos os 291 alunos que responderam ao questionário.

Desta forma, foram formadas três redes de similitude, uma para os 100 alunos do Instituto de Educação Flores da Cunha, com 303 evocações; uma rede de similitude para os 97 alunos do Instituto Estadual Rio Branco, com 216 evocações, e outra rede para os 94 alunos do colégio Heitor Villa-Lobos, com 182 evocações. Cada grupo de evocações foi então transcrito e preparado pelo pesquisador para então analisar com o IRAMuTeQ, que realiza automaticamente a análise de similitudes, sendo possível ao usuário selecionar se deseja a formação de grupos, *clusters*, que o programa elabora, também automaticamente, sobre as evocações que apresentam maior semelhança. Outra opção seria construir uma rede de similitude sem *cluster*, seria uma rede que apenas mostra as relações entre palavras. Optamos, assim, pela formação de *cluster*. Em primeiro lugar obtivemos a rede de similitudes para o Instituto de Educação Flores da Cunha, apresentada na Figura 16.

Figura 16: Rede de Similitude a partir de evocações obtidas no Instituto de Educação Flores da Cunha, Porto Alegre, RS.



Fonte: elaborado pelo autor (2019), com uso do IRAMuTeQ.

Dessa forma, tem-se elaborada a rede de similitudes entre termos evocados, a partir do uso da TALP, que permite oferecer uma visualização esquemática da RS para este grupo de alunos. Conforme salientado por Abric (2001), uma RS possui uma região central e uma região periférica. A região central é formada automaticamente pelo programa com base nos termos mais evocados, sendo que neste caso, a palavra que recebeu mais evocações foi o termo “Física”, sendo lembrado 38 (trinta e oito) vezes pelos 100 alunos respondentes dessa escola.

Vale destacar que os tópicos geralmente listados em currículos para o Ensino de Física Quântica (KRIJTENBURG-LEWERISSA; POL; BRINKMAN; VAN JOOLINGEN, 2019), como *Incerteza*, *Probabilidade*, *Dualidade* e outros (HILGER; MOREIRA, 2012), que constituem o universo reificado do tema (MOSCOVICI, 2015) não são observados nesta representação. Interpretamos isto como uma possível

manifestação dos sistemas de pensamento salientados na obra de Kahneman (2012), Sistema 1 e Sistema 2. O autor destaca que o Sistema 1 é aquele que opera automaticamente, sem esforço e percepção de controle voluntário, funcionando rapidamente e sendo responsável pelo pensamento intuitivo. Quando um aluno é solicitado a responder aquilo que lhe vem à mente quando ouve ou lê o termo “Quântica”, as respostas serão geralmente intuitivas, sem grande reflexão, e portanto estes conceitos emergem por influência do Sistema 1, que em muitos casos está desassociado do universo reificado (MOSCOVICI, 2015) para a Física Quântica. Dito de outra forma, muito possivelmente essa intuitividade manifestada tende a mostrar que o universo reificado, aquele pensado para sistematizar um ensino de Física Quântica e capaz de gerar alfabetização científica, não tenha chegado nessa escola, permitindo a emergência de diferentes papéis de participação, ancorados muito mais por competências individuais alcançadas pelos estudantes ao longo de suas trajetórias dentro e fora da escola.

Assim, em uma pesquisa que está atenta para o uso de representações sociais, entendemos que se deve trabalhar o Sistema 1 do grupo social para que o pensamento intuitivo traga termos eventualmente resultantes do universo reificado (ou seja, fruto de um aprendizado sistematizado e cientificamente alinhado a respeito do tema que se investiga), não mais do universo consensual onde as representações sociais são uma espécie de medida de todas as coisas. Isso pode ser também um indício de alfabetização científica adequada, como comentado no parágrafo anterior.

Por outro lado, o Sistema 2, como salienta Kahneman (2012), está associado a atividades laboriosas, relacionadas a cálculos com algum grau de complexidade, ou reflexões elaboradas acerca de um dado tema. Em uma atividade didática, o Sistema 2 também precisa ser trabalhado, pois não se pode apenas aprimorar o pensamento intuitivo dos alunos, mas é fundamental incentivar o aprendizado de conceitos e teorias ligados a expressões matemáticas, e propor o uso da História e Epistemologia da Ciência visando promover reflexões sobre o desenvolvimento da Física Quântica, por exemplo, suas origens epistemológicas, metodológicas e suas consequências na sociedade. Este processo pode seguir princípios contraindutivos segundo propõe Feyerabend (2011a), tal que a discussão auxilia na construção de uma visão livre de ideias, teorias e metodologias tidas como absolutas, gerando uma sociedade mais democrática. Assim, a História e a Epistemologia são tomadas aqui como ferramentas

para que o Sistema 2 seja trabalhado e, gradativamente, possa também fortalecer conceitos e significados que serão intuitivamente incorporados pelo Sistema 1, oportunamente.

Na análise de similitude apresentada na Figura 16, a partir de evocações dos respondentes do Instituto de Educação Flores da Cunha, tem-se que cada lexema evocado é destacado na rede através de um círculo, que aumenta para cada nova evocação, isto é, cada vez que um termo recebe uma nova menção, o círculo correspondente a esse termo aumenta. Por outro lado, cada aresta que une dois lexemas indica a relação entre dois lexemas evocados. Por exemplo, entre os trinta e oito alunos que mencionaram o termo “Física”, seis deles também mencionaram o termos “átomos” (onze evocações); dentre os onze alunos que mencionaram “átomos”, quatro também mencionaram “elétrons” (cinco evocações), e assim sucessivamente, para cada aresta que une dois lexemas.

O *cluster* central de cor verde pode ser identificado como constituindo o núcleo central desta representação, que contém os termos mais evocados, ou termos diretamente ligados a estes, como é o caso de “chato” e “contas”, por exemplo, que são nesta rede diretamente relacionados ao termo “Física”. Segundo a TRS de Moscovici (2015) e trabalhos posteriores em Psicologia Social (ABRIC, 2001), entende-se que o núcleo central de uma RS é o setor mais estável da representação, de forma que ele resiste mais às mudanças, uma vez que aquilo que constitui o núcleo se ancora no sistema de valores compartilhado pelos membros do grupo.

Observa-se que para esta rede da Figura 16 não há concepções ligadas ao misticismo quântico que estejam diretamente associadas no núcleo central, mas elas ocupam a região periférica da RS, uma região tida como móvel e flexível, que por ser alimentada por experiências individuais (ABRIC, 2001), não constitui uma homogeneidade no grupo e, portanto, o misticismo quântico não constitui um pensamento comum ao grupo. Não constituir pensamento comum ao grupo é algo que é perceptível tomando-se respaldo na literatura, especialmente no trabalho de Abric (2001). Segundo o autor, ideias que forem identificadas, por pesquisadores que se utilizam da TRS, como periféricas, são momentâneas, sujeitas a contextos e condições imediatas e não refletem um pensamento firme, estável e homogêneo de grupo. Ao identificarmos que termos que podem se relacionar ao misticismo quântico não estavam no núcleo (identificar isso é tarefa possível, ou ao menos muito facilitada, com o uso do

software), então foi possível afirmar que estes termos não constituem o pensamento do grupo. Nesse sentido, há, por exemplo, a formação do *cluster* destacado em cor roxa, que contém as evocações “tarô”, “esoterismo”, “astros”, “profetas” e “cartas”, o *cluster* em lilás que contém o lexema “Terapia Quântica” e o *cluster* em azul que contém o termo “Shampoo Quântico”. Cada um destes *clusters* correspondem a apenas um aluno cada, com essas evocações não ocorrendo para nenhum outro aluno. Nesse sentido, são entendidos claramente como constituintes da periferia da RS, em acordo com o salientado por Abric (2001), de que correspondem a experiências individuais, vivências e situações específicas. Por constituírem a periferia da RS, são lexemas que correspondem a ideias que podem ser mais facilmente trabalhadas e eventualmente transformadas em concepções mais adequadas à Física Quântica, mais adequadas ao universo consensual científico (HILGER; MOREIRA, 2012), ou universo reificado científico (MATURANO; MAZZITELLI, 2016; LIMA; MACHADO, 2011), ou simplesmente universo reificado, como destacado por Moscovici (2015). Se esses lexemas fossem identificados como pertencentes ao núcleo central a situação seria de maior preocupação, e um trabalho mais cuidadoso para com este fato deveria ser conduzido em uma atividade didática.

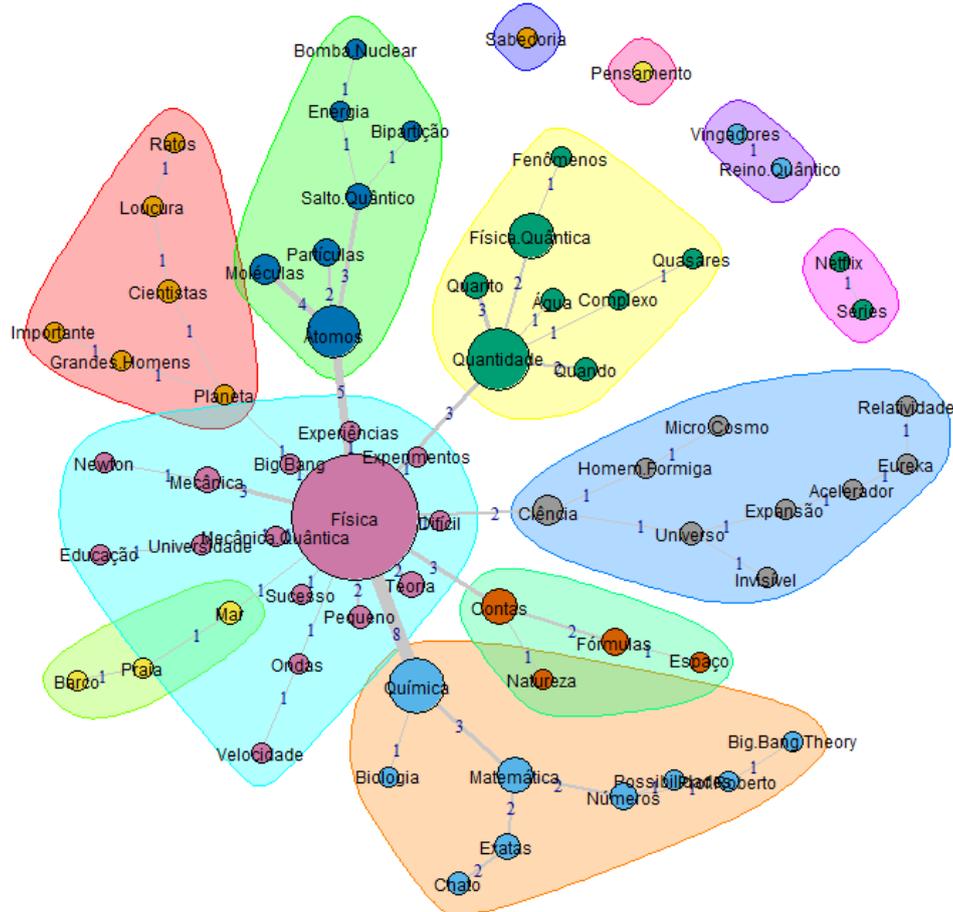
Observa-se ainda nesta rede da Figura 16, a evocação do termo “água” (seis evocações), próximo a “mar” (três evocações) e “oceano” (uma evocação). Trata-se de um termo que parece ter pouca ou nenhuma relação com “Quântica”, contudo, como identificado na literatura (HILGER; MOREIRA, 2012), este e outros termos como “pensamento” e “mente”, são comumente relacionados à Física Quântica em decorrência de concepções erradas sobre o tema, comumente divulgadas em filmes de ficção científica, em desenhos animados e histórias infantis como levantado por Vílchez-González e Palacios (2006).

Contudo, ao contrário de Hilger e Moreira (2012), não identificamos este termo como pertencente ao núcleo da RS, logo, não parecem ser ideias arraigadas para este grupo social, podendo ser mais facilmente amenizadas. Outro *cluster* que revela características relevantes do grupo é destacado em verde claro, na parte inferior esquerda da rede, que contém termos também relacionados à ficção científica e ao cinema de maneira geral, uma vez que contém lexemas como “Homem Formiga” (seis evocações), “Marvel” (duas evocações), “Hulk” (duas evocações), entre outros termos, diretamente relacionados a personagens da ficção, que costumam ser cativantes entre

esse público jovem. Este *cluster*, quando identificado, pode ser tomado como algo proveitoso para o Ensino de Física, pois, como advertem Park, Yang e Song (2019), a relevância da Física Moderna e aspectos NOS (*Nature of Science*) podem ser maximizados quando o professor ou os livros didáticos fazem a conexão entre o conteúdo estudado e artigos de notícias, documentários e filmes de ficção, tornando a atividade didática mais relevante e interessante para os alunos.

Algumas situações semelhantes a essas já discutidas também são observadas na próxima rede de similitude apresentada, correspondente às evocações e RS de alunos do Instituto Estadual Rio Branco. Essa rede foi construída com base em 216 evocações dos 97 alunos do colégio que responderam ao questionário. A rede de similitude para estes alunos é apresentada na Figura 17.

Figura 17: Rede de Similitude a partir de evocações obtidas no Instituto Estadual Rio Branco, Porto Alegre, RS.



Fonte: elaborado pelo autor (2019).

Temos aqui novamente uma rede de similitudes que permite a visualização da RS para este novo grupo de alunos. Nesta rede também é possível notar as regiões centrais e periféricas da representação. O núcleo desta representação é representado pelo *cluster* de cor azul claro e contém como termo central o lexema “Física”, tendo sido lembrado 34 vezes pelos alunos. É interessante notar que o núcleo da representação das Figuras 16 e 17 são muito similares, ambos focando o lexema “Física” (Fórmula, Matemática, Universidade, Experimentos, Educação, Experiências, Fenômeno e vários outros termos associados).

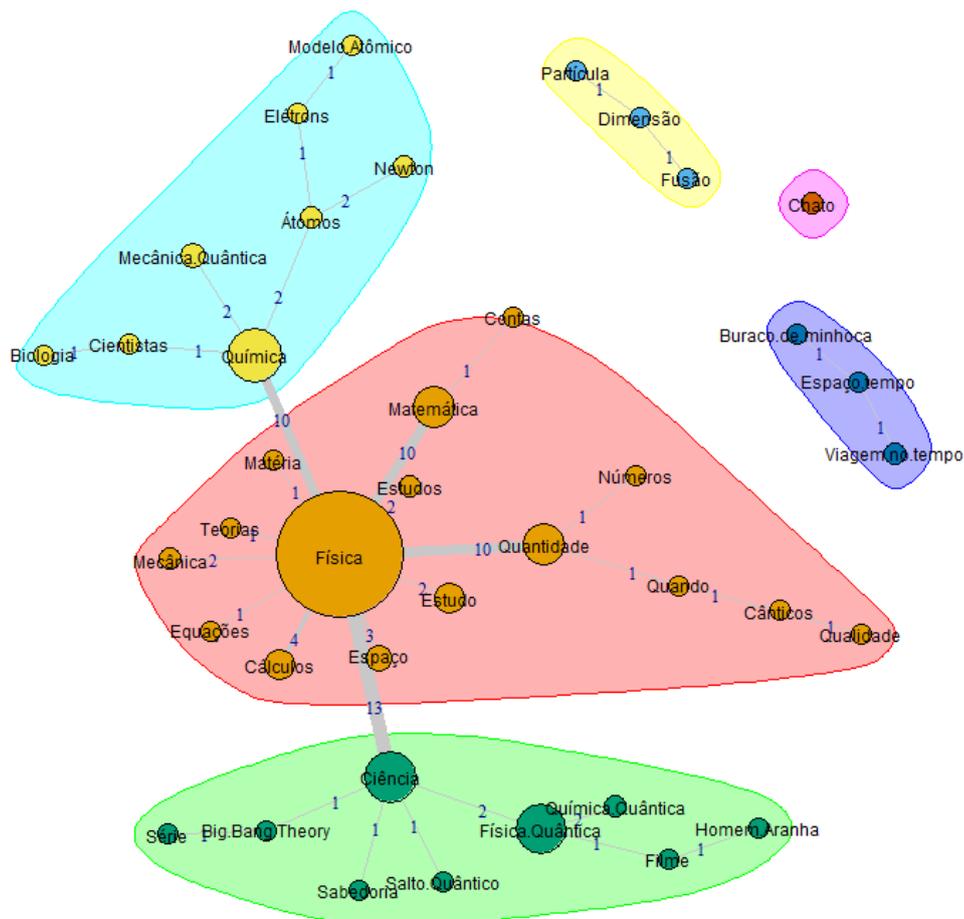
Novamente observamos algumas evocações relacionadas a concepções místicas da Física Quântica, com “água” sendo novamente evocada (uma evocação), bem como “mar”, “praia” e “barco” (todos com uma evocação apenas, em um mesmo *cluster*, sendo de um mesmo respondente), estes tendo sua origem já indicada em Hilger e Moreira (2012). Além destes, também constituem esta RS as palavras “pensamento” (uma evocação) e “sabedoria” (uma evocação), que se mostram como relacionadas ao fenômeno do misticismo quântico. Há ainda um *cluster* que não se relaciona com o misticismo, mas que apresenta alguns termos que estão fora do campo de aplicação e estudo da Quântica, trata-se do *cluster* destacado em cor vermelha, que apresenta termos como “planeta” (uma evocação), “ratos” (uma evocação), além de “loucura” (uma evocação). Contudo, estas evocações constituem a periferia da representação, são termos mencionados poucas vezes, por poucos alunos, de forma que não são representativos do grupo, sendo possível uma intervenção relativamente mais simples para que estas ideias possam ser amenizadas. O termo “planeta”, além disso, se mostra próximo à evocação “Newton” (uma evocação) e “mecânica” (três evocações), mostrando que talvez possa haver confusão no entendimento do que constitui Física Clássica e Física Quântica, ou ausência de uma distinção clara entre os limites clássico e quântico, o que não é incomum nem mesmo entre graduandos.

Por outro lado, algumas potencialidades podem ser notadas na representação. Semelhante à rede de similitude construída para o grupo anterior, aqui também há alguns termos que se relacionam de alguma forma com a ficção científica, como “Vingadores” (uma evocação), “Reino Quântico” (uma evocação), “Big Bang Theory” (uma evocação), ou até mesmo “Netflix” (uma evocação). Para este grupo parece haver uma forte relação com “Química” (treze evocações) e com “átomos” (onze evocações), o que pode ser influência do estudo de modelos atômicos em aulas de Química. Há

ainda uma forte relação com o termo “quantidade” (quatorze evocações), possivelmente pela semelhança semântica com o termo que guia a coleta de dados, que é “quântica”. Contudo, isto pode ser explorado, dada a etimologia do termo, e importância do *quantum*.

No colégio Heitor Villa-Lobos o número de evocações é significativamente menor do que aquele observado nos outros dois grupos, com um total de 182 evocações, o que resulta necessariamente em uma rede de similitude mais simples, com menos ligações e, portanto, um *priming effect* menos intenso (KAHNEMAN, 2012). Contudo, ainda assim é possível identificar alguns conceitos que compõem o núcleo e a periferia da RS, de forma que a análise ainda se mostra profícua. A rede de similitude para as evocações dos alunos do colégio Heitor Villa-Lobos é apresentada na Figura 18.

Figura 18: Rede de Similitude para as evocações do Colégio Heitor Villa-Lobos.



Fonte: elaborado pelo autor (2019).

Observa-se novamente como termo central desta rede o conceito “Física” (49 evocações), mostrando um caráter firme e estático, ao menos do principal termo, nas representações sociais identificadas nesta investigação. A TRS indica que este termo dificilmente pode ser modificado ou retirado do centro da representação, caso isso fosse necessário. De qualquer forma, mostra uma característica importante das representações sociais na teoria de Moscovici (2015), de que uma representação possui características estáticas que aproximam uma representação social do conceito de representação coletiva, contudo há características próprias do conceito de representação social, as quais mostram o caráter evolutivo dos conceitos que compõem a RS, conceitos estes evidenciados no sistema periférico da RS. Nos grupos estudados há conceitos próximos ao núcleo que diferem gradualmente entre esses grupos, mas no núcleo também aparecem diversas semelhanças.

Por exemplo, “Química” é evocado também na rede da Figura 18 (com dezesseis evocações), ligada a “átomos” (duas evocações) que estão ligados a “elétrons” (uma evocação), que por fim estão ligados a “Modelos Atômicos” (uma evocação). Apesar de ser uma fraca ligação nesta rede de similitude, isto reforça a ideia que tivemos na rede anterior, de que pode haver uma associação de Física Quântica com a Química pelos alunos, possivelmente devido ao estudo de modelos atômicos em aulas de Química. Além de Química, Matemática (doze evocações) e quantidade (onze evocações) também se mostram presentes nesta representação de maneira significativa, ligadas ao termo central e constituintes do núcleo central, possivelmente pela associação natural dos alunos entre Física e “Cálculos” (sete evocações), o que é complexo porque é preciso desconstruir a visão equivocada, e muito presente na literatura, de que os alunos veem a Física como uma ciência “difícil”, inatingível, grandemente associada a cálculos, exercícios padronizados e muito pouco conectada com o seu cotidiano.

De outro lado, aparece de novo uma associação possivelmente devida à semelhança semântica entre os termos “Quântica” e “quantidade”, o que pode ser explorado em uma atividade didática ao se enfatizar o conceito de *quantum*, como já destacado. Há ainda um *cluster* em cor verde que revela novamente uma relação da Física Quântica com filmes de ficção, uma vez que aparecem termos como “filme” (uma evocação), “Homem Aranha” (uma evocação), “Big Bang Theory” (uma evocação) e “série” (uma evocação). Nesse *cluster* também se encontra o termo “sabedoria” (uma evocação), que pode ser um indício sobre a presença de concepções

que relacionam a Física Quântica com o “misticismo quântico”. Nesta rede, descartamos a ideia de que “sabedoria” pudesse ser um termo relacionado com misticismo quântico, uma vez que, ao contrário das outras redes de similitude, onde sabedoria vinha acompanhada de outros termos mais próximos do misticismo, como pensamento, ou até mesmo água, desta vez o termo vinha apenas ligado à “Ciência”. Assim, como sabedoria nesta rede se mostra como um termo isolado, ligada à “ciência” (dezesseis evocações), então este termo pode ser entendido como uma associação entre ciência e sabedoria, no sentido de que pode indicar que os alunos encaram os cientistas como exemplos de pessoas de grande sapiência, não sendo, portanto, uma evidência da presença de concepções místicas.

Dessa forma, identificamos na rede de similitude construída para os alunos do colégio Heitor Villa-Lobos, uma fraca ou inexistente presença de concepções ligadas ao misticismo na RS deste grupo sobre “Quântica”. Isto difere das representações sociais manifestas pelas outras duas redes de similitude, onde estes termos aparecem de forma mais clara, mas periférica. Se estes termos fossem identificados como constituintes do núcleo central da RS, uma atividade didática elaborada com o propósito de mitigar este efeito seria muito mais laboriosa, e deveria ser conduzida com um cuidado maior.

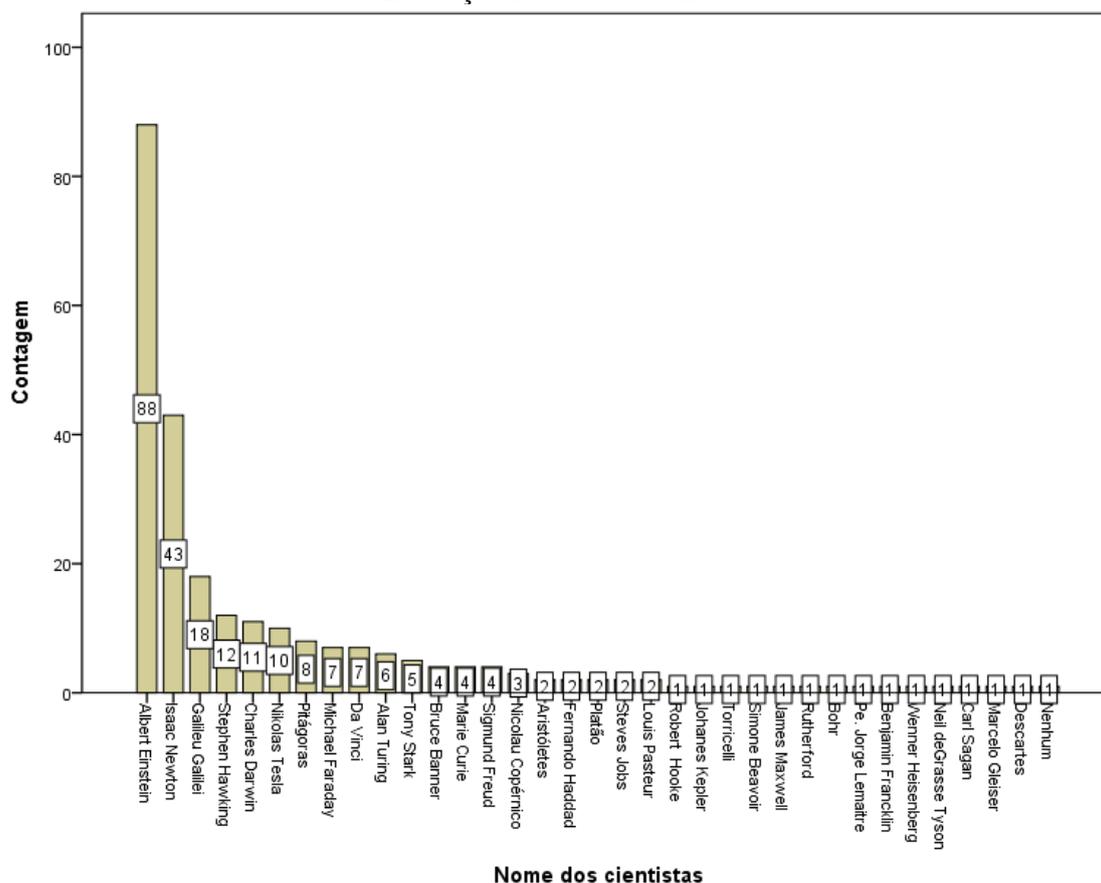
Assim, esta se constitui em uma primeira contribuição da análise de uma RS para o ensino de Física, ou seja, a capacidade de nortear a atividade didática com base naquilo que o grupo pensa e sabe sobre um determinado assunto. Como em nossa pesquisa o módulo didático foi conduzido no ano seguinte à aplicação deste questionário, em uma turma do colégio Heitor Villa-Lobos, identificamos como não necessária uma demorada intervenção para mitigar concepções sobre misticismo quântico, uma vez que não compõem sequer a periferia da RS. Se o foco desta investigação fosse apenas abordar o Ensino de Física Quântica e os chamados escândalos do pensamento social (MOSCOVICI, 2015), em que o misticismo pode ser tomado como um exemplo, então seria interessante conduzir a atividade didática em alguma das outras duas escolas. Contudo, a questão do misticismo era apenas uma das nossas preocupações e esse mapeamento foi feito no sentido de auxiliar na preparação do módulo. Simplesmente, se poucas ideias de misticismo fossem identificadas, pouco tempo seria necessário para discutir este assunto durante as aulas.

Para a análise das respostas à segunda questão do questionário, sobre cientistas de renome que os alunos conhecem, procedemos de maneira semelhante quanto à

separação dos 291 alunos respondentes em grupos. Dividimos os alunos em três grupos, relacionados às três escolas onde o questionário foi aplicado. Todos os alunos responderam a esta questão, de forma que respostas como “não sei” ou “não lembro” também foram contabilizadas, por serem também relevantes, uma vez que isto indica que há um número considerável de alunos que não recordam o nome de um único cientista sequer. Esta situação pode ser tomada sob distintas possibilidades, todas muito preocupantes: 1) mostra um completo desconhecimento ou desinteresse pela Física e pela Ciência por parte de alunos da educação básica de maneira geral; 2) revela um ensino de ciências que não é minimamente baseado em História da Ciência, não discute o trabalho dos cientistas, o contexto de construção das teorias mais bem fundamentadas e a contribuição de cientistas e/ou grupos nesse processo; 3) indica um distanciamento da comunidade científica com relação à sociedade, uma falta de investimento em divulgação da ciência produzida no País. Um estudo recente (CGEE, 2019) mostra que apenas 12% dos entrevistados (jovens) conseguem citar o nome de uma instituição dedicada à pesquisa no Brasil e que nem as Universidades, que correspondem a uma grande parcela da produção científica no nosso País, foram lembradas; que mais 51% pensam que o Brasil está atrasado cientificamente e tecnologicamente. Para reverter esta situação, pensamos que a educação científica ocupa uma posição central.

Na análise desta segunda questão, assim, contabilizamos as 291 respostas com os diversos nomes de cientistas, procedemos com uma listagem simples e elaboramos histogramas com o programa IBM SPSS *Statistics*. O histograma inicial apresentado na Figura 19 mostra os nomes de trinta e cinco cientistas recordados pelos alunos do Instituto de Educação Flores da Cunha e a frequência com que aparecem. A quantidade de alunos que não se recordava de nenhum cientista foi colocada ao final da listagem no gráfico, isto também foi feito para os demais gráficos em barra.

Figura 19: Listagem de cientistas conhecidos pelos alunos do Instituto de Educação Flores da Cunha.



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

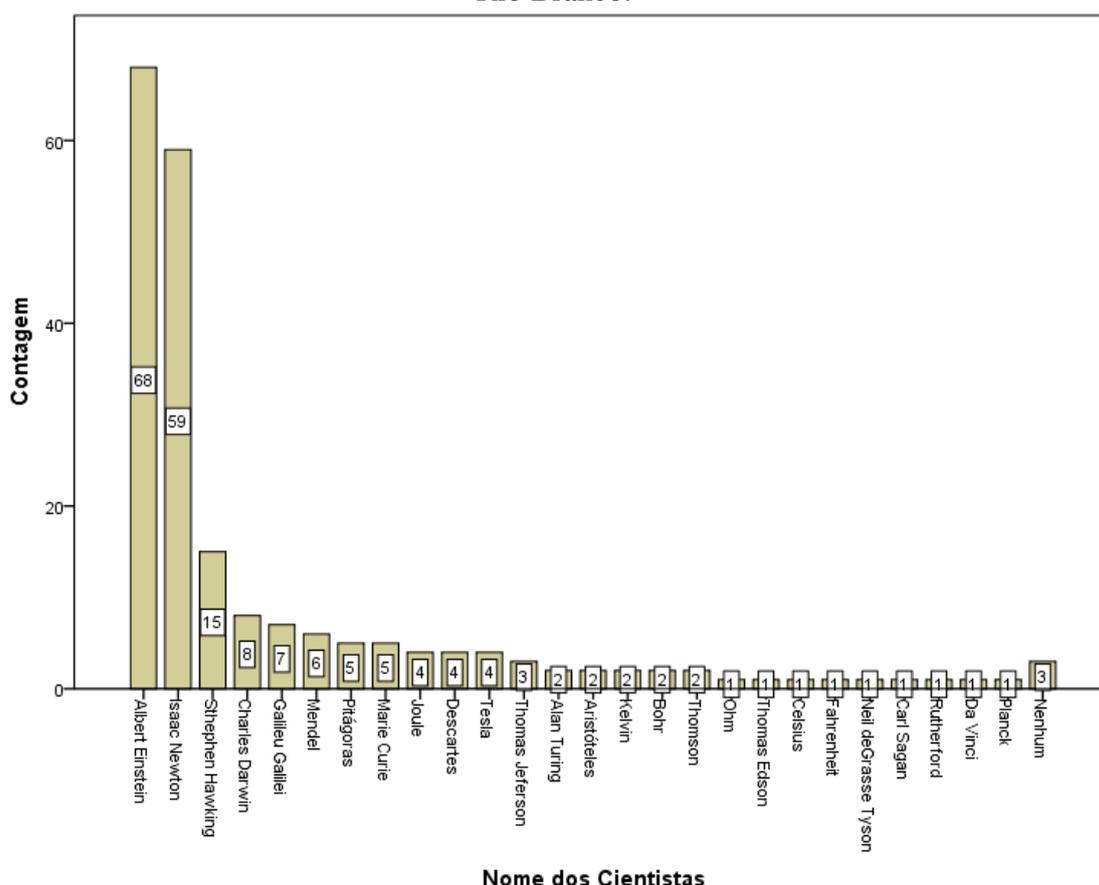
Note-se a grande manifestação de Einstein, como era esperado e já é indicado na literatura (GURGEL, PIETROCOLA, WATANABE, 2014), o que pode estar indicando que quando se pretende utilizar um viés histórico associado à Física Quântica, estudar em maior detalhe a vida e a contribuição científica de Einstein é uma proposta razoável e que pode ser proveitosa, pois se estará abordando uma figura conhecida dos educandos. Além disso, o nome de Einstein pode aparecer como constituindo a RS dos alunos, como notado na rede de similitude construída para os alunos do Instituto de Educação Flores da Cunha, o que reforça esta ideia. O nome de Einstein aparece como mais lembrado (oitenta e oito menções), seguido do de Newton (citado quarenta e três vezes), Galileu Galilei (dezoito vezes) e Stephen Hawking (doze vezes).

Observamos também a presença de duas cientistas, Marie Curie, lembrada quatro vezes e Simone Beauvoir, o que foi um resultado inesperado, esta última lembrada uma vez. Outros nomes não foram previstos, como alguns nomes da ficção, Tony Stark,

lembrado por cinco alunos, e Bruce Banner, lembrado por quatro alunos. Estes nomes reforçam o que foi indicado pelo *cluster* na rede de similitude que abarcava conceitos da ficção científica, indicando que estes personagens e histórias estão no cotidiano dos alunos, pelo menos em termos de produções cinematográficas muito visualizadas, e podem ser proveitosamente explorados por professores de Física. Um nome também inesperado foi o de Fernando Haddad, mencionado duas vezes, dado que o questionário foi aplicado em época de eleições.

Para os noventa e sete alunos do Instituto Estadual Rio Branco, o número de cientistas recordados foi menor, resultando em um total de vinte e sete nomes, contudo seguindo um padrão semelhante ao identificado no histograma anterior. A listagem de cientistas renomados apontados pelos alunos do colégio Rio Branco é mostrada na Figura 20.

Figura 20: Listagem de cientistas conhecidos pelos alunos do Instituto Estadual Rio Branco.

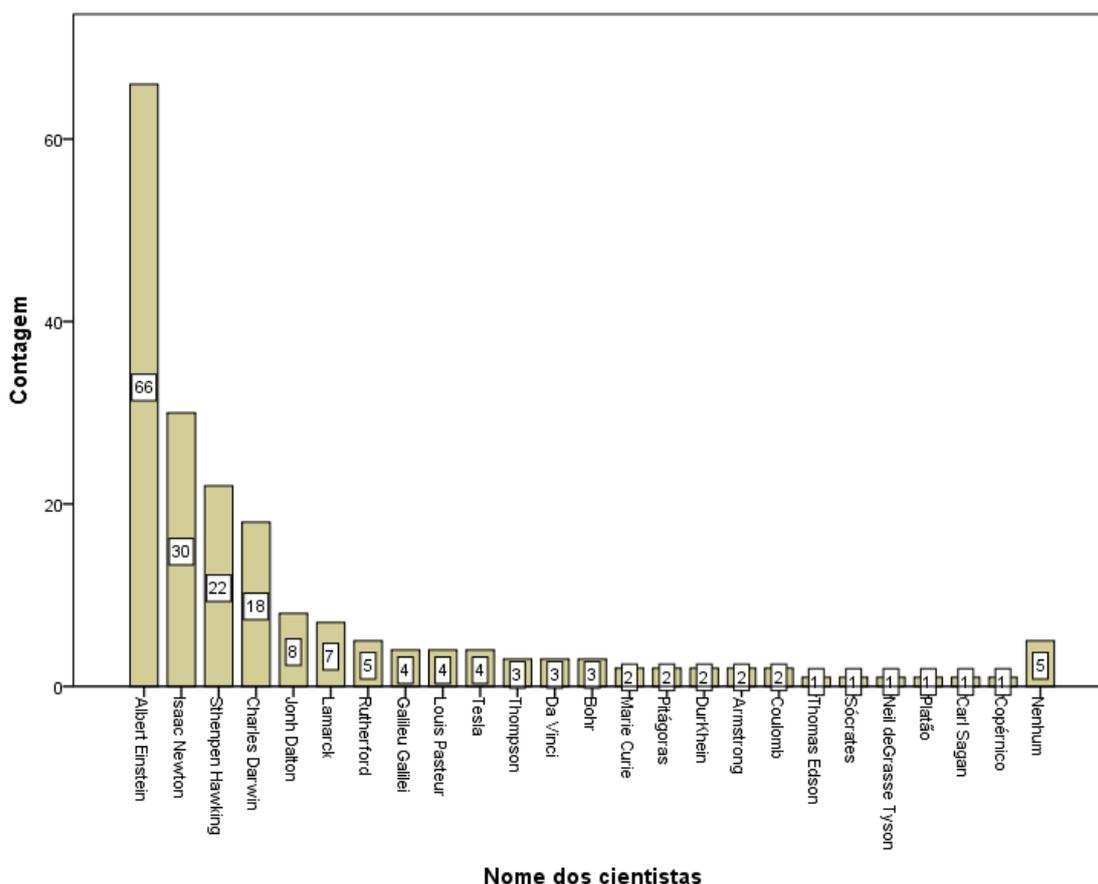


Fonte: elaborado pelo autor (2019).

Novamente o nome de Einstein foi o mais lembrado (68 vezes), desta vez seguido por Isaac Newton com mais ênfase (lembrado 59 vezes). Neste grupo o terceiro nome

mais lembrado foi Stephen Hawking (15 vezes), seguido de Charles Darwin (oito vezes) e Galileu Galilei (sete vezes). Desta vez, a única cientista lembrada foi Marie Curie, com oito menções. Aqui nenhuma menção a personagens da ficção científica foi feita. Além do número de cientistas ter diminuído, o número de alunos que não recordaram nenhum nome também aumentou, de um aluno no Instituto de Educação Flores da Cunha para três no colégio Rio Branco. Este padrão também é observado para os alunos do colégio Heitor Villa-Lobos, como mostrado na Figura 21.

Figura 21: Listagem de cientistas conhecidos pelos alunos do colégio Heitor Villa-Lobos.



Fonte: elaborado pelo autor (2019).

Para os alunos do colégio Heitor Villa-Lobos, novamente o nome de Einstein foi o mais recordado (66 vezes), seguido por Newton (30 vezes), Stephen Hawking (22 vezes) e Charles Darwin (18 vezes). Desta vez, Galileu Galilei recebeu um número menor de menções (quatro vezes), sendo superado por nomes como John Dalton (oito vezes) e Lamarck (sete vezes). Estes possivelmente se mostrando como um reflexo do que estavam estudando à época de aplicação dos questionários. Destacamos ainda um aumento do número de alunos que não recordaram nenhum cientista, aumentando para

cinco alunos, além de uma redução no número total de cientistas (24 cientistas no total). Possivelmente possamos inferir que um desconhecimento geral do grupo sobre os nomes de cientistas e/ou instituições enquanto construtores da ciência também implica em um aumento do número de indivíduos que não conhecem nenhum cientista, seja de Física, ou em outras áreas²⁵ reforçando achados do CGEE (2019). Comparando estes resultados com o das outras escolas, construímos uma tabela que engloba as respostas mais comuns dos alunos das três escolas, conforme apresentado na Tabela 5:

Tabela 5: Resumindo os nomes mais mencionados pelos alunos das escolas.

	Instituto Flores da Cunha (263)	Instituto Estadual Rio Branco (212)	Colégio Heitor Villa-Lobos (198)
Albert Einstein	88 (33,5%)	67 (31,6%)	66 (33,3%)
Isaac Newton	43 (16,3%)	59 (27,8%)	30 (15,2%)
Stephen Hawking	12 (5,6%)	15 (7,1%)	22 (11,1%)
Charles Darwin	11 (4,2%)	8 (3,8%)	18 (9,1%)
Galileu Galilei	18 (6,8%)	7 (3,3%)	4 (2,0%)
Nikola Tesla	10 (3,8%)	4 (1,9%)	4 (2,0%)
Pitágoras	8 (3,0%)	6 (2,8%)	2 (1,0%)

Fonte: elaborado pelo autor (2020).

De todo modo, este conjunto de simples histogramas permitiu ter uma ideia sobre uma aplicação da História e da Epistemologia da Ciência, que foi aproveitada na execução do módulo didático em nosso Estudo 2. Em todas as escolas trabalhadas neste Estudo Preliminar obtivemos resultados semelhantes, com Einstein sendo o mais lembrado, seguido por Newton e outros nomes da Física Clássica. Essa informação serviu como um indício de que a utilização de uma epistemologia que trate de incomensurabilidade (FEYERABEND, 2011a; 2011b) pode ser útil na sala de aula e certamente faria sentido aos alunos, numa abordagem que não ignore aquilo que o grupo

²⁵ Não obstante, é de refletir que nesta escola tivemos um caso em que um(a) aluno(a) teria perguntado “qual era o nome do cientista que criou as três leis de Newton”. É um retrato da realidade das escolas públicas, um desafio a ser encarado.

de alunos pensa sobre temas de Física Moderna e Contemporânea, como é típico da TRS, dado que o questionário preliminar mostrou que já teriam uma noção subjacente da Relatividade (termo que aparece nas redes de similitude) e, portanto, de Física Moderna, em relação, ou mesmo de forma inadequada relacionando-a com Física Clássica. Evidentemente a distinção entre Física Moderna e Física Clássica não parece estar clara aos alunos, contudo existem alguns conceitos convencionalizados nos grupos, quando observamos as redes de similitudes, e que indicam que essa distinção deveria ser abordada na atividade do módulo didático, podendo ser eficaz quando tratada com um referencial epistemológico apropriado. Em nosso estudo realizamos esta conexão com base na obra de Feyerabend. Além disso, a epistemologia de Feyerabend também permite discussões sobre a Ciência, seu pluralismo metodológico e comparações com visões de mundo distintas, como a Religião, tema que é objeto de nossa terceira questão do questionário.

Dada a influência do filósofo William James, como discutido no Referencial Teórico desta investigação, sobre a percepção de Religião, com o esforço de aproximação entre religião e vida cotidiana conduzindo ao conceito de religiosidade, procuramos mapear a concepção dos alunos sobre ciência e religiosidade tomando como base o que os alunos acreditam sobre a religiosidade dos cientistas que haviam mencionado na questão precedente. Os alunos que não lembraram nenhum nome, responderam que não sabiam ou deixaram esta questão em branco. Aqui também os 291 alunos respondentes foram separados em três grupos conforme sua vinculação às três escolas, contudo, agrupados em um mesmo histograma, também elaborado com o uso do programa IBM SPSS *Statistics*.

As respostas são variadas. Portanto, utilizamo-nos de algumas ferramentas metodológicas e analíticas propostas pela Teoria Fundamentada (CORBIN; STRAUSS, 2015). Nesta análise, os conceitos são derivados da análise, não tendo sido pré-estabelecidos, podendo, contudo, serem comparados e interpretados à luz do referencial ou trabalhos que compõem a revisão de literatura. Estes conceitos derivados da análise inicial guiaram a coleta de dados subsequentes, estabelecida no Estudo 2, de aplicação do módulo didático. Dessa forma, a análise da terceira questão deste questionário se deu sob a óptica da Teoria Fundamentada, no sentido de guiar análises futuras, não ainda na de estabelecer uma teoria fundamentada neste conjunto preliminar de dados sobre ciência e religiosidade.

O esforço de estabelecer uma teoria fundamentada em todos os dados coletados é objeto de análise do módulo didático, Estudo 2. Assim, analisamos as diversas respostas para a última questão deste questionário preliminar e buscamos estabelecer como isto poderia guiar as pesquisas subsequentes. A maioria das respostas foram classificadas por nós como sendo abertas, contendo termos como “acho”, “acredito” e “penso”. Não tendem a ser respostas problemáticas, pois não classificam todos os cientistas dentro de uma mesma categoria, como ateus, ou religiosos. Nove respostas, sendo três de cada colégio, foram selecionadas para ilustrar esse grupo de respostas classificadas como abertas. Os alunos 1 a 100 são do Instituto de Educação Flores da Cunha, 101 a 194 do colégio Heitor Villa-Lobos e 195 a 291, do Instituto Rio Branco.

Aluno 01: Acredito que inicialmente talvez todos tivessem religião, com o tempo, com a ciência, desacreditavam na fé.

Aluno 69: A maioria deles acredito que não, pois os homens da ciência são em geral ateus.

Aluno 84: Acredito que alguns tinham sim alguma crença, mas a maioria dava razão a ciência, no caso eram ateus.

Aluno 106: Acredito que sim, pois apenas trabalhavam com fatos científicos e não com relatos contados.

Aluno 151: Acho que eram na maioria ateus.

Aluno 164: Olha, pelo que eu estudei, não falava sobre isso então eu acho que não.

Aluno 197: Acredito que professavam uma fé, pela época, católica.

Aluno 201: Penso que, no momento em que eles viviam/época, a religião era muito importante, então possivelmente, em algum momento eles tiveram alguma crença, mas como cientistas, colocaram suas crenças de lado.

Aluno 276: Acredito que sim, mas eles não queriam que os outros soubessem.

Estes são alguns exemplos que consideramos emblemáticos do conjunto das respostas que foram classificadas na categoria “respostas abertas”, e que conseguem agrupar a maioria dos alunos, 204 de 291. Contudo, entre estes 204, notamos que as respostas variam, entre uma gama diversificada, desde aqueles que acreditam que os cientistas possuem algum grau de religiosidade, até aqueles que acreditam que os cientistas não possuem nenhuma crença, ou que são todos ateus. Sendo assim, notamos como pertinente a divisão desta categoria em duas, a categoria “respostas abertas positivas” e “respostas abertas negativas”, que englobam, respectivamente, alunos que acreditam que os cientistas possam ter religiosidade, e aqueles que acreditam que os cientistas são ateus.

Ainda assim, nem todas as respostas que contêm as palavras chave “acho”, “acredito” e “penso” classificam as respostas como pertencentes a estas duas categorias. Uma análise cuidadosa, linha a linha, deve ser empregada para revelar achados mais acurados. Respostas como:

Aluno 20: *Acho que não, nada a ver com religião.*

Aluno 177: *Acredito que eram ateus, pois a física vai contra a religião.*

Aluno 187: *Acredito que eram ateus, porque estudar ciência não envolve Deus.*

São do tipo que contêm os itens chave destacados, mas que mostram que o aluno percebe a ciência e a religião como antagônicas, em conflito, com uma aproximação com a tese de conflito (BAGDONAS; SILVA, 2015; STEWARTA; MCCONNEL; DICKERSON, 2016). Assim, estas respostas foram organizadas em outra categoria, denominada de “certeza da não religiosidade”. Nessa categoria, foram agrupadas respostas que carregam um viés que defende que os cientistas não podem ter um conjunto de crenças, ou que cientistas são necessariamente ateus. As repostas apresentadas a seguir são exemplos típicos desta categoria, com o Aluno 134, por exemplo, que relaciona religião com mitologia grega, não associando outras formas de religião.

Aluno 16: *Não. Todos acreditavam na ciência.*

Aluno 40: *Todos ateus porque a ciência em geral prova os “milagres” de Deus.*

Aluno 134: *Obviamente ateus, pois os gregos divinos não têm explicação científica.*

Aluno 185: *Acreditavam em suas teorias e eram ateus.*

Aluno 269: *Ateus, pois a ciência contraria as crenças religiosas.*

Aluno 279: *Eles acreditavam mais na ciência do que na religião.*

Esta categoria é entendida como a que necessita uma atenção especial em uma intervenção didática, uma vez que a associação entre ciência e ateísmo é tida, na literatura, como prejudicial, pois pode minar a confiança da sociedade na ciência e nos cientistas (SIMPSON; RIOS, 2019, HARARI, 2016). Nessa categoria também se mostrou comum a ideia de que cientistas acreditam na teoria do Big Bang e por esta razão não podem acreditar em uma divindade (ou em Deus), o que, juntamente com a

teoria da Evolução, se mostra comumente como assunto no qual os estudantes percebem um maior conflito entre ciência e religião (BILLINGSLEY; ABEDIN; NASSAJI, 2019). Ilustramos esta situação com as respostas dos alunos 143 e 272:

Aluno 143: *Acredito que seja [se referindo ao cientista que lembrou, Stephen Hawking] ateu, pois acreditava e reforçava a ideia do Big Bang.*

Aluno 272: *Ateus porque a maioria dos cientistas acreditam na teoria do Big Bang.*

Isto mostra que vários alunos percebem uma incomensurabilidade ou incompatibilidade, neste caso específico, dado a origem da teoria do Big Bang. Em particular, a ideia bastante comum de que Einstein, e até mesmo Newton, eram ateus também esteve presente, como relatam os alunos 111, 139, 217, 246 e 271, selecionados como exemplos de respostas, que neste caso se repetem algumas vezes nos questionários.

Aluno 111: *Albert Einstein ateu.*

Aluno 139: *[Newton] um ateu.*

Aluno 217: *Newton ateu.*

Aluno 246: *Acredito que fosse [Einstein] ateu.*

Aluno 271: *Eles [Newton e Einstein] eram ateus.*

Isto é um ponto interessante para se discutir em sala de aula, em nosso entendimento, dada a discussão sobre a religiosidade de Einstein em Jammer (1984), além de o nome de Einstein ser o mais citado entre os alunos investigados. Isto indica que uma discussão sobre este cientista pode ser proveitosa e relevante para tornar os alunos mais reflexivos, de forma a enfatizar nossa abordagem sobre História e Epistemologia.

Além dessas respostas englobadas por estas três categorias, também observamos algumas afirmações, em menor número, que apontam que os cientistas têm todos uma religião ou conjunto de crenças, ou pelo menos que os cientistas mencionados seriam com certeza religiosos. Os alunos 67, 99, 282 e 288 são exemplos desta classe de respostas.

Aluno 67: *Para mim eles tinham alguma religião.*

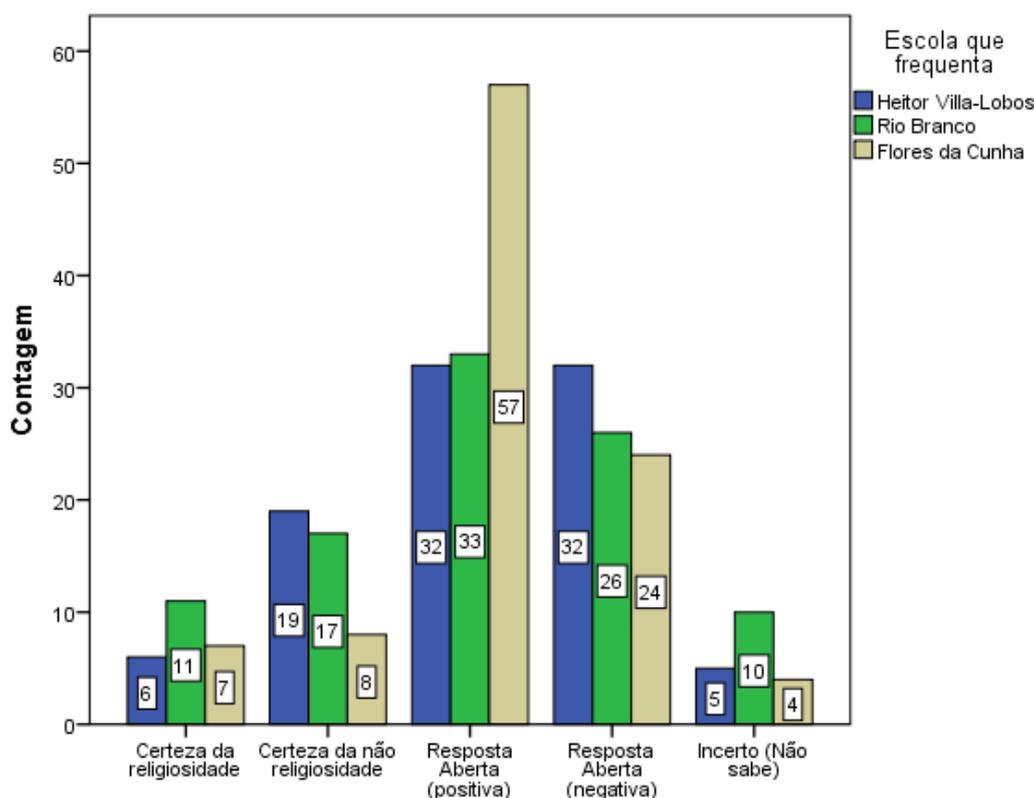
Aluno 99: *Sim, acho que eram católicos.*

Aluno 282: *Newton era religioso.*

Aluno 288: *Tinham crenças religiosas.*

Assim, dado que estes alunos mostram acreditar de maneira mais clara na religiosidade dos cientistas, agrupamos estas respostas em uma categoria semelhante a anterior, agora denominada “certeza da religiosidade”, na qual obtivemos vinte quatro respostas entre as três escolas que puderam ser assim classificadas. Desta maneira, a maior parte das respostas foram contempladas em alguma dessas quatro categorias, com exceção de um pequeno número de alunos que não soube responder a questão 3, ou deixaram a alternativa em branco; Estes foram agrupados na categoria “incerto (não sabe)”. As categorias são então representadas em um histograma, mostrado na Figura 22, em que optamos pela divisão dos alunos em escolas, para melhor visualizar se haveria algum grupo que estaria em maior número em uma das categorias, de acordo com a escola a qual pertencesse.

Figura 22: Agrupando as categorias sobre questão 3 do questionário preliminar.



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

Observa-se uma tendência na categoria resposta aberta positiva, sobretudo para alunos do Instituto de Educação Flores da Cunha. Entendemos que no geral os alunos desta escola apresentam uma visão mais adequada, de que ciência e religião não são necessariamente conflitantes. A resposta aberta negativa também se encaminha para

esta conclusão, embora de forma não tão direta e com uma tendência à visão de conflito. Com isso aprendemos que uma intervenção didática que abordasse a relação entre ciência e religiosidade se fosse conduzida nessa escola, Flores da Cunha, poderia ser muito breve dada à boa percepção dos alunos sobre o tema.

Contudo, conduzimos a atividade didática no colégio Heitor Villa-Lobos, onde as categorias resposta aberta positiva e negativa são exatamente iguais em quantidade de respondentes e a diferença para a categoria certeza da não religiosidade não é tão acentuada como para os outros colégios, sobretudo o Flores da Cunha. Assim, entendemos que, apesar de os alunos do colégio Heitor Villa-Lobos não apresentarem tantas concepções sobre misticismo quântico em comparação com os outros dois colégios, como mostraram as redes de similitude, desta vez identificamos um maior número de ideias e percepções que expressavam conflito entre ciência e religião.

Possivelmente esta relação aparente entre aumento do número de percepções de conflito entre ciência e religião e a diminuição de concepções de misticismo quântico não seja nada além de uma coincidência e, de fato, assim o encaramos, mas consideramos esses resultados para fins de organização da atividade didática. Portanto, nossa prática didática foi conduzida de modo a que o módulo didático não tivesse uma aula dedicada à discussão sobre Física Quântica e Misticismo, fazendo apenas breves discussões que tomaram poucos minutos em sala de aula, mas em compensação, centramos maior atenção para a questão da religiosidade, com uma aula, em colaboração com o professor de Filosofia do colégio, como será detalhado em uma seção subsequente, sendo dedicada para discutir a relação entre ciência e religião, tomando cientistas importantes ou bem conhecidos da Física Quântica e abordando com os alunos no que estas personagens acreditavam, qual seria sua religiosidade e se haveria conflito entre ciência e religiosidade.

5.1.2 Etapa 2: Entrevistas com professores de Física

Passamos agora à descrição e discussão da fase de entrevistas semiestruturadas realizadas junto aos cientistas-educadores de Física do Instituto de Física da UFRGS, que já haviam ministrado alguma disciplina relacionada à Física Quântica. Os sete professores que participaram, responderam tópicos diversificados que consideravam fundamental para compor um módulo de Física Quântica no Ensino Médio, com alguns

tópicos que se repetiram ao longo das entrevistas, e ênfases distintas em formas de apresentar o conteúdo, porém com algumas semelhanças.

Em primeiro lugar, diversas referências bibliográficas foram sugeridas, com algumas incorporadas em nossa pesquisa (FEIN *et al.*, 2019; FREIRE JR; PESSOA JR; BROMBERG, 2010; LINDLEY, 2007; RADNITZKY; ANDERSSON, 1984). Em resposta à pergunta guiadora, obtivemos a seguinte lista de tópicos sendo considerados mais relevantes de serem abordados em uma sequência didática para o Ensino Médio, apresentados na Tabela 6.

Tabela 6: Listagem de tópicos relevantes mencionados por especialistas do Instituto de Física da UFRGS para serem abordados no Ensino Médio.

Tópicos de Física Quântica considerados importantes	Número de vezes mencionado
Interferência e Difração	6
Princípio de Incerteza	3
Fenda Dupla	3
Dualidade onda-partícula	3
Efeito Fotoelétrico	3
Fundamentos da Física Quântica	3
Radiação de Corpo Negro	2
Espectros de Emissão	2
Stern-Gerlach	1
Efeito Compton	1
Decoerência²⁶	1

Fonte: elaborado pelo autor (2019).

Destaca-se o tema Interferência e Difração, que recebeu seis indicações. Apesar de essas entrevistas não precisarem ser seguidas à risca em nossa atividade didática a ser apresentada e analisada no Estudo 2 desta investigação, entendemos que este

²⁶ Vale destacar que este tópico foi mencionado apenas quando se abordou na entrevista possíveis formas de tratar o misticismo quântico em sala de aula, então uma sugestão foi acrescentar como tópico a ser abordado a decoerência quântica. O surgimento deste tópico então não está diretamente ligado ao que se proponha na pergunta guiadora, mas influenciado pelo rumo que a entrevista tomou, quando se discutiu o tema do misticismo. Esta característica de flexibilidade é típica das entrevistas semiestruturadas.

tópico/tema não poderia ser omitido dada à importância sobressaltada em comparação aos demais. Quanto à escolha de demais temas, nossa escolha foi livre, dando certa preferência para os temas que receberam três menções. Dada a relação direta entre experimentos de interferência e difração e a natureza dual da luz e da matéria, o tema dualidade onda-partícula acabou sendo selecionado para compor o módulo didático. Frente à nossa preocupação em abordar aspectos da História e Epistemologia da Ciência, entendemos ser de extrema importância abordar o Efeito Fotoelétrico e a Radiação de Corpo Negro, tópicos marcantes para o início histórico da Física Quântica, de forma que incluimos estes temas em nossa atividade didática, citando principalmente o trabalho de Einstein e sua importância para esta área, que lhe rendeu o prêmio Nobel.

Além disso, entendemos que uma abordagem histórica que permita elucidar a contribuição de Einstein à Física Quântica pode ser efetiva dado o grande reconhecimento deste cientista pelo grande público, inclusive pelos estudantes investigados, como revelam nossos dados coletados durante o estudo preliminar, com a aplicação de questionário. E como Einstein é a figura mais (re)conhecida na ciência, e dados alguns entendimentos inadequados sobre suas crenças, elucidar em um trabalho de fronteira ao ensino (SORREL; ECKLUND, 2018) as crenças desse cientista e pesquisador, bem como de outros pesquisadores que forem mencionados ao longo do módulo, pode auxiliar para um entendimento mais amplo sobre a História e sobre a Epistemologia da Ciência, uma vez que, como menciona Jammer (1984), as crenças religiosas de Einstein influenciaram grandemente sua visão de mundo e, por conseguinte, sua forma de encarar e fazer ciência.

Além destes tópicos, foi também selecionada a decoerência quântica como um tema promissor e relevante frente aos nossos objetivos de pesquisa, relacionada com o estudo de representações sociais e pela possibilidade de o tema ser uma forma possível de lidar com o misticismo quântico. Assim, dada a presença de ideias tidas como místicas em nossas redes de similitude, foi preciso que o módulo fosse capaz de lidar com essas questões, mitigando-as, o que é uma tarefa possível dado que tais conceitos na RS são constituintes da periferia da representação. Mesmo para os alunos do colégio Heitor Villa-Lobos, onde o módulo foi conduzido e não foi observada a presença de conceitos de misticismo quântico na RS inicial, almejamos ser capazes de abordar durante a aplicação do módulo esta questão, o que foi feito de forma breve, além de que a turma de terceiro ano na execução do módulo evidentemente já não era mais a mesma

do ano anterior, quando o questionário foi aplicado, de forma que novas concepções e conceitos poderiam estar presentes. Assim, o fenômeno da decoerência quântica será novamente abordado na descrição do módulo didático (Estudo 2).

Ainda quanto aos tópicos levantados pelos especialistas entrevistados, vale destacar que alguns mencionaram apenas, por exemplo, dois temas; isto não significa que não consideraram outros temas como importantes, mas que consideraram que os temas mencionados por eles deviam receber mais atenção, ou ainda, que para um módulo curto, de poucos encontros, os temas mencionados deveriam receber especial atenção, por serem capazes de causar interesse nos alunos. Este foi o caso de entrevistas com dois professores que defenderam que fossem discutidos de alguma forma os Fundamentos de Física Quântica e debates relevantes relacionados, como o debate Einstein-Bohr em um começo de módulo didático.

Sobre a sequência em que estes tópicos podem ser apresentados, as respostas foram divergentes, sem alguma sequência sendo privilegiada. Escolhemos assim adotar uma sequência cronológica, o que é condizente com nossa proposta de abordagem histórica, introduzindo a Física Quântica com Planck, e o problema da radiação térmica de corpo negro, seguindo com a explicação do efeito fotoelétrico, posteriormente com interferência e difração, que abarca a dualidade onda-partícula. Ademais, alguns dos professores também fizeram menção a estratégias de ensino para apresentar os tópicos, o que é listado na tabela 7.

Tabela 7: Formas de abordar os tópicos mencionados pelos especialistas entrevistados.

Tópicos gerais para o Ensino considerados importantes	Número de vezes mencionado
Abordagem Histórica e Epistemológica (incomensurabilidade)	3
Aplicações Tecnológicas	2
Realizar experimentos em sala de aula	2
Convidar a escola para que os alunos conheçam o Instituto de Física	2
Problemas do Cotidiano	1
Etimologia	1
Recursos Computacionais	1

Fonte: elaborado pelo autor (2019).

Destacamos a menção a uma abordagem Histórica e Epistemológica, mencionada três vezes. É preciso considerar que em nenhum momento os professores usaram o termo epistemologia, mas sim recomendaram abordagens que são entendidas por nós como sendo de cunho epistemológico, que nós reunimos nessa categoria. Entendemos que a discussão mencionada em três encontros de nossa aplicação sobre a importância de fazer a distinção entre o “mundo clássico” e o “mundo quântico”, como colocou um dos professores entrevistados, reflete o aspecto da incomensurabilidade destacado na epistemologia, apesar de o professor não ter utilizado este termo. Como discutido em Feyerabend (2011b), a Física Clássica e a Física Moderna constituem um dos poucos exemplos em Física de teorias incomensuráveis, pois há a criação de novos conceitos na segunda, que não estão presentes ou não fazem sentido para a primeira.

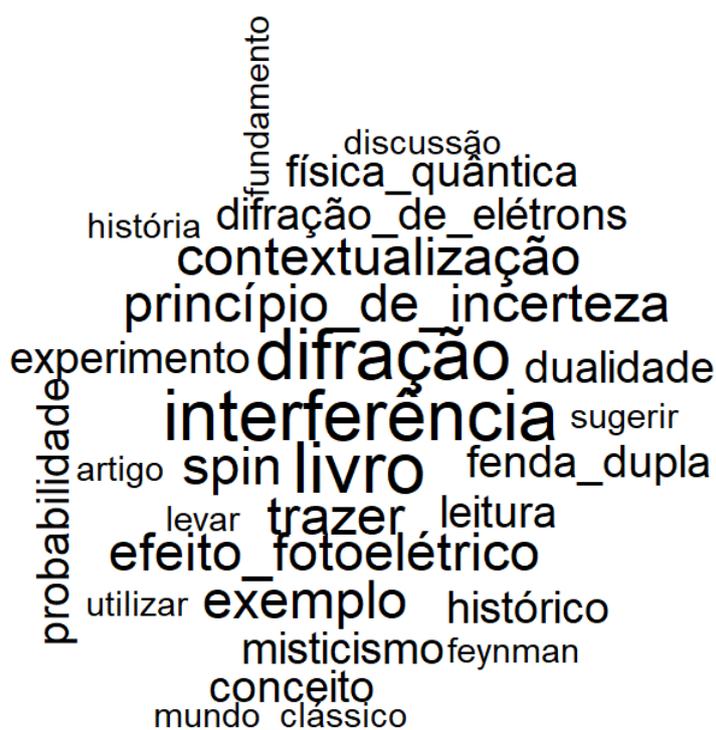
Apesar da dificuldade na comparação de teorias na epistemologia de Feyerabend, é clara a noção de incomensurabilidade e a formação de uma nova visão de mundo. Então, para os professores que mencionaram a importância de destacar a diferença entre Física Clássica e Física Quântica, ou Moderna de modo geral, há uma defesa indireta (não explícita) de uso de um discurso epistemológico, que pode ser bem explorado com o uso de um referencial epistemológico que aborde este tema.

Todas as estratégias mencionadas pelos professores, por não serem muitas, procuramos seguir durante a execução do módulo didático, inclusive tendo a turma onde o módulo foi realizado visitado o Instituto de Física, em decorrência do experimento de difração de elétrons, presente no Instituto e recomendado por dois professores entrevistados, ser de manuseio extremamente difícil para ser levado à escola. Por uma questão de escolha, optamos por não seguir a recomendação pelo uso de recursos educacionais virtuais ou computacionais²⁷, dirigindo nosso foco para atividades experimentais simples e mais lúdicas. Também destacamos o uso da estratégia colocada como “etimologia”, que foi mencionada por um professor, que defendeu ser fundamental o módulo ter uma aula, ou uma parcela de uma aula, dedicada ao estudo do que é quantização, o que é *quantum*, diferenciando aquilo que é quantizado daquilo que é contínuo. Isto foi feito em um primeiro encontro e foi tomado como bastante pertinente dada a forte presença do termo “quantidade” em nossas redes de similitude, frente ao significado do termo *quantum*.

²⁷ Em alguns momentos usamos alguns vídeos disponíveis na rede, como em canais diversificados do *YouTube*, mas não contabilizamos isto como uso de recursos computacionais, pois não se trata de uso de simulações, que era o que o professor entrevistado sugeria na entrevista.

Desta forma, transcrevemos as entrevistas com os sete professores e analisamos com o mesmo programa utilizado para análises de similitude descrita na seção precedente, o IRAMuTeQ. Por ser um *software* que permite a análise de matriz e análise textual, utilizamos seus recursos para análise de nossos textos obtidos através da transcrição das entrevistas. O recurso mais adequado escolhido foi a nuvem de palavras, que permite uma boa visualização e uma síntese das entrevistas, como apresentado na Figura 23.

Figura 23: Nuvem de palavras a partir da transcrição das entrevistas com os professores (especialistas), com IRAMuTeQ.



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

Destacamos que o *software* elimina automaticamente termos que não foram repetidos, ou que foram repetidos uma única vez, de forma que, para constituir a nuvem de palavras é necessário que uma palavra ou expressão tenha ocorrido no texto três vezes, no mínimo. Assim, termos como “radiação de corpo negro” ou “aplicações tecnológicas” não aparecem na nuvem de palavras. O programa também permite uma classificação de palavras, entre ativas e suplementares, que pode ser modificada antes da execução da nuvem. Termos como “professor” e “recomenda”, foram classificados como suplementares, uma vez que não são conceitos chave nas entrevistas, mas figuravam como termos auxiliares na confecção do diário de bordo onde foram

registradas as conversas das entrevistas. Por outro lado, termos relevantes são classificados como ativos, e a nuvem é feita tomando-se apenas estes termos. Como era esperado, “interferência e difração” aparecem como centrais (como mostrado também na Tabela 6) e em tamanho destacado, dada a repetição nas entrevistas. Termos como leitura, livro e artigo também podem ser visualizados, dada a recomendação pelos professores de leitura de diversas referências durante as entrevistas, algumas tendo sido adotadas, como mencionado.

Os termos “spin” e “misticismo” também figuram em nossa nuvem de palavras dado que algumas entrevistas seguiram rumos diferentes, sendo encaminhadas para questionamentos sobre estes termos. Por exemplo, um dos professores estava realizando à época da entrevista, pesquisas no ramo da spintrônica, de forma que questionamos se consideraria importante acrescentar o tema na sequência didática, dado que os alunos possivelmente estudaram números quânticos e número quântico de spin em aulas de Química. O mesmo questionamento foi feito a um professor que estava ministrando uma disciplina de magnetismo na pós-graduação e a um professor com doutorado em Física de Plasmas. Nos três casos, foi recomendado que o tema não fosse abordado em um módulo didático de Física Quântica, devido ao tema ser mais adequado a aulas de eletromagnetismo avançado ou por requerer um entendimento claro sobre momentum angular, que é um tópico pouco abordado em Ensino Médio.

Por fim, também se destaca a presença do termo misticismo na nuvem de palavras. Este tema surgiu em algumas entrevistas quando alguns professores questionaram sobre nossas propostas, em que abordamos os estudos de representação social e a presença de conceitos ligados ao misticismo nas representações. Em uma entrevista, em que o tema do misticismo foi abordado, foi sugerido abordar o tópico da decoerência quântica, uma sugestão que também seguimos na execução do módulo.

Assim, finalizamos a discussão deste segunda etapa do Estudo 1, que foi um estudo preliminar para a preparação e execução do módulo didático, objeto do Estudo 2. Este estudo preliminar, inspirado em conselhos de Bruner (1977) e em Krijtenburg-Lewerissa, Pol, Brinkman e van Joolingen (2019), foi de extrema importância para o delineamento e execução do módulo didático, uma vez que os assuntos puderam ser escolhidos de forma melhor estruturada e com uma boa fundamentação, bem como algumas sugestões de estratégias de ensino.

É importante relatar, contudo, que esta lista de conteúdos não deve ser encarada como uma receita, como um guia a ser indubitavelmente seguido. Os autores antes destacados apontam que o professor precisa ter em mente que o contexto da escola deve ser sempre levado em conta, quaisquer que sejam os tópicos a serem ministrados e sobre a forma como serão ministrados. Em nosso caso, dada a dificuldade acentuada em matemática notada junto aos alunos em nossas observações que antecederam a aplicação do módulo, uma abordagem mais conceitual foi escolhida, abordando apenas algumas expressões matemáticas, e apenas quando os conceitos foram bem adquiridos. Além disso, as respostas às entrevistas foram variadas para cada professor entrevistado, e as realizamos com um número reduzido de professores porque almejávamos obter indícios e sugestões, o que significa que a escolha sobre a ministração seguiu sendo inteiramente do pesquisador, mas entendemos que devemos estar sempre buscando nos basear na experiência dos especialistas, o que foi realizado.

5.2 Módulo Didático: Estudo 2

Passamos agora à descrição e análise em detalhe de nosso estudo final relativo ao Módulo Didático de Física Quântica para o Ensino Médio (doravante chamado simplesmente MD), o qual chamamos Estudo 2, onde procuramos aplicar em sala de aula na Escola Básica o que foi estudado e estruturado a partir das análises anteriores guiando, quando possível, a análise subsequente referente ao MD.

5.2.1 Contexto da aplicação do MD

Realizamos nossa atividade didática em uma turma de terceiro ano do colégio Heitor Villa-Lobos em Gravataí, RS, que tinha na lista de presença quarenta e um alunos, conforme a lista que nos foi entregue pela Secretaria do colégio (Apêndice E). Destacamos que parte dos nomes dos estudantes foi encoberta com o objetivo de evitar a exposição pública dos jovens, conforme assumido no Termo de Consentimento Livre e Esclarecido assinado pelos pais, responsáveis ou pelos próprios alunos, quando maiores de idade (Apêndice F). Contudo, de fato, nas aulas houve sempre um número menor de estudantes, como indicado em nova listagem feita pelo pesquisador (Apêndice G), com a lista de chamada sendo realizada após um contato inicial com a professora titular e com a turma, de forma que trabalhamos efetivamente com trinta e quatro jovens. Vale destacar que um dos estudantes compareceu apenas no encontro de apresentação do pesquisador à turma, que não foi contabilizado como constituindo o MD, e em um encontro final de entrega de avaliações e confraternização realizada por iniciativa dos estudantes, encontro que também não contabilizou no MD. Além disso, também tivemos três estudantes que tiveram apenas cinquenta por cento de frequência, como é comum em escolas públicas, ainda mais em uma escola como a selecionada, localizada em uma região marcada por condições sociais adversas e pelo tráfico de drogas.

Ainda assim, as aulas contaram sempre com um bom público, com os estudantes presentes geralmente interagindo com aqueles faltantes em grupos nas redes sociais, o que permitiu o bom andamento das atividades. O MD se deu após a entrega de Carta de Apresentação à direção do colégio e à professora titular da turma, com uma apresentação rápida à turma acontecendo em 27/08/2019, ainda sem iniciar a aplicação das aulas. Foi decidido que os dias para aplicação das atividades seriam às quartas e

quintas-feiras, onde a professora ministrava, respectivamente, dois períodos de Matemática e dois períodos de Física, uma vez que a professora, tendo formação em Matemática, ministrava as aulas das duas disciplinas, dada a ausência de um professor ou professora com formação em Física no colégio.

O MD foi trabalhado no período de 05/09 a 29/10/2019, tendo ocorrido ao longo de dez encontros (envolvendo 20 períodos de 45 minutos cada) e seguindo as atividades listadas na Tabela 8. Além disso, uma confraternização foi realizada na data de 31/10/2019, organizada pelos alunos, que não foi contabilizada para o MD, como já dito.

Tabela 8: Encontros e cronograma do MD.

Encontros	Períodos	Tópicos Ministrados / Cronograma
1º Encontro em 05/09	2	Introdução – Etimologia. Escalas de medida. Visita ao laboratório da Escola. Retomada de ondas eletromagnéticas.
2º Encontro em 25/09	2	Incomensurabilidade. Linha do tempo da Física Quântica.
3º Encontro em 26/09	2	Introduzindo Radiação de Corpo Negro.
4º Encontro em 02/10	2	Radiação de Corpo Negro e a hipótese de Planck.
5º Encontro em 03/10	2	Fim de Radiação de Corpo Negro e Introdução de Efeito Fotoelétrico.
6º Encontro em 09/10	1	Atividade lúdica em toda a semana – Experimentos.
7º Encontro em 16/10	2	Fim de Efeito Fotoelétrico e Introdução à Interferência e Difração.
8º Encontro em 17/10	4	Visita ao Instituto de Física e ao Museu de Paleontologia da UFRGS.
9º Encontro em 25/10	1	Atividade conjunta com Filosofia – abordando a religiosidade.
10º Encontro em 29/10/2019	2	Revisão e aplicação de Avaliação.
Total de Períodos	20	

Fonte: elaborado pelo autor (2019).

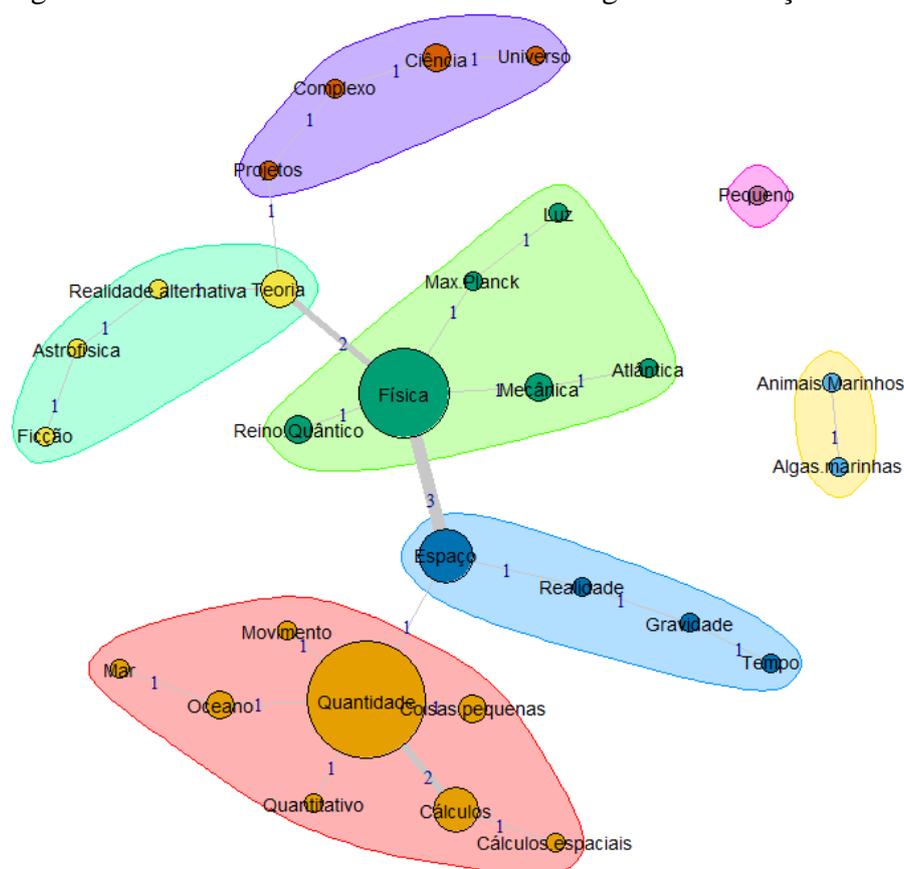
5.2.2 Análise da aplicação de MD no Ensino Médio

Nesta subseção apresentamos discussões sobre aquilo que se mostrou mais relevante durante os encontros, segundo nossa interpretação apoiada em técnicas de análise, uma vez que uma descrição detalhada de cada aula tornaria o texto da dissertação desnecessariamente extenso e com diversos dados que pouco influenciariam para nossos objetivos de pesquisa.

Assim, no encontro primeiro, iniciamos o MD com uma reaplicação do questionário que havia sido aplicado no Estudo 1. Como já destacado, esta nova aplicação se deu em virtude de prevermos uma mudança natural na turma, em comparação com o ano anterior, em função de: (i) inclusão de novos estudantes que não estavam no segundo ano passando para o terceiro, por ter a escola recebido novos estudantes no início do ano letivo; (ii) amadurecimento dos jovens pelo envelhecimento (os estudantes estavam com um ano a mais em uma época da vida, e em um tipo de sociedade, em que tudo acontece aceleradamente). Assim, realizamos um novo levantamento inicial para visualizarmos como se constituía a RS deste grupo antes da aplicação do MD. Essa nova aplicação é relevante para nosso estudo, uma vez que almejamos investigar como se desenvolve e avança uma RS sobre “quântica”, de forma que um novo questionário com evocação de palavras foi realizado ao final do MD, permitindo uma comparação da RS antes e depois das aulas.

Desta forma, uma rede de similitude para analisarmos a RS no começo do MD foi construída, agora com as evocações da turma que participou do módulo. Estiveram presentes em sala de aula quando o questionário foi aplicado, trinta alunos. Com as respostas destes, obtivemos um total de **sessenta e cinco evocações**, as quais compõem a rede de similitude apresentada na Figura 24.

Figura 24: Rede de similitude da turma investigada no começo das atividades.



Fonte: elaborado pelo autor (2020) com uso do *software* IRAMuTeQ.

É possível observar algumas semelhanças desta rede de similitude com a que havia sido construída para os respondentes de todo o Colégio Heitor Villa-Lobos no ano anterior. Desta vez, contudo, temos uma rede com menos termos e menos arestas de ligação dada a quantidade menor de estudantes e uma consequente quantidade menor de evocações. O termo “Física” continua constituindo o núcleo central da representação, tendo sido evocado nove vezes. Entretanto, esse não foi o termo que recebeu mais menções, sendo superado por “quantidade” (treze menções). Mesmo assim, Física aparece como termo central, dada a forte relação que estabelece com outros termos também relevantes para a rede, como “espaço” (cinco evocações) e “teoria” (três evocações). Alguns termos que podem estar relacionados ao misticismo quântico aparecem nesta rede, como “algas marinhas”, “animais marinhos”, “mar” e “oceano”, todos sendo lembrados uma vez cada. Como estes termos não aparecem ligados à “água, alma, espírito ou pensamento”, termos estes reconhecidos na literatura como relacionados ao misticismo (HILGER; MOREIRA, 2012), não é possível afirmar se de fato se referem a algum grau de misticismo. Contudo, são termos que certamente não se

relacionam com a Física Quântica, de forma que não se desejaria que aparecessem em uma nova RS, formada após a aplicação do MD.

Durante a reaplicação do questionário, notamos a emergência de uma característica fundamental sobre o surgimento e a formação de uma RS, prevista pela TRS de Moscovici (2015). Em sua obra, Moscovici (2015) enfatiza a importância da comunicação e da fala no grupo, afirmando que pessoas e grupos sociais criam representações no decurso da comunicação e da operação. Não obstante, é apontado que as pesquisas em representações sociais costumam seguir alguns princípios metodológicos claros, destacados em nosso referencial teórico, sendo o principal deles a coleta de amostras das conversações normalmente usadas no grupo social, para que seja possível analisar como foi moldada a RS pelo seu modificador mais importante, a fala. Alguns trechos de falas de estudantes coletados em nosso diário de bordo evidenciam como a comunicação foi importante para moldar a RS desses jovens.

Aluna Fe: *Gente, será que eu coloco coach quântico aqui?*

Aluna Ke: *Não! Imagina... colocar coach quântico nesse negócio.*

Aluna Ed: *Sim, que absurdo, não tem nada a ver...*

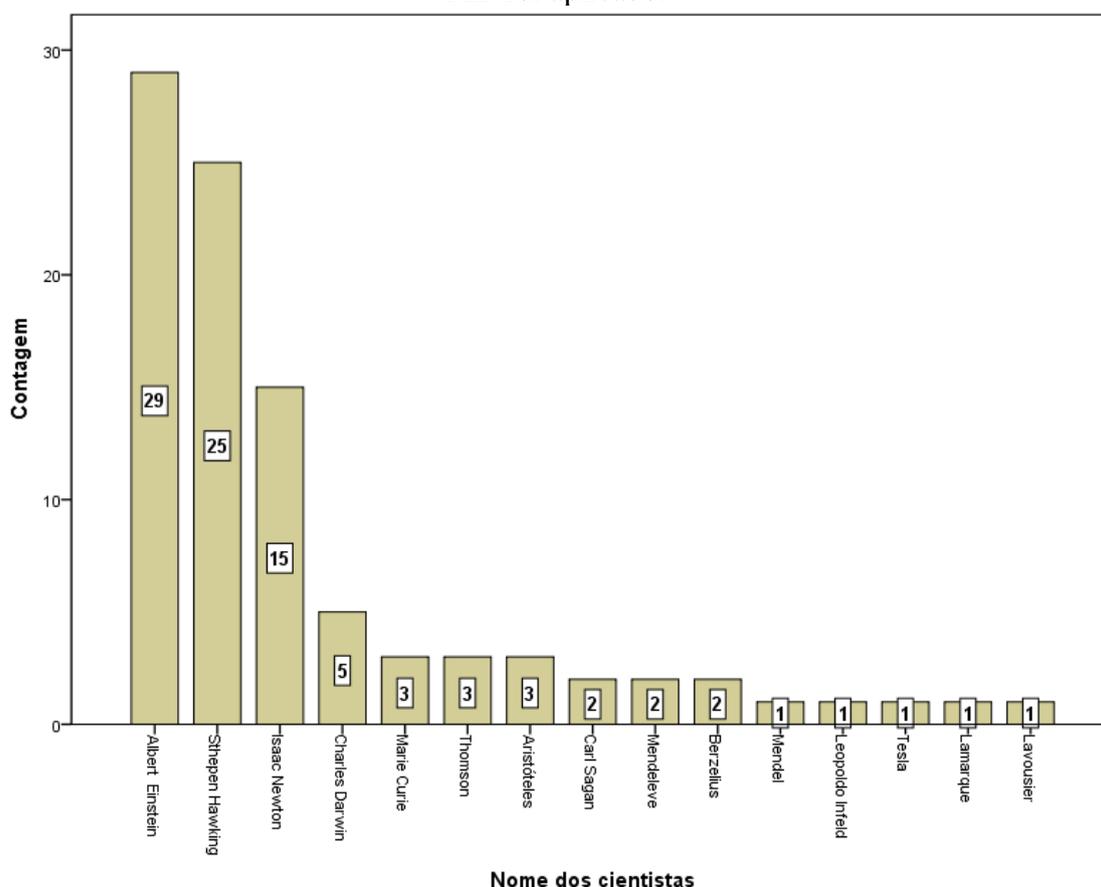
Aluna Fe: *Tá bom... não coloco.*

Como destacamos, na rede de similitude construída para estes alunos nenhum termo evocado pôde ser nitidamente relacionado ao misticismo. Se o questionário fosse aplicado sem permitir interações, a estudante identificada como Aluna Fe provavelmente teria mencionado o termo “coach quântico”, e teríamos na periferia da RS um termo claro relacionado ao misticismo. Contudo, pela comunicação/fala desta com as colegas, tal termo não foi evocado, e a RS se mostrou como mostrado na Figura 24 graças à comunicação entre os estudantes, em um ambiente em que tiveram liberdade para isso. Não obstante, Moscovici (2015) alerta que as pessoas que elaboram as representações são vistas como algo parecido a “professores amadores”, pois convencem os demais daquilo que acreditam. Nesse excerto de conversação, portanto, há um primeiro indício de que alguns alunos, neste caso as Alunas Ke e Ed, podem ter se comportado como professores amadores, no sentido de que convenceram a colega de que “coach quântico” era um termo que não deveria ser usado para responder o questionário. Além disso, quando perguntados sobre o que pensavam sobre “coach quântico”, na introdução do MD, ainda na primeira aula, tivemos uma interessante resposta de uma estudante, que tende a mostrar o quão fraca era a presença de concepções de misticismo na representação social do grupo:

Aluna An: *Minha irmã comprou um colchão bioquântico, eu disse pra ela que isso era jogar dinheiro fora. Mas... ela comprou mesmo assim.*

Como a *Aluna An* não foi contestada pelos colegas, interpretamos que ela, em grande medida, representava uma visão da maioria. Para as outras duas questões do questionário, poucas mudanças foram observadas, de forma que os padrões obtidos no Estudo 1 mantiveram bom grau de uniformidade. Destacamos para a Questão 2 o aumento de menções ao nome de Stephen Hawking (vinte e uma vezes), superando o nome de Newton (quinze menções), mas mantendo-se inferior ao número de menções a Einstein (vinte e nove vezes). Um gráfico em barras, novamente usando o programa IBM SPSS *Statistics*, foi elaborado para os dados coletados na questão 2 do questionário e apresentado na Figura 25.

Figura 25: Listagem de cientistas evocados pelos estudantes da turma em que o MD foi aplicado.



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

Para a última questão do questionário, a análise segue os passos já discutidos no Estudo 1, com análise das repostas dos estudantes e separação em quatro categorias

iniciais. Houve um pequeno acréscimo no grupo de estudantes que constituem a categoria “reposta aberta positiva”, contudo, a diferença para as outras categorias não são elevadas, com a categoria “certeza da não religiosidade” ainda estando presente. Dado o número menor de respondentes, listamos as trinta e uma respostas curtas em uma tabela, como ilustrado na Tabela 9, para que pudéssemos sobre ela guiar a categorização. Apesar de os resultados não diferirem de forma acentuada com relação à aplicação no Estudo 1, acreditamos estarmos agora em condição de aprimorar os resultados obtidos nesta etapa, fazendo uso mais direto dos princípios da Teoria Fundamentada, para que as análises posteriores sejam mais claras e mais diretas.

Em suma, devido à repetitividade do padrão que fora observado no Estudo 1, as cinco categorias elaboradas com base nas respostas dos estudantes (tomando-se também as respostas que foram classificadas no grupo denominado incerto), são agora tomadas por nós como *categorias iniciais*, estando bem delimitadas pelas respostas dos alunos.

Tabela 9: Categorização acerca da percepção entre Ciência e religiosidade pela turma investigada.

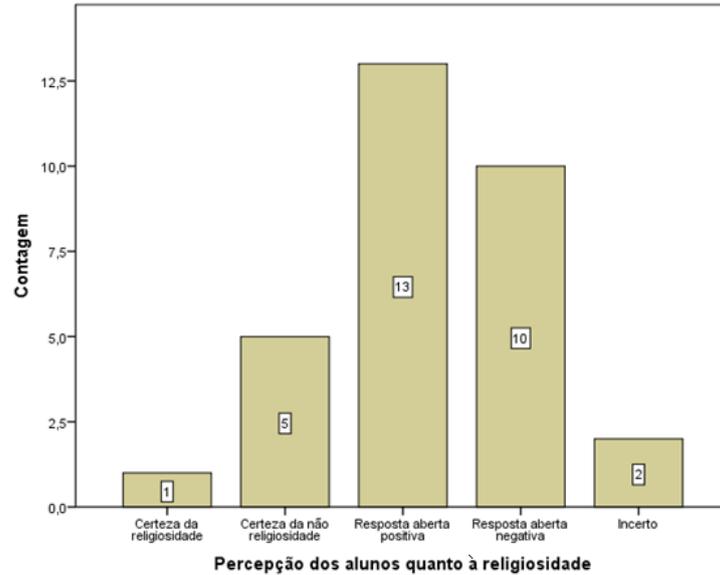
Categorias Iniciais	Repostas	Quantidade de alunos
Certeza da religiosidade	Aluno 21: <i>Sim, eles têm alguma crença.</i>	1 (3,2%)
Certeza da não religiosidade	Aluno 1: <i>Acredito que tinham uma inspiração, mas crença religiosa não.</i>	5 (16,1%)
	Aluno 2: <i>Talvez acreditavam só na ciência como “algo maior”.</i>	
	Aluno 9: <i>Eram ateus.</i>	
	Aluno 12: <i>Eles acreditavam na teoria da conspiração.</i>	
	Aluno 22: <i>Acredito que em partes a maioria era ateu, mas por outro lado existia um certo conhecimento sobre religião, pois é algo totalmente oposto à ciência.</i>	
Resposta aberta positiva	Aluno 3: <i>Sim, mas não necessariamente ateus.</i>	13 (42%)
	Aluno 7: <i>Alguns tinham, como Albert, mas não eram todos.</i>	
	Aluno 8: <i>Eu acho que alguns têm/tinham crença em algo “maior”. Sei lá, não é impossível.</i>	
	Aluno 10: <i>Olha, acho que a maioria era ateu, mas talvez alguns tenham crenças em Deus.</i>	
	Aluno 11: <i>Alguns não, mas uma visão de Deus diferente da nossa.</i>	
	Aluno 14: <i>Creio que tenham crenças.</i>	

	Aluno 17: <i>Alguns possuem religião e outros não.</i>	
	Aluno 20: <i>Eu acredito que tenha religiosos assim como também não, varia de pessoa.</i>	
	Aluno 24: <i>Acredito que alguns deles tenham/tinham uma religião.</i>	
	Aluno 25: <i>Acredito que alguns poderiam ter crenças sim.</i>	
	Aluno 27: <i>Hawking era ateu e Einstein acreditava em Deus.</i>	
	Aluno 28: <i>Einstein sim, Mendel era ateu, Hawking ateu.</i>	
	Aluno 30: <i>Sim, acredito que tenham crenças.</i>	
Resposta aberta negativa	Aluno 5: <i>Acredito que não.</i>	10 (32,2%)
	Aluno 6: <i>Alguns ateus e outros religiosos, mas ateus predominavam.</i>	
	Aluno 13: <i>Acredito que cientistas do ramo das exatas têm uma tendência ao ateísmo.</i>	
	Aluno 15: <i>Acho que eram ateus.</i>	
	Aluno 16: <i>Acredito que a maioria sejam ateus.</i>	
	Aluno 18: <i>Acho que não tem.</i>	
	Aluno 19: <i>Acho que eram ateus.</i>	
	Aluno 26: <i>Acho que não, que acreditavam na ciência.</i>	
	Aluno 29: <i>Acredito que ele não tinha uma religião.</i>	
Aluno 31: <i>Eu acredito que eram ateus.</i>		
Incerto	Aluno 4: <i>Não sei, depende.</i>	2 (6,5%)
	Aluno 23: <i>Não sei.</i>	

Fonte: elaborado pelo autor (2020).

Assim, não modificamos as categorias já estabelecidas desde o Estudo 1, contudo agora enfatizando a necessidade de se abordar e trabalhar com *categorias iniciais*, baseadas em nossos dados de pesquisa. As categorias com o número de estudantes que as constituem são representadas no Gráfico de barras da Figura 26.

Figura 26: Categorização inicial para os alunos que participaram do MD.



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

Acreditamos que as inferências obtidas da análise dos dados do Estudo 1 e que guiaram o planejamento e execução do MD permanecem válidas, uma vez que na nova aplicação do questionário os resultados não se mostraram discrepantes dos anteriores. Prosseguimos com a percepção de que para este grupo não era necessária uma aula específica para discutir extensivamente o misticismo quântico, mas que tal discussão fosse feita com comentários breves em momentos oportunos com o intuito de ir checando a estabilidade da RS.

Para a relação ciência *versus* religiosidade, mantivemos a concepção de que uma aula dedicada à discussão desse assunto era relevante, o que foi feito no 9º Encontro. Durante as aulas anteriores ao 9º Encontro, procuramos manter regularmente comentários pontuais e/ou questionamentos sobre a religiosidade (ou não) dos cientistas mais destacados que íamos mencionando ao longo do MD, em especial, Planck e Einstein. Esta aula com esta discussão poderia ter sido realizada em outro momento, talvez no primeiro dia de aula, mas acreditamos que poderia se perder a potencialidade da discussão se não fosse realizada ao final do módulo. O objetivo era mostrar que os cientistas selecionados e trabalhados, responsáveis pelo desenvolvimento e entendimento dos primórdios da teoria quântica, não tiveram sua atividade científica embaraçada, perturbada, pelas crenças que tinham, por sua religiosidade. Mencionar estes cientistas, como Planck ou Dirac, que eram desconhecidos dos alunos, como indicou a Figura 25, por exemplo, poderia limitar a potencialidade desta aula. A solução

seria trabalhar com nomes que foram identificados neste gráfico, mas o objetivo era trabalhar com os cientistas relacionados à quântica, portanto, fica manifesta a escolha de fazer essa discussão ao final do MD.

Com estes dados em mente acerca da RS dos estudantes e das categorias iniciais sobre religiosidade e ciência, passamos à descrição dos principais aspectos da aplicação do MD. Um relatório em maior detalhe consta do Apêndice I, onde mesclamos transcrições de áudios dos encontros, transcrições do diário de bordo do pesquisador e fotos das atividades realizadas.

Nossa primeira preocupação foi elucidar a etimologia do termo Física Quântica, estabelecendo/delimitando o significado do termo. Entendemos que, além desta abordagem encontrar consonância com a sugestão apontada por um dos professores-especialistas entrevistado em nosso Estudo 1, tratar do significado dos termos permitia um entendimento em nível conceitual mais claro do campo que se começava a estudar, o que poderia ser relevante em um contexto onde não se almejava um ensino-aprendizagem tão calcado no desenvolvimento matemático, como é o caso de uma turma de Ensino Médio. Introduzimos a Física Quântica como a ciência que estuda as quantidades mínimas, dada a tradução literal do termo *quantum*, quantidade mínima ou “pacote”, sendo o plural *quanta*. Ilustramos com exemplos diversos, ou analogias: os elétrons como sendo os *quanta* da eletricidade (uma analogia, porque é sempre um pouco complicado mencionar a questão do movimento de elétrons em si na corrente elétrica); o centavo como sendo o *quantum* do dinheiro e, como em breve entenderíamos melhor nas aulas, o fóton como sendo o *quantum* da radiação e da luz, ou seja, da radiação visível.

Ao mencionarmos o termo “quantidade mínima” nessa introdução, diversos alunos se mostraram animados por terem lembrado da palavra “quantidade” nos questionários de evocação de palavras, o que mostra um ponto interessante em se abordar os temas que compõem a RS, obtidos com a reaplicação do questionário.

Para fixar a noção de *grandezas quantizadas e contínuas*, utilizamo-nos de indicações obtidas na literatura (PAGLIARINI; ALMEIDA, 2016; HÉRAUD; LAUTESSE; FERLIN; CHABOT, 2017), sobre o uso de material de divulgação científica, preferencialmente escrito por nomes que fossem, ou possam ser, reconhecidos pelos estudantes, além de serem textos de linguagem acessível ao público em geral. Utilizamo-nos, em um primeiro momento, de trechos da obra *A Evolução da Física* (2008), de Einstein, nome já identificado por nós e também apontado na

literatura como o cientista mais reconhecido desse público. Para ilustrar a questão da diferença entre o contínuo e o quantizado, Einstein escreve:

Um mapa da cidade de Nova York e seus arredores está aberto diante de nós. Perguntamos: a que pontos podemos chegar viajando de trem? [...] que pontos podem ser atingidos por automóvel? [...] Dizemos: as distâncias de Nova York aos lugares que podem ser atingidos por trem mudam apenas de modo *descontínuo*. As distâncias aos lugares que podem ser atingidos por automóvel podem, contudo, mudar por passos tão pequenos quanto queiramos, podem variar de modo *contínuo*. As alterações da distância podem ser tomadas arbitrariamente pequenas, no caso de um automóvel, mas não no caso de um trem. (EINSTEIN; INFELD, 2008, p. 207, *grifo do autor*).

Este, portanto, constituiu um exemplo, ou analogia, de grande simplicidade que pôde ser utilizado com os educandos. Transcrevemo-lo, com o uso de exemplos mais acessíveis aos alunos no Texto de Apoio 1 entregue (Apêndice H) – todos os textos de apoio distribuídos foram redigidos com o cuidado de terem uma linguagem acessível e imagens tão claras quanto possível, visando torná-los minimamente interessantes para um público que têm a sua volta tantas coisas que parecem ser mais interessantes do que o estudo da Física. Contudo, no caso do exemplo mencionado por Einstein, acrescentamos uma situação mais comum aos estudantes, o que ilustra a nossa preocupação em tornar os textos acessíveis; ao invés de um trem que não está disponível em nosso contexto, colocamos um ônibus do bairro em que os alunos residiam e, ao invés de um carro qualquer, utilizamos o modelo de automóvel da professora de Física do colégio, conhecido por eles. Além disso, utilizamos trechos da autobiografia de Planck, tal qual fazem Pagliarini e Almeida (2016), colocando aos estudantes a religiosidade de Planck e as situações extremamente conturbadas que se sucederam na vida do renomado físico, que não foram suficientes para fazê-lo perder a fé na humanidade, na ciência e no Deus da religião. As tragédias foram bem captadas por Max Von Laue, em discurso no funeral do físico alemão de Kiel:

Seu primeiro filho, Karl, morreu no campo de batalha em Verdun, em 1916. Durante a Segunda Guerra Mundial, sua casa foi incendiada durante um bombardeio aéreo; sua biblioteca, formada ao longo de sua existência, desapareceu. O golpe mais terrível foi quando o segundo filho, Erwin, perdeu a vida na repressão terrorista de 1944. O próprio Max Planck, em viagem como conferencista, foi testemunha ocular da destruição de Kassel, onde permaneceu várias horas enterrado num abrigo antiaéreo. (PLANCK, 2012, p. 15).

O profundo sentimento religioso (JAMES, 2017) ainda é captado ao final da vida de Planck quando, como já comentado em nossa revisão de literatura, diz que

“religião e ciência travam uma batalha comum na incessante cruzada, sem fim, contra o cepticismo, a descrença e a superstição. O grito para reunir essa cruzada sempre foi e será: até Deus” (PLANCK, 2012, p. 236).

Acreditamos que utilizar esses trechos em sala de aula, como foi feito, pode ser útil na formação e afirmação de uma RS mais adequada e próxima ao universo reificado (MOSCOVICI, 2015) da Física Quântica, uma vez que os nomes dos cientistas aparecem/podem aparecer na rede de similitudes, como já indicado no Estudo 1. Além disso, nossa segunda preocupação em transmitir uma noção de diálogo entre ciência e religião, mais especificamente, entre ciência e religiosidade (JAMES, 2017), pode ser trabalhada de forma evidente pela simples colocação dessas sentenças.

Outra preocupação que mantivemos foi trabalhar com aspectos familiares para o grupo, a fim de que a tarefa de **tornar algo não familiar, como a Física Quântica, em algo familiar**, como Moscovici (2015) destaca, pudesse ser feita de maneira mais suave, e não ser tida como algo distante de seus interesses e completamente estranho, inibindo, assim, o surgimento de aspectos místicos. Para isso, tomemos como exemplo um questionamento que havia surgido entre alguns educandos de 2º ano do colégio Heitor, em 2018, quando o questionário inicial fora aplicado. Naquela situação, os alunos estavam extremamente curiosos e interessados em uma dada série de televisão²⁸ que abordava aspectos que se mostravam como sendo do domínio da Física Moderna, como “viagens entre dimensões” e a “existência de dimensões alternativas”. Dado que muitos estudantes do 2º ano, ouvidos em 2018, se mantiveram na turma em 2019, quando o MD foi conduzido, procuramos na primeira aula do MD tratar desta questão, buscando uma possível relação com “quântica”. Apresentamos aos alunos um trecho de uma entrevista com a física Lisa Randall (FURTADO; VIEIRA, 2006, p. 7), pesquisadora em teoria de supercordas, da qual transcrevemos uma parte, a seguir apresentada (o entrevistador, que não se identifica, é representado por E, enquanto a doutora Randall é representada por R):

²⁸A série *Stranger Things*, da Netflix, estreada em 2016 e com mais temporadas exibidas nos anos anteriores, inclusive em 2018. O próprio termo Netflix estava presente em redes de similitudes de nosso Estudo 1, ao passo que na rede de similitudes destes alunos que compõem o módulo, observamos o termo “ficção” apenas, na periferia da RS. Ainda sim é um bom indício para que haja um estudo, ou ao menos comentários durante as aulas, como fizemos, de aspectos da ficção relacionados à quântica, como é o caso desta série.

E: Por que a teoria [de supercordas] necessita de dimensões extras?

R: Todos querem uma resposta fácil para essa pergunta, mas ela é sutil. Essencialmente, a teoria seria instável sem essas dimensões extras. Dito de outro modo, não conseguiríamos fazer os cálculos necessários, e ela, portanto, não faria sentido.

E: Por que 10 dimensões espaciais?

R: No início, pensava-se que eram nove. Agora, no entanto, já se acha que talvez sejam 10. Mas isso depende de a interação das cordas ser muito forte ou muito fraca. Em outras palavras, às vezes uma teoria de 10 dimensões é equivalente a outra de 11, mas com outros valores de parâmetro. Agora, o porquê desse número específico se deve a um fato matemático: é o único que faz sentido para a teoria.

E: E por que só uma dimensão é temporal?

R: Na teoria das supercordas, já se considerou mais de uma, mas a questão é que, de novo, esse tipo de teoria é instável. Parte da razão para isso é intuitiva: se houver mais de um tempo, nossas noções de física se desfazem, e ocorre todo tipo de paradoxo.

Apesar de evidentemente não termos abordado em nosso módulo um tema complexo como é a teoria das cordas, explicamos que se trata de um campo de estudo mais complexo e avançado da Física Moderna, e que está relacionado com a Física Quântica. A relação com a série de televisão lembrada pelos estudantes fundamenta-se na afirmação de termos, nessa teoria, onze dimensões, sendo dez espaciais e uma temporal como destacado. O nome da personagem da série mencionada por eles, que realiza as viagens entre diversas dimensões é *Eleven* (onze), e estabelecemos aqui a relação. Além disso, comentamos também que outros personagens da ficção estudaram a teoria das cordas (como detalhado no Apêndice I). Defendemos que estas conexões são importantes, pois, além da vantagem de tornar a Física Quântica mais relevante e interessante aos estudantes, trata de temas que foram visualizados na RS dos alunos no Estudo 1 e novamente na reaplicação, no começo desta segunda etapa.

Diversas aplicações e relações que procuramos manter em nosso MD estão detalhadas no Apêndice I, sendo que mantivemos constante nossa preocupação em abordar tópicos que aproximassem a quântica de assuntos e termos conhecidos pelo grupo, sem abandonar a noção de construir uma representação que se aproximasse do universo reificado.

Destacamos ainda uma relação importante com a epistemologia, sobretudo a incomensurabilidade em Feyerabend (2011a). Na tentativa de tratar da sugestão obtida nas entrevistas com os professores, que foi classificada por nós como incomensurabilidade, procuramos estabelecer de maneira clara algumas distinções entre a Física Clássica e a Física Moderna. Para isso, solicitamos que citassem todos os

conteúdos que já haviam estudado na escola em aulas de Física, para que pudéssemos listar no quadro estes conteúdos. As respostas foram escalas de temperatura, que foram classificadas como Termodinâmica, “deus vê tudo” (um mnemônico) que foi classificado como pertencer à Cinemática, e as leis de Newton. Listamos esses conteúdos no quadro, mencionando outros, como gravitação e eletromagnetismo (Eletrostática e Eletrodinâmica em termos aparentemente mais familiares aos alunos) e enfatizamos que tais conteúdos correspondem à Física Clássica, que estuda corpos macroscópicos e em velocidades não elevadas.

Explicamos que para corpos muito pequenos, na faixa do nanômetro (10^{-9} metros, ou um bilionésimo de metro), ou para fenômenos que envolvem altas velocidades, são necessárias outras ferramentas, respectivamente, a Física Quântica e a Física Relativística. Com base na epistemologia de Feysabend (2011a; 2011b), buscamos destacar que os dois ramos da Física apontados, Física Clássica e Física Moderna, constituem visões de mundo diferentes (FEYERABEND, 2006). Ambas estudam fenômenos da nossa realidade, sendo, portanto, equivocado afirmar que adentramos em um mundo completamente novo. O mundo não mudou, é o mesmo, mas o estamos analisando de um ponto de vista diferente, usando teorias que se preocupam com fenômenos diferentes, a saber, o muito pequeno e o muito veloz, sendo que o nosso foco no MD era Física Quântica, ou entender o muito pequeno.

Dissemos que também não é correto compará-las diretamente, pois na verdade, não temos meios de compará-las (FEYERABEND, 2011a). As duas são, ou foram, igualmente importantes para a humanidade, sendo possível afirmar tão somente que preferimos uma à outra pelas mais diversificadas razões, como: uma é mais atual e resolve problemas mais recentes, uma ou outra é mais adequada diante de diferentes objetos de estudo que temos pela frente. Feysabend (2011a) foi mais fundo, afirmando que uma teoria pode ser considerada melhor quando lida em voz alta ou acompanhada de melodia de violão. Não fomos tão enfáticos, mas procuramos transmitir a ideia central que cerca a noção de incomensurabilidade, como incomparabilidade (MOREIRA; MASSONI, 2011).

Além desta aplicação clara da epistemologia, atentamos também para outro fator que se refere à natureza do trabalho científico, no contexto do notório surgimento da Física Quântica (velha mecânica quântica), com a apresentação por Max Planck, de seu artigo intitulado “Sobre a Teoria da Lei da Distribuição de Energia do Espectro Normal”, numa “reunião da sociedade alemã de Física, em 14 de dezembro de 1900”

(EISBERG; RESNICK, 1979, p. 19). Diversos autores (ALEMANY; BLANCO; TORREGROSA, 2013; ISAACSON, 2007) colocam em destaque o contexto em que se deu a hipótese de Planck para a quantização da energia do oscilador, com as fortes declarações de Lorde Kelvin, de que “não há nada de novo a ser descoberto na Física, atualmente” (ISAACSON, 2007, p. 107). Ademais, segundo Isaacson (2007), essa declaração teria se dado no mesmo ano de 1900, em palestra à Associação Britânica para o Progresso da Ciência, poucos meses antes da apresentação do artigo de Planck.

Escrevemos essas afirmações no quadro da sala de aula, buscando mostrar o sentimento que alguns cientistas possuíam à época, de que não era necessário o surgimento de uma nova teoria para explicar os problemas com os quais a Física se deparava. Dessa forma, procuramos, em nossas aulas, não simplificar a História com a apresentação das explicações da radiação de corpo negro e de efeito fotoelétrico como problemas não resolvidos que foram brilhantemente explicados por Planck e Einstein e que, conseqüentemente, levaram à aceitação da nova teoria quântica (STADERMANN; VAN DEN BERG; GOEDHART, 2019). Não obstante, procuramos apresentar tais tópicos como algo que já vinha sendo pesquisado. Mencionamos em um dado momento a tentativa de Hertz de explicar o efeito fotoelétrico através da Física Clássica, sem conceber a luz como constituída de corpúsculos (NUSSENZVEIG, 2014). Embora houvesse diferentes cientistas estudando estes tópicos com base em teorias diferentes, como Philipp Lenard com relação ao efeito fotoelétrico, ou Gustav Kirchhoff para a radiação de corpo negro, optamos pela menção apenas do nome de Hertz, por ser um nome que já fora estudado pelos estudantes, ao menos como unidade de frequência.

Por fim, do ponto de vista da Epistemologia, destacamos em última instância o trabalho do cientista segundo a visão de Feyerabend (2011a), que se constitui de uma constante tentativa de tornar forte o argumento fraco. Quando introduzimos a noção de *quantum*, devido à Planck, procuramos enfatizar que Einstein estendeu este argumento para toda a forma de radiação, não apenas para o corpo negro (ou osciladores em uma cavidade), mas à toda forma de radiação, como a luz. Assim, o argumento de que a energia é constituída de pacotes, que fora um argumento sem qualquer pretensão filosófica para Planck (apenas uma consequência de um argumento matemático) (ALEMANY; BLANCO; TORREGROSA, 2013), encontrou força na teoria de Einstein sobre o efeito fotoelétrico, de que toda a radiação é descontínua e transmitida na forma de pacotes, que mais tarde receberam o nome de fótons.

Dessa forma, conduzimos a ministração dos tópicos iniciais do MD, isto é, a introdução inicial foi uma discussão sobre etimologia e incomensurabilidade, radiação de corpo negro e efeito fotoelétrico de forma a abordar a História e a Epistemologia, mas o fizemos de uma maneira a não se perder o rigor do ensino de tópicos de Física Quântica. Pelo contrário, buscamos auxiliar no estabelecimento destes tópicos, para formação de uma adequada RS. Ademais, como descrito no Apêndice I, procuramos em diversos momentos guiar atividades práticas, ou seja, executar alguns experimentos simples como diversos autores sugerem (CLAVIJO; WALTEROS; CORTÉS, 2019; AYENEL; KRICK; DAMITIE; INGERMAN; THACKER, 2018; MARKIN; MARKINA; EILKSB, 2017). Os experimentos estão mais detalhados no relatório das atividades do Apêndice I. Destacamos aqui alguns mais cruciais, no sentido de que pareceram auxiliar os estudantes a compreender os conceitos que se pretendia introduzir.

Para entendimento da diferença entre aquilo que é quantizado ou contínuo, utilizamos um experimento caseiro simples, consistindo em um pote transparente, água e pequenas esferas de gel, as quais se expandem com a umidade. Ao colocarmos as esferas na água, elas se expandiram e tornaram-se praticamente invisíveis a um observador pouco atento. Isso ocorre porque as esferas de gel quando expandidas, mantêm o mesmo (ou muito próximo) índice de refração da água, de forma que é extremamente difícil enxergá-las dentro de uma vasilha com água que as cubra.

Figura 27: As esferas de gel (que comumente se coloca em plantas para manter a umidade), antes e após o contato com a água, para tratar da quantização em nível conceitual.



Fonte: fotografias capturadas pelo autor (2019).

Esse pequeno experimento, lúdico, foi utilizado na tentativa de elucidar o caráter quântico dos fenômenos estudados. Quando os alunos se depararam com a vasilha com água, foram perguntados sobre o que havia no interior. Acreditavam que não havia nada ali além de água, algo, portanto, contínuo. Mas ao serem autorizados a colocar as mãos na vasilha, perceberam que além de água tínhamos dezenas de pequenas esferas, de

forma que, aquilo que inicialmente parecia ser contínuo, revelava-se, com uma análise mais detalhada, possuir um caráter quantizado. Isso foi relevante para elucidar o caráter quântico da luz, por exemplo, com os fótons comparados, em analogia, com as tais esferas (invisíveis). Procurou-se tomar o cuidado de não transmitir uma noção de que os fótons são apenas esferas, “bolinhas”, mas sim entes quânticos que apresentam um caráter dual. Essa preocupação com a formação de imagens é sempre importante, mas fica relevada com o caráter da RS, com a objetivação (MOSCOVICI, 2015), formação de imagens pelo grupo, sendo um fenômeno natural. Assim, a objetivação deve ser conduzida para que imagens distorcidas e equivocadas sejam evitadas ao máximo.

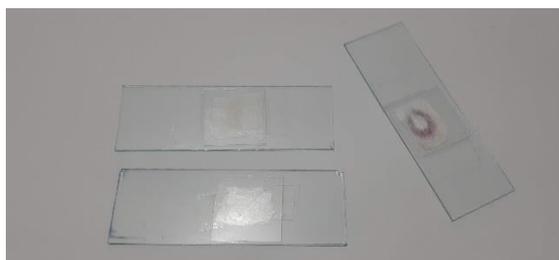
Outra atividade experimental que pôde elucidar aspectos mais conceituais a serem abordados no MD foi realizada ainda no primeiro encontro. Dado que os alunos poderiam ter um entendimento raso (ou incompleto) sobre unidades de medida e notação científica, trabalhamos com imagens, vídeos e algumas situações específicas que elucidassem as diferentes unidades de medida (a partir de qual ordem de grandeza a Física Quântica geralmente se depara). Queríamos chegar ao nanômetro. À medida que elucidávamos ordens de grandeza cada vez menores, chegamos em um dado momento ao micrômetro. Para elucidar quais corpos se encontram nesta faixa de grandeza, utilizamos o laboratório de ciências do colégio, que, embora existisse na escola, nunca havia sido visitado pelos estudantes do terceiro ano. No laboratório, a escola possuía dezesseis microscópios de boa qualidade (uma listagem com todos os equipamentos do laboratório e algumas fotos pode ser verificada no Apêndice I), de forma que preparamos cinco deles com tecidos epiteliais diversificados, alguns preparados pelo pesquisador, para ilustrar aqueles objetos que são da ordem do micrômetro, além de esclarecer que em Física Quântica dirigimos nossa atenção ao estudo de entes ainda menores que estes vistos em microscópio.

Figura 28: Um dos microscópios preparados com uma lâmina com um tecido epitelial de coração.



Fonte: fotografia capturada pelo autor (2019).

Figura 29: Lâminas e lamínulas preparadas pelo pesquisador com pequenos pedaços de casca de cebola, permitindo a visualização das paredes das células vegetais.



Fonte: fotografia capturada pelo autor (2019).

O penúltimo experimento que queremos mencionar refere-se ao utilizado para abordar conceitualmente a relação entre energia e frequência, antes de ser introduzida a relação matemática $E = nhf$ (optamos por f ao invés de v , para evitar complicações adicionais no entendimento da formulação matemática). Tratou-se de um experimento simples para o qual foi necessário uma fonte de tensão variável (utilizamos uma nossa, mas a escola possuía uma funcionando em perfeitas condições), cabos de conexão, um grafite (preferencialmente 0,5 mm, pois o fenômeno não é tão visível para grafites 0,7mm ou superior, ao menos nas faixas de tensão utilizadas, também expressas no Apêndice I, com fotos deste experimento) e um pote de vidro ou copo de béquer (disponíveis no laboratório do colégio). O experimento consistiu em fazer passar uma corrente pelo grafite, de forma que este, por efeito Joule dissipasse calor, inicialmente

radiação infravermelho. À medida que aumentamos os valores de tensão, o brilho aumentava, passando do vermelho, ao laranja, ao amarelo (claro) e por fim chegou a uma coloração muito clara quando estava prestes a se romper. Explicamos que o aumento do brilho representava um aumento de frequência, com um aumento de temperatura que é entendida como aumento da energia dissipada. Assim, dado que se aumentava a frequência e a energia na mesma proporção, o entendimento da expressão matemática $E = nhf$ pôde ser facilitado.

Um último experimento que queremos elucidar (enfatizamos que diversas atividades semelhantes àquelas até aqui descritas foram conduzidas, conforme elucidamos de maneira resumida no Apêndice I) se refere ao experimento mencionado por alguns professores de Física em nossas entrevistas semiestruturadas, ao final da Etapa 2 de nosso Estudo 1. Por ser um experimento com partes instrumentais mais sensíveis, e possuindo apenas um modelo no Instituto de Física da UFRGS, de forma que não poderia ser levado até a escola, prosseguimos de maneira a organizar uma visita e conduzir a turma até a Instituição, no Campus do Vale. A visita se deu no dia dezessete de outubro e contou com a ajuda de técnicos de laboratório do Instituto de Física, tendo uma introdução da orientadora desta dissertação, seguida de uma explicação detalhada da difração de elétrons conduzida pelo pesquisador com auxílio dos técnicos e profissionais especializados do departamento.

Figura 27: Experimento de Difração de elétrons do Instituto de Física.



Fonte: captura de vídeo realizado pelos alunos e enviado ao professor (2019).

É de se destacar que a visita à Universidade teve uma importância social para esses educandos, como dito, oriundos de um bairro pobre, afastado e de alta vulnerabilidade social de uma cidade satélite de Porto Alegre. A maioria não conhecia a Universidade e vários desconheciam que se tratava de Instituição Federal, pública e gratuita, cujo acesso eles poderiam sonhar e lutar. Visitamos também, nessa oportunidade, o Museu de Paleontologia do Campus do Vale da UFRGS, espaço em que tiveram explicações sobre animais encontrados na Região Sul em camadas do período triássico (cerca de 230 milhões de anos). Foi para eles um dia memorável.

Conduzimos, nesse dia, então, o experimento de difração de elétrons, para elucidar a dualidade onda-partícula e a hipótese de De Broglie. Comparamos o resultado com a previsão clássica com o uso de um pequeno tabuleiro de Galton (Apêndice I), adquirido pelo pesquisador para o MD. Ao abordarmos a difração e a interferência com elétrons e fótons, essa discussão permitiu abordar um tópico relevante para tratar do misticismo, o fenômeno da decoerência quântica. Este tópico foi abordado de forma breve, dado que o grupo não apresentava fortes concepções de misticismo na RS, conforme interpretamos.

Em síntese, a decoerência, também chamada de descoerência por alguns autores, por si só, não é exatamente algo novo, como destacado em Freire Jr., Pessoa Jr. e Bromberg (2010). A ideia básica está relacionada ao fato de que um sistema quântico que não esteja isolado do meio-ambiente terá propriedades completamente distintas daquelas apresentadas por um sistema isolado, perdendo o comportamento “dito quântico”, que exibiria interferências, passando para um comportamento clássico, cujas propriedades como posição e trajetória estariam simultaneamente bem definidas. Algo interessante que essa discussão permitiu, foi o fato de poder explorar que essa interação com o ambiente e a perda do padrão quântico nos indica que não há exatamente um tamanho de corpos bem definido capaz de apresentar os efeitos quânticos, no sentido de que o efeito de difração de elétrons também foi identificado em moléculas grandes (por exemplo, como demonstram Fein *et al.* (2019), em um experimento de superposição quântica de moléculas, consistindo de mais de 2000 átomos com massa em torno de 25000 Da²⁹). Isto ilustra uma concepção no sentido de ser equivocada a afirmação de

²⁹ Sendo esta uma unidade muito utilizada em Física atômica em química, o Dalton, ou simplesmente, unidade de massa atômica. Ela é definida como 1/12 da massa de um átomo de carbono-12 em seu estado fundamental.

que ao estudarmos Física Quântica entramos em um mundo completamente novo, uma vez que as fronteiras para que se possa observar os fenômenos quânticos sequer são totalmente bem definidas, com a superposição quântica ainda sendo observada em moléculas massivas. De qualquer forma, enfatizamos que à medida que se aumentam as escalas de medida, os fenômenos quânticos ficam cada vez menos visíveis, menos perceptíveis, dado o aumento da descoerência, até a escala macroscópica, com situações do cotidiano, onde a interação com o ambiente é tão relevante que já não se observa qualquer coerência quântica.

Dadas estas preocupações do ponto de vista conceitual que tivemos durante toda a execução do MD, passamos também a outra área de interesse em nossa intervenção, o cuidado por transmitir uma visão ampla e que incluísse diferentes formas de crenças no meio científico ou a ausência delas (BOWMAN; ROCKENBACH; MAYHEW; RIGGERS-PIEHL; HUDSON, 2016). Assim, realizamos nas primeiras aulas do MD uma linha do tempo simplificada, com datas de acontecimentos importantes devidos à contribuição de diferentes Físicos no desenvolvimento inicial da Física Quântica. Entre estes, usamos não apenas a figura de Planck e Einstein, dado que estes eram importantes par nós e devido a suas crenças religiosas marcantes. Tomamos também outros nomes, como Dirac e Feynman, abordando como eventos importantes a proposta do conceito de antimatéria para o primeiro e a participação no projeto Manhattan para o segundo. Dirac foi tomado no MD como um forte exemplo para o ateísmo (HEISENBERG, 1996); já Feynman, tomamos com um exemplo para um ateísmo moderado, com uma tendência à vertente agnóstica, com muito respeito e tolerância às crenças religiosas e um posicionamento mais comedido do que o de Dirac. Destacamos que a introdução destes nomes durante as aulas iniciais do MD foi pensada também para gerar algum subsídio para a aula final, que foi dedicada a uma discussão mais profunda da relação ciência e religiosidade.

Nessa última aula, solicitamos um período extra ao professor de Filosofia do colégio, para que pudéssemos executar uma atividade conjunta (Física e Filosofia), discutindo a religiosidade dos cientistas que foram mencionados ao longo do MD. Houve uma preocupação em abordar o determinismo e o indeterminismo em quântica, relacionando isto com as crenças de alguns cientistas, como para Einstein, onde esta discussão é mais marcante. Não obstante, dada a forte admiração de Einstein e outros cientistas, como Schroedinger, pelo panteísmo de Espinoza (ISAACSON, 2007), decidimos que a aula dedicada a tal discussão poderia ser mais bem aproveitada se fosse

executada juntamente e com presença do professor de Filosofia. Infelizmente, na semana que a atividade foi realizada, o professor de Filosofia do colégio perdeu um familiar próximo e não pôde estar presente, de forma que a atividade foi guiada apenas pelo pesquisador.

Para que tivéssemos alguma discussão entre os estudantes sobre o tema, elaboramos a dinâmica denominada “Quem eu sou?” (Apêndice J). Essa atividade consistiu em construir e distribuir diversas pequenas cartilhas com dicas sobre quem seria o cientista a que se referia; os alunos, em duplas, deveriam ler, discutir e tentar adivinhar, com base naquilo que já havia sido discutido em aula, a qual cientista a carta se referia. Após as duplas indicarem o nome que supunham correto, deveriam ler ao grande grupo para que os demais pudessem também refletir e avaliar se concordavam com a escolha da dupla. Em alguns itens das cartas colocamos aspectos sobre a religiosidade de cada um dos oito físicos escolhidos, sendo que um era personagem de ficção por ter sido comentado repetidas vezes durante o MD. Eram eles: Planck, Einstein, Bohr, Dirac, Schroedinger, De Broglie, Feynman e Dr. Manhattan (este último um personagem de ficção, como dito). Todas as informações contidas nas cartas da atividade foram retiradas das diversas biografias consultadas durante a preparação do MD.

Como imaginado, o tópico que se mostrou confuso para os estudantes foi a menção ao panteísmo de Espinoza mencionado nas cartas. Para tanto, utilizamos nessa aula a obra *Ética* (2017) do filósofo holandês Baruch Espinoza; levamos à sala de aula a obra em latim com tradução para o português. Apesar de estarmos atentos nessa aula às falas dos educandos, suas respostas à atividade foram rápidas e sem grandes discussões, reduzindo-se à fala das duplas, em voz alta, dos nomes dos cientistas que responderam nas cartas. Contudo, ao final do período, uma discussão, com resultados mais interessantes pareceu mostrar que alguns conceitos e episódios históricos poderiam ter marcado a memória de vários alunos da turma, mobilizando o que Kahneman chama de Sistema 2 (KAHNEMAN, 2012):

Pesquisador: *E no que vocês acreditam gente? A gente está vendo que existem, que tinham cientistas que tinham crenças, alguns que não tinham... Vocês acham que dá para acreditar em experiências religiosas, ou Deus, sem problema? O que vocês acham?*

Aluno Jo: *Bah, acho que sim. Só não pode tipo, acreditar exatamente em tudo da Bíblia, tá ligado, como que Deus criou a Terra em sete dias, acho que...sim, mas não pra acreditar literalmente sabe...*

[...]

Pesquisador: *Mas o que eu queria dizer é isso o que o “Aluno Jo” estava dizendo, que não tem problema acreditar na Bíblia, acreditar em Deus, mas também a gente não pode tomar tudo como literal. Era isso o que o Feynman dizia, lembram dele?*

Aluna Ta: *Sim o cientista, o físico, que disse que se tu dizes que entende física quântica, é porque não entendeu.*

Pesquisador: *Sim ele mesmo, que esteve no Brasil né, que participou do projeto da bomba, lembram o nome?*

Aluno Jo: *Projeto Manhattan! Nunca mais eu vou esquecer isso.*

Pesquisador: *Sim! Isso aí. Ele dizia esse tipo de coisa, que tudo bem acreditar na Bíblia e tudo mais, mas não pode tomar tudo como verdade literalmente, sabe? Tem que ter o questionamento, e não tem problema nisso.*

Essa passagem é um exemplo de interação que se manifesta como um indício inicial de que nossa preocupação quanto à relação ciência e religiosidade foi tratada e, em certa medida, capturada ao longo do nosso MD, isto é, a intenção de transmitir a ética da coexistência (BAGDONAS; SILVA, 2015; CARVALHO, 2015) entre ciência e religiosidade pareceu ter chegado aos estudantes. Nessa perspectiva, falamos que existem entre os pesquisadores acadêmicos e também entre as pessoas em geral, diversos graus de experiências religiosas (JAMES, 2017), e que o sucesso na ciência (ou em qualquer outra profissão) e a importância que os pesquisadores destacados ao longo do módulo didático adquiriram não é medida ou embaraçada por aquilo em que eles acreditam, de forma que ciência e religiosidade não precisam ser vistas como incompatíveis. Assumimos que ao se colocar ciência em conflito com a religião possamos estar escolhendo um caminho que resulta em uma desconfiança maior das pessoas em relação à contribuição e importância da ciência em nossos dias. E mais grave ainda, tal desconfiança alimenta as chamadas *fake news* que povoam a internet. Johnson (2016) coloca em termos de desafio para os pesquisadores e cientistas, mas entendemos que também para os educadores e divulgadores da ciência, tentar encontrar caminhos para mitigar essa perspectiva pública de antagonismo entre ciência e religião, especialmente se quisermos que a educação científica seja aceita e compreendida como uma forma de cultura, capaz de tornar os cidadãos mais participativos e reflexivos em nossa sociedade.

Assim, dado que as gravações de áudios das aulas e as nossas anotações no diário de bordo não manifestaram novas categoriais para a percepção dos estudantes na

relação entre ciência e religião, mas apenas ressaltaram alguns aspectos do que já havia sido discutido ao longo do Estudo 1 e da análise das respostas ao questionário aplicado no início do Estudo 2, buscamos lapidar nossas categorias iniciais – *Certeza da Religiosidade, Certeza da Não Religiosidade, Resposta Aberta Positiva, Resposta Aberta Negativa e Incerto* – em termos de nossas discussões guiadas até o presente momento, buscando respaldo nos trabalhos da literatura consultada.

Isto figura ainda esta pesquisa como um estudo baseado na Teoria Fundamentada (CORBIN; STRAUSS, 2015), uma vez que nossas categorias emergiram dos dados puramente (e.g., evocações de palavras coletadas em diferentes escolas que permitiram construir quatro redes de similitudes, a Tabela 9 surgiu de respostas à aplicação de questionário inicial, a definição de categorias iniciais emergiu do agrupamento de respostas e da interpretação de falas na aplicação do MD), mas são em um segundo momento relacionadas e comparadas com outras perspectivas.

Assim, dada a classificação identificada na literatura sobre as formas de relacionar ciência e religião (BAGDONAS; SILVA, 2015; STEWARTA; MCCONNEL; DICKERSON, 2016), passamos à definição de nossas categorias finais, como ilustrado no Quadro 5.

Esclarece-se que esta nova classificação nada mais é do que renomear as categorias iniciais com base em nossa revisão de literatura. Isto não foi feito antes, já no Estudo 1, por exemplo, porque almejávamos compreender se o MD poderia revelar novas categorias, após análise linha por linha das transcrições de áudios ou do diário de bordo. E aqui lembramos o caráter indutivo da Teoria Fundamentada, o que evidentemente não é algo que a diminua, porque a indução é uma das muitas formas de fazer ciência, não a única como defendiam os empiristas-indutivistas. Assumimos existência clara de um pluralismo metodológico (FEYERABEND, 2011a). Assim, como novas categorias não foram identificadas, trabalhamos e nos aprofundamos com as categorias que já possuíamos.

Quadro 5: Categorias Iniciais e a nova classificação.

Categorias Iniciais	Novas Categorias
Certeza da religiosidade	Categoria de Acomodação (A)
Certeza da não religiosidade	Categoria de Conflito (C)
Resposta aberta positiva	Categoria de Diálogo (D)
Resposta aberta negativa	Categoria de Domínios Separados (DS)
Incerto	Categoria Incerto (I)

Fonte: elaborado pelo autor (2020).

Dessa forma, (re)nominamos as *categorias iniciais* construindo um conjunto de *Categorias* para o qual guiamos nossa análise acerca da religiosidade de acordo com nomenclaturas encontradas na literatura. A última categoria, *Categoria Incerto*, continua com a mesma denominação, dado que não há formas claras de categorizar a forma como esses alunos pensam. Em nosso MD, como já indicado, procuramos guiar a discussão em torno de uma defesa da *Tese do Diálogo* (BAGDONAS; SILVA, 2015) ou o *Modelo de Compromisso* (STEWARTA; MCCONNELL; DICKERSON, 2016) através da defesa da ética da coexistência (CARVALHO, 2015). Almejamos identificar se, após a execução do MD houve alguma modificação entre as categorias, com uma tendência esperada na direção da *Categoria de Diálogo*.

Tal mapeamento foi realizado através de um questionário final (Apêndice C) aplicado aos estudantes em novembro de 2019³⁰. Todos estes procedimentos de categorização e refinamento objetivaram responder à segunda questão de pesquisa que norteia a presente investigação

Neste último questionário, almejamos não apenas mapear como se deu a percepção dos estudantes sobre a relação Ciência e Religiosidade, mas igualmente mapear a RS do grupo após a execução do MD, para identificar se esta se aproximava do universo reificado para a Física Quântica. Em outras palavras, buscamos responder também à primeira questão de pesquisa desta investigação. Neste sentido, destacamos do Apêndice I alguns diálogos que ilustram como, no MD, a discussão procurou

³⁰ Planejávamos aplicar este questionário presencialmente com os 34 alunos. Contudo, as aulas foram suspensas em novembro por uma greve dos professores estaduais que marcou todo o estado nos meses de novembro, dezembro e parte do mês do janeiro. Visto que, em novembro já percebíamos que não havia indícios de as aulas serem retomadas em breve, elaboramos o questionário final com o uso do *Google Forms*, que se trata de uma ferramenta online e gratuita para a construção e distribuição de questionários. Os alunos tiveram acesso ao questionário via endereço eletrônico compartilhado pelas redes sociais.

conduzir uma visão de ciência mais adequada às visões contemporâneas e como alguns alunos iam acompanhado de forma crítica, por exemplo, ao abordarmos a proposta teórica de Dirac da antimatéria:

Pesquisador: [...] *O que vocês acham que vai acontecer se eu colocasse bem próximo um átomo de hidrogênio de um antihidrogênio?*

Aluno El: *Eles se autodestroem.*

Pesquisador: *Eles se anulam e se destroem, eles viram, tipo, energia, viram um flash de luz e somem. Então, colocando os dois juntos (desenhando) eles desaparecem e viram energia, viram luz. Isso serviu de base para uma história de super-heróis da DC Comics, não sei se vocês já ouviram falar da Crise nas Infinitas Terras, onde vai ter agora na série do Arrow. O que acontece lá é o que o vilão controla a antimatéria. Só que que naquela história ele quer transformar todo o universo em antimatéria. Vocês acham que isso seria possível?*

Aluno El: *Talvez...*

Pesquisador: *Não seria possível. Porque ele controla a antimatéria, quando ele chegasse perto da matéria, o que ia acontecer?*

Aluno El: *Ia virar tudo luz.*

Pesquisador: *Ele ia desaparecer. Então essa história da DC, apesar de ser muito legal, ela não está muito correta do ponto de vista científico. Mas é uma das coisas mais interessantes da Física Quântica isso... bom, vocês entenderam essa parte da antimatéria? A antimatéria é muito rara no universo, por isso que não acontece isso, de estar toda hora liquidando matéria com antimatéria. Ela existe, mas não conhecemos direito, ao menos ela não está perto de nós para aniquilar toda a matéria... Vamos para outra data aqui. Tem um nome de um físico que era De Broglie.*

Aluna Br: *De...?*

Pesquisador: *De Broglie. É que nem aquele jogador do Boca Juniors, o de Rossi. O “de” faz parte do nome dele. De faz parte do nome desse cara aqui, o “de Broglie”.*

Aluna Fe: *Mas não existiu nenhum físico brasileiro famoso aí?*

Pesquisador: *Ah sim, o César Lattes é um. Ele quase ganhou o prêmio Nobel. Mas ele não ganhou o prêmio Nobel de Física...*

Aluna Fe: *Porque ele era brasileiro...*

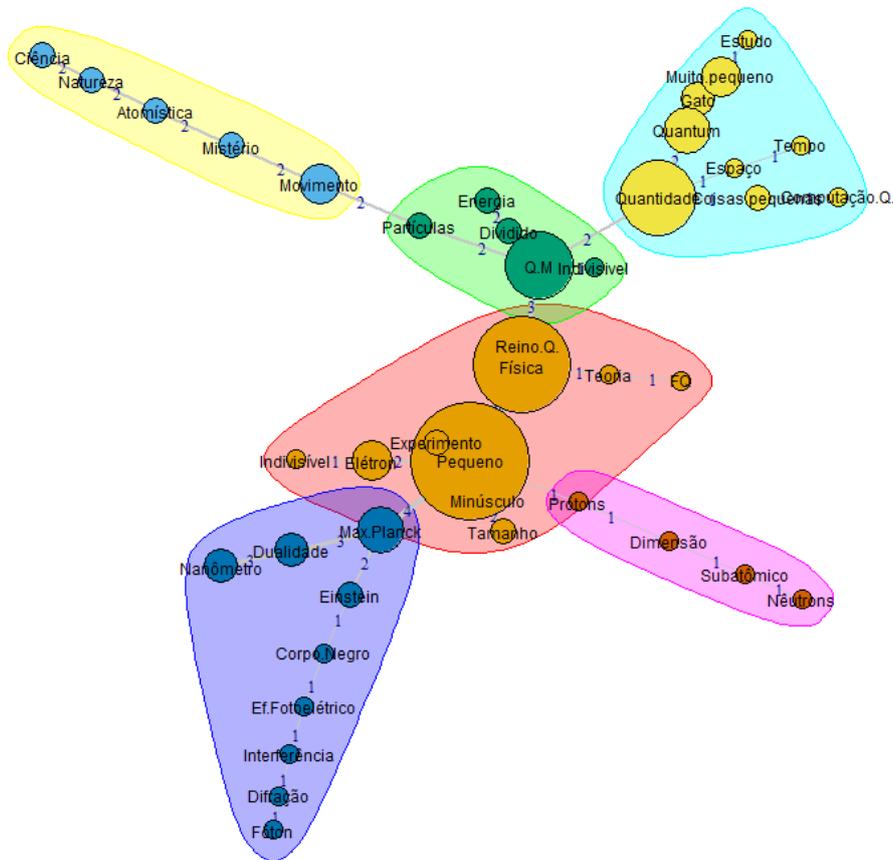
Pesquisador: [...] *daí tem algumas pessoas que falam que o Brasil não tem que investir em ciência mesmo porque não ganhou nenhum prêmio Nobel, sabe? Isso é um absurdo. O brasileiro não ganhou o prêmio Nobel, porque o comitê não escolheu dar para os brasileiros, escolheu outros, de outros laboratórios. Dizer que o Brasil não desenvolve porque não ganhou prêmio Nobel é uma mentira, de certa forma. É triste, mas fazer o quê, temos que continuar...*

Além disso, destacamos que o questionário final (Apêndice C) é semelhante ao questionário inicial aplicado na Etapa 1 do Estudo 1 e no começo do MD no Estudo 2, tendo uma questão inicial de evocação de palavras ou expressões baseada na Técnica de Associação Livre de Palavras - TALP, que nos permitiu a construção de uma rede de similitude para a análise da RS. As questões para mapear aspectos sobre a relação ciência e religiosidade foram agora colocadas na forma de quatro questões objetivas e acrescentamos questões para identificar se houve um aprendizado geral dos conceitos de Física Quântica estudados. No final do questionário, colocamos uma nova questão para coletarmos alguns retornos, *feedbacks*, dos estudantes sobre as atividades realizadas no MD.

Iniciamos nossa análise dos resultados finais do MD via questionário final, com a análise da RS que as respostas sugerem ter sido formada. Dos trinta e quatro estudantes que em média assistiram às aulas (com uma ou outra ausência), vinte e sete responderam ao questionário final. Ressaltamos novamente que, infelizmente, a aplicação desse questionário precisou se dar remotamente, dado que fomos interrompidos por uma greve extensa do professorado (em função de atrasos e parcelamentos salariais) que ocorreu no final do ano de 2019. Para nossa sorte, o MD pôde ser finalizado antes da greve, mas não obtivemos a mesma sorte para a aplicação do questionário final, razão por que foi aplicado remotamente.

Para a primeira questão, repetimos o procedimento da TALP, solicitando aos alunos que respondessem aquilo que lhes vinha à mente quando ouvem/leem o termo “Quântica”. Dos vinte e sete respondentes, vinte e seis responderam esta questão, pois optamos por não colocar nenhuma questão como sendo obrigatória. Dessas vinte e seis respostas, obtivemos um total de **oitenta e duas expressões evocadas**. Um número maior de evocações do que o questionário aplicado no começo do MD, com menos alunos respondendo (trinta responderam o questionário inicial e vinte e seis, o final). Essas evocações foram novamente computadas e analisadas com o uso do programa IRAMuTeQ, como feito anteriormente. Ilustramos a rede de similitude na Figura 27.

Figura 27: Nova rede de similitudes com base no questionário final (2019/2), indicando uma nova RS.



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

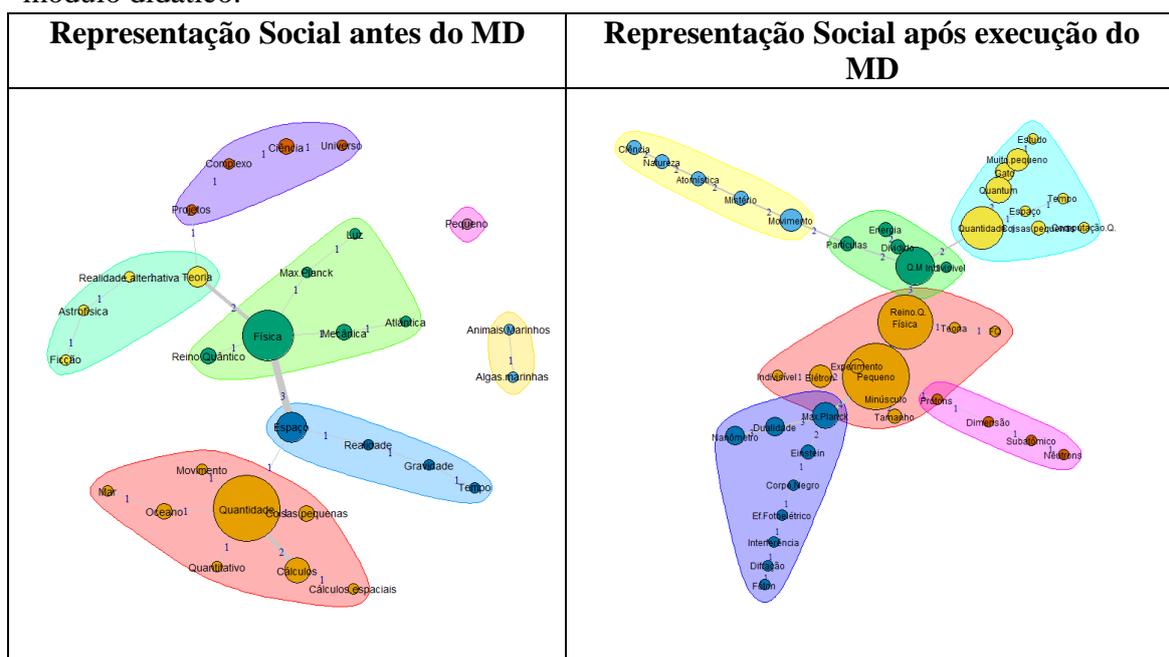
Em primeiro lugar, observamos que esta nova representação se aproxima um pouco mais do que é considerado por nós como o universo reificado da Física Quântica. Não há termos associados ao misticismo no núcleo da RS, tampouco na periferia. Diversos termos do universo reificado, como os mencionados por professores nas entrevistas na Etapa 2 do Estudo 1 aparecem nesta nova RS, como Efeito Fotoelétrico, Interferência e Difração, todos com uma menção cada. Também observamos os nomes de Max Planck, mencionado quatro vezes e Einstein, mencionado duas vezes, seguindo a nossa ordem de apresentação do MD e frente à ênfase que demos no trabalho de Max Planck, de forma que também este se aproxima do núcleo da RS.

No núcleo, o termo Física ainda se mantém como central, com sete lembranças, e divide agora o caráter central da RS com o termo “pequeno”, dado que os estudantes parecem ter assimilado com facilidade que a Física Quântica é o estudo de fenômenos e entes muito pequenos. Isso também foi verificado com a aplicação da avaliação final,

onde lhes foi solicitado que, após leitura de algumas manchetes da internet sobre Física Quântica e vida amorosa ou sucesso no trabalho, deveriam explicar por que a Física Quântica não se refere a este tipo de situação. As respostas, que podem ser vistas no Apêndice L, mantiveram uma linha de pensamento e manifestaram que a Física Quântica não se aplica a questões do cotidiano, macroscópicas, por ser uma ciência que estuda tudo aquilo que é muito pequeno.

Além disso, como adverte Moscovici (2015), não se deve encarar esta nova RS como uma modificação da antiga, pelo contrário, a RS antiga é abandonada e forma-se uma nova representação, que pode ter características em comum, que serão mais possivelmente observadas no núcleo da RS. De fato, foi isso que observamos, uma nova RS, com algumas semelhanças no núcleo central. O termo “pequeno” mostra-se como uma situação interessante, pois estava na periferia da RS antiga e agora reaparece, mas com um caráter central. Termos relacionados à água, como “atlântica”, “algas marinhas” e “animais marinhos”, que se mostravam como termos periféricos e que eram identificados na literatura como relacionados com noções de misticismo, não mais estão presentes na nova representação. Apresentamos na sequência um Quadro contendo as duas redes de similitude (antes e depois do MD) em que é possível comparar mais diretamente as duas representações, para que as diferenças fiquem mais visíveis e também ressalte como uma RS mais próxima do universo reificado foi alcançada.

Quadro 6: Comparação entre a RS no começo do módulo e a RS ao final do módulo didático.



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

Essa estrutura mais articulada da rede de similitude após a aplicação do MD, bem como os achados que levam em conta as características bastante conceituais (do MD), marcado por experiências simples e próximas dos estudantes, demonstrações e uso de vídeos e objetos virtuais, levando em conta as sugestões colhidas a partir de entrevistas (Estudo 1, Etapa 2) com professores-especialistas que ministram disciplinas de Física Quântica no Ensino Superior (na formação de professores), tudo isto torna possível, pelo menos de forma preliminar, responder afirmativamente à primeira questão de pesquisa que guia nosso estudo. Além disso, uma RS mais próxima do universo reificado, indica que um aprendizado geral do conteúdo aconteceu, com ocorrência de certo grau de alfabetização científica. Este aprendizado também fica de certa forma evidenciado ao observarmos a taxa de acertos nas avaliações dos trinta alunos que a realizaram (os instrumentos de avaliação aplicados são apresentados no Apêndice K), onde procuramos mesclar questões diversas, como ilustrado na Tabela 10. A avaliação constitui elemento mais formal de avaliar o aprendizado dos alunos, mas as respostas às questões do questionário final também indicam que houve aprendizado (a taxa de acertos a este questionário encontra-se no Apêndice D).

Tabela 10: Questões das avaliações e taxa de acertos.

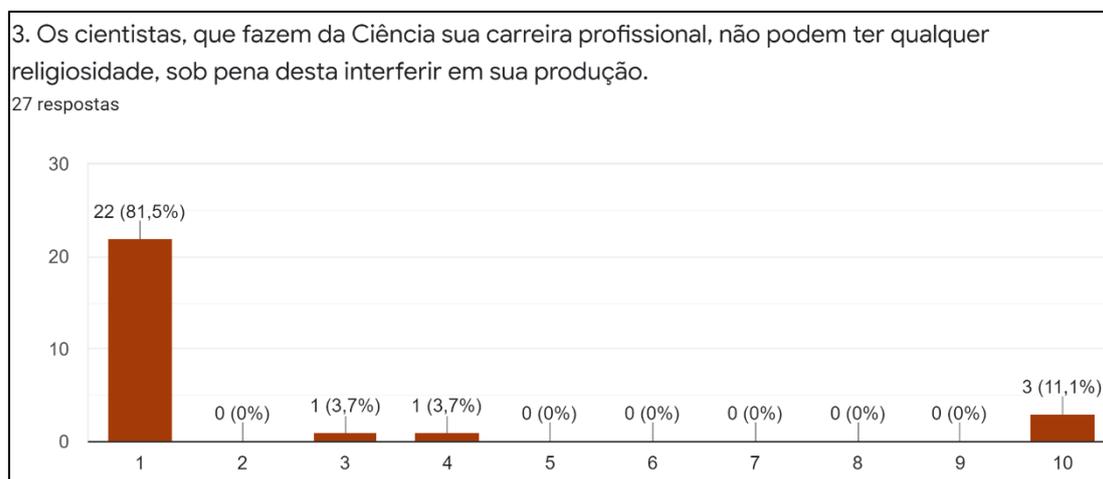
Questão da Avaliação	Breve descrição	Acertos
1	Vestibular (UFRGS 2019) – Física Clássica vs Física Moderna	93% (28 de 30)
2	Vestibular (ITA 2002) – Dualidade onda-partícula	53,3% (16 de 30)
3	Seis questões de verdadeiro ou falso diversificadas (elaboradas pelo autor)	79,4% (143 de 180)
4	Cálculo de ondulatória – Ondas eletromagnéticas	60% (18 de 30)
5	Questão dissertativa sobre Misticismo	86,7% (26 de 30)
6	Vestibular (ENEM 2010) – Indução eletromagnética ³¹ / Questão elaborada pelo autor sobre difração de elétrons.	23,3 % (7 de 30)

Fonte: elaborado pelo autor (2020).

³¹ Tivemos para esta questão principalmente, uma taxa de acertos muito baixa. Isso pode ser oriundo do tempo relativamente curto que dedicamos a explicação de indução eletromagnética, apenas comentando superficialmente, com alguns experimentos, essa questão. Os alunos se confundiram nas alternativas e marcaram em maioria uma alternativa que se assemelhava a resposta correta.

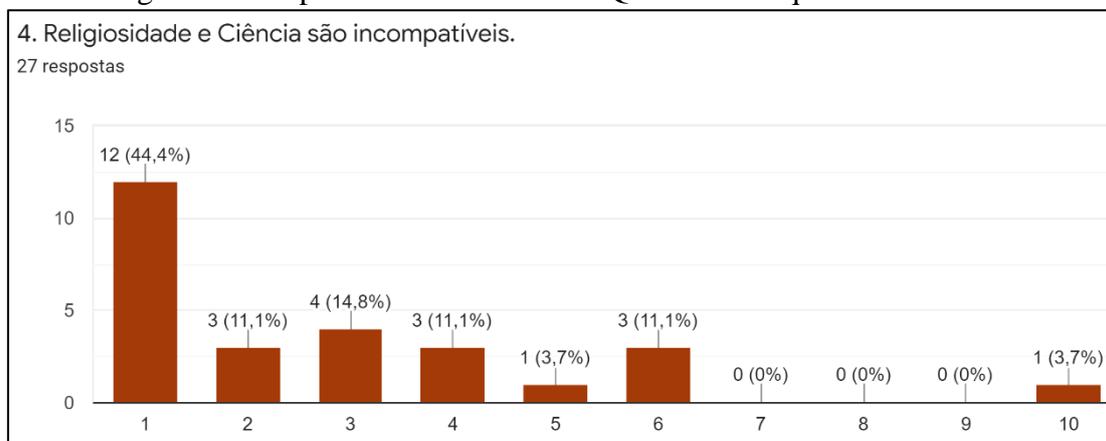
Dado esse achado com base nessa análise da nova RS, passamos agora à análise voltada ao nosso segundo objetivo de pesquisa, da relação da ciência e a religiosidade. No questionário final, como mencionado, optamos por elaborar quatro questões que abordassem a religiosidade, sendo estas quatro questões colocadas de forma de afirmações do tipo Likert, isto é, com uma escala que variava de 1 (discordo fortemente) até 10 (concordo fortemente) e em que a escolha representa o grau de concordância do respondente com cada afirmação. Estas quatro questões, com os resultados obtidos para todo o grupo são apresentadas a seguir, através das Figuras 28, 29, 30 e 31 (ao importar os gráficos que são apresentados nestas figuras, parte do texto que compõe as diferentes questões foi cortado. O enunciado de todas as questões pode ser mais bem visualizado no Apêndice C; todas as respostas também estão apresentadas no Apêndice D).

Figura 28: Respostas dos estudantes à Questão 3 do questionário final.



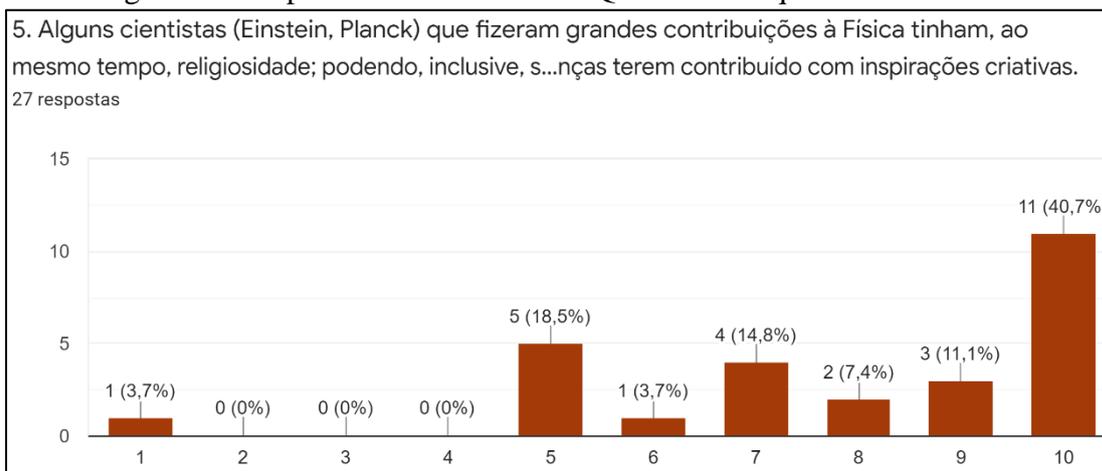
Fonte: elaborado pelo autor (2020).

Figura 29: Respostas dos estudantes à Questão 4 do questionário final.



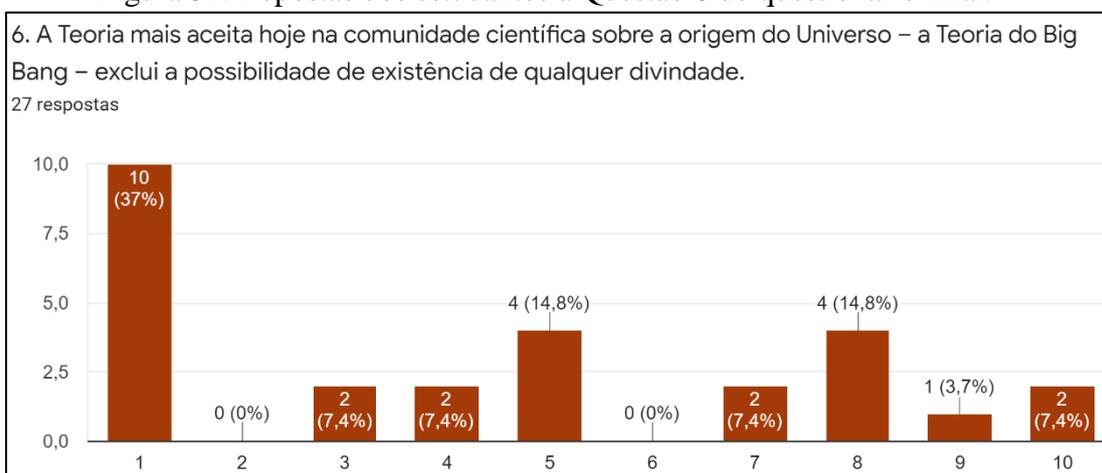
Fonte: elaborado pelo autor (2020).

Figura 30: Respostas dos estudantes à Questão 5 do questionário final.



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

Figura 31: Repostas dos estudantes à Questão 6 do questionário final.



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

Observa-se, em uma análise inicial destes dados, que há sempre **por pelo menos uma resposta** que coloca a religião como sendo incompatível com a ciência e que os cientistas não podem ter nenhuma religiosidade. Analisando individualmente as respostas a partir da plataforma *Google Forms*, foi possível identificar que estas respostas coincidiam a um mesmo aluno. Portanto, um aluno desse grupo pode ser enquadrado na *Categoria de Conflito*. Mesmo diante da preocupação que mantivemos em defender a ética da coexistência em nosso MD, não foi possível modificar a crença desse estudante, mostrando, uma vez mais, que crenças muito enraizadas não são fáceis de remover e que sua modificação demandaria muito mais tempo do que o período do MD (aproximadamente dois meses).

Contudo, houve uma tendência visível nas respostas à *Categoria de Diálogo* (em torno de 85% dos respondentes). Aqueles estudantes que marcaram mais de uma vez

que concordavam na compatibilidade entre ciência e religiosidade, fortemente ou próximo, foram considerados como alunos que poderiam ser classificados na *Categoria de Diálogo*.

Não identificamos com a aplicação do questionário final estudantes que compusessem a *Categoria de Acomodação* e, uma vez que o número de alunos que compunha a *categoria inicial* que agora corresponde a esta Categoria era baixo, este não se mostra como um resultado surpreendente.

Para a *Categoria de Domínios Separados*, identificamos um estudante, que apresentou uma leve tendência para a incompatibilidade entre ciência e religião. Dois respondentes foram considerados na *Categoria Incerto*, uma vez que suas respostas não foram coerentes, marcando, ora que concordavam fortemente que Ciência e Religião são incompatíveis, ora que os cientistas podem ter religiosidade. Talvez estes estudantes não tenham entendido plenamente as questões, de forma que os classificamos nesta categoria. Do ponto de vista de aprendizagem, contudo, acreditamos que estes alunos tenham entendido o conteúdo, uma vez que para as demais questões do questionário que apresentavam episódios históricos da Física Quântica ou questões conceituais sobre os tópicos estudados, se saíram bem. Assim, do ponto de vista da História e da Epistemologia da Física, acreditamos que seu aprendizado adquiriu significado. Em geral, esta inferência também é válida para os alunos das demais categorias.

Assim, chegamos a um ponto importante da discussão com base na Teoria Fundamentada. Identificamos que estas categorias emergentes dos nossos dados, guardam relação com a compatibilidade entre Ciência e Religião, de modo que as categorias por nós construídas podem ser reunidas em torno de uma categoria mais geral, que permitirá fazer uma codificação axial. Como todas essas categorias (mostradas no Quadro 5 e ratificadas nos achados do questionário final) se referem à percepção dos estudantes sobre a relação Ciência e Religiosidade, definimos que as cinco categorias se relacionam à uma categoria que denominamos *Ciência e Religiosidade*, que pode variar entre “compatível” (quando a Categoria do Diálogo se situa perto deste extremo) e “incompatível” (quando a Categoria do Conflito está mais próxima a deste extremo). Isto fica mais visível se colocarmos a categoria axial “Ciência e Religiosidade” em um eixo, como o próprio nome sugere.

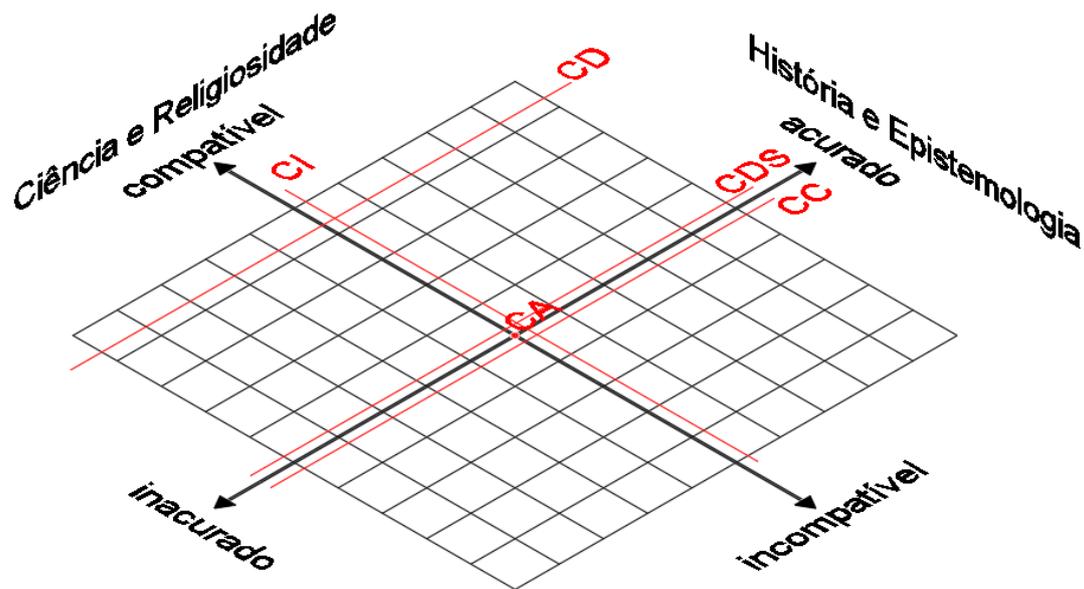
Observamos também que tais categorias podem guardar também importante relação com a História e a Epistemologia da Ciência/da Física, uma vez que autores estudados nesta dissertação indicam que as crenças que estão na base das categorias

levantadas podem variar entre “acuradas” e “não acuradas”, do ponto de vista histórico e da compreensão da natureza da ciência. A Tese do Conflito, defendida por cientistas de renome, como Dawkins e Carl Sagan (SORREL; ECKLUND, 2018; JOHNSON, 2016, BAGDONAS; SILVA, 2015; CARVALHO, 2015) é indicada pelos autores como não sendo a mais adequada do ponto de vista histórico e epistemológico, sobretudo do ponto de vista histórico, dado o profundo sentimento religioso de diferentes graus (JAMES, 2017) que é inferido das falas e atitudes de cientistas diversos ao longo do desenvolvimento da ciência, sobretudo, para nosso estudo, de Planck e Einstein, como já foi destacado.

Como sublinham Corbin e Strauss (2015), durante a etapa de codificação axial, pode ser relevante a construção de diagramas, não para concluir uma análise, mas para auxiliá-la, permitindo uma visualização de categorias e possíveis relações entre elas. Assim, dado a identificação de cinco categorias principais, *Categoria de Diálogo (CD)*, *Categoria de Domínios Separados (CDS)*, *Categoria de Conflito (CC)*, *Categoria de Acomodação (CA)* e, por fim, *Categoria Incerta (CI)*, e, uma vez estabelecida a possível relação destas com duas categorias mais abrangentes, que chamamos de *Ciência e Religiosidade* e *História e Epistemologia*, construímos um diagrama³², apresentado na Figura 32, para relacionar as distintas categorias, como tentativa inicial de chegar a uma teoria explicativa do fenômeno estudado fundamentada em nossos dados. Na figura, as *Categorias Axiais* nominam os dois eixos dispostos em um plano cartesiano e as cinco *Categorias* são representadas por barras desenhadas com linhas vermelhas nas extremidades quais aparecem os respectivos códigos.

³² Os dois diagramas construídos com base na teoria fundamentada neste trabalho foram construídos com o uso do programa *AutoCAD*, versão 2019. O programa não é gratuito, contudo, pode ser obtida uma versão do estudante, esta sim gratuita, se o usuário estiver ligado a uma instituição de ensino reconhecida. Esta versão do estudante está disponível em: <<https://www.autodesk.com/education/free-software/autocad>>.

Figura 32: Diagrama que relaciona as cinco categorias construídas em nosso estudo.



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

A literatura sobre teoria fundamentada indica que as categorias podem ser construídas como linhas paralelas a um dos eixos da categoria principal/axial, para diagramas em duas dimensões. Observa-se em primeiro lugar, a Categoria de Acomodação (CA), apesar de estar sempre presente em nossos estudos iniciais, após a aplicação do MD nenhum estudante foi identificado nesta categoria, de forma que a representamos como um ponto, ao centro do diagrama, para evidenciar que ela existe (ou existia na categorização inicial), contudo não foi identificada nessa etapa da pesquisa. Cada pequeno quadrado que pode ser visto neste plano, indica uma quantidade de estudantes a ser definida pelo pesquisador com base na quantidade de estudantes, ou sujeitos de pesquisa, que compõem as categorias. Dado que trabalhamos com vinte e sete alunos neste questionário final, optamos por cada quadrado corresponder a um número de cinco sujeitos. A Categoria CD, Categoria de Diálogo, apresentou o maior número de alunos, um total de vinte e três respondentes. Dado que esta categoria agrupa alunos que entenderam que a ciência e religião não são necessariamente incompatíveis, localizamos a categoria como constante do ponto de vista da *ciência e religião* (todos os alunos em maior ou menor grau indicam compartilhar do pensamento de compatibilidade), e representamos esta categoria no diagrama como uma reta perpendicular à categoria axial *Ciência e Religiosidade*, numa região de *compatibilidade*, colocando-a no quinto bloco afastado da origem. Isto se deve a que a categoria agrupa vinte e três estudantes (cada bloco correspondendo à

cinco, como dito). Apesar de defendermos que esta categoria apresenta uma tendência a ser mais acurada do ponto de vista da História e da Epistemologia, ainda não temos formas de deixar isto evidente em nosso diagrama, isto poderá ficar mais evidente em um segundo diagrama que apresentaremos mais adiante.

A Categoria CC, *Categoria de Conflito*, corresponde a estudantes que tendem a ver a ciência e a religião com alto grau de “incompatibilidade”. Mesmo com as discussões incitadas no MD, ainda observamos um aluno(a) que deve ser classificado nesta categoria, pois nas respostas do questionário, foi aquele que sempre se mostrou fortemente oposto à ideia de compatibilidade entre ciência e religião. Por ser uma categoria com apenas um sujeito, deve ficar no primeiro bloco a partir da origem, tendendo à “incompatibilidade”.

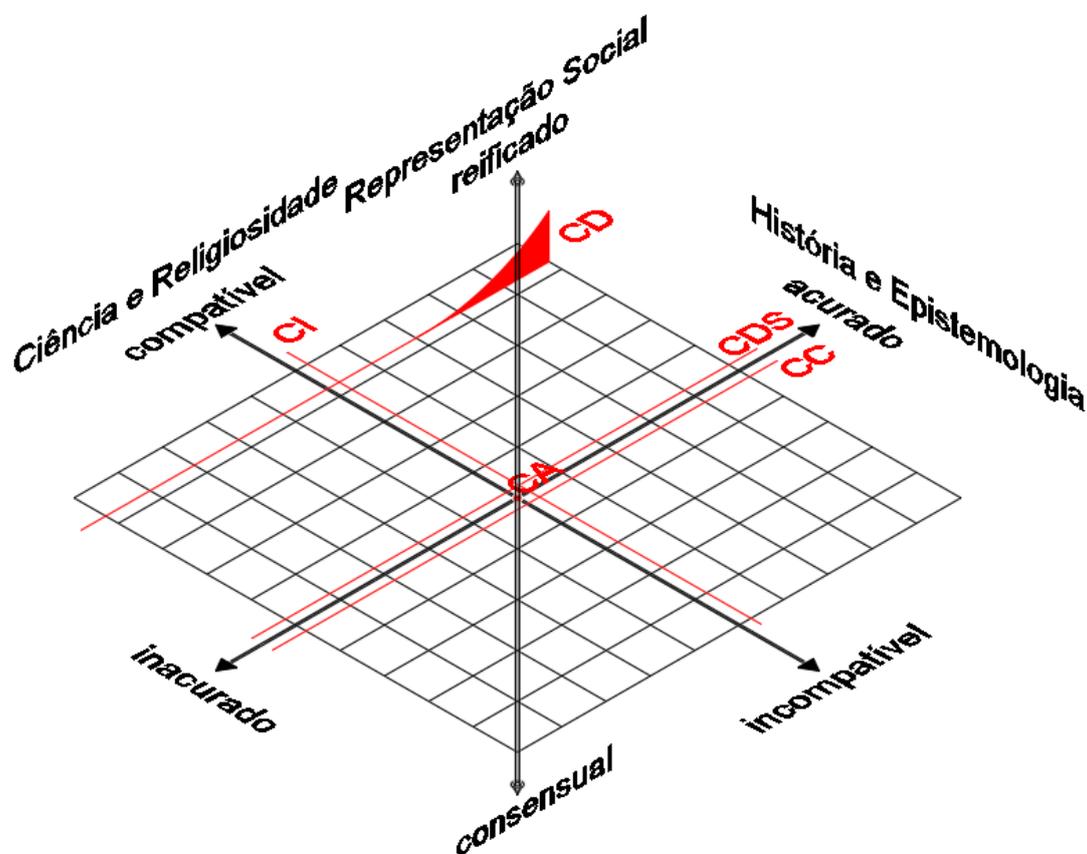
Outra categoria que também se aproxima da incompatibilidade, mas de forma mais suave, é a categoria CDS, *Categoria de Domínios Separados*. Identificamos nessa categoria, novamente um aluno, de forma que no diagrama esta ainda deve estar no primeiro bloco a partir da origem, mas colocada no sentido da “compatibilidade”, por ser mais suave que a categoria CC.

Por fim, temos a categoria CI, *Categoria Incerto*, que corresponde a dois alunos que ou respondiam nas questões valores mais centrais, sem se comprometer nos aspectos sobre religiosidade, ou que marcaram alternativas que se contradiziam, como já destacado. Como é difícil afirmar no que estes alunos acreditam, de fato, sobre a compatibilidade entre ciência e religião, optamos por traçar esta categoria como paralela à categoria principal Ciência e Religiosidade. Contudo, nas demais questões estes alunos aparentaram ter um bom entendimento dos aspectos históricos e, em menor medida, epistemológicos que abordamos ao longo do MD, então traçamos esta categoria como tendendo ao lado acurado do ponto de vista histórico e epistemológico em nosso diagrama, ainda no primeiro bloco, por ser uma categoria com menos de cinco alunos.

Em continuação, desejamos ainda, analisar se existe alguma relação entre estas categorias e a RS observada para o grupo e, para tal, fizemos uma análise individual das respostas dos estudantes. Obtivemos que treze dos vinte e três alunos da categoria CD, contribuíram fortemente para que a RS do grupo se mostrasse como mais próxima do universo reificado imaginado por nós como tendo havido aprendizagem de conceitos da Física Quântica, uma vez que nesta categoria se encontram os alunos que responderam termos que foram mencionados pelos professores nas entrevistas, ou que mencionaram, ainda na questão referente à RS, os nomes de Planck e Einstein. Esse padrão não foi

observado para os alunos das demais categorias. Assim, se acrescentarmos em nosso diagrama uma terceira categoria axial, que chamamos de *Representação Social*, que pode variar de uma RS que “se aproxima” do *universo reificado* ou do *universo consensual*, acreditamos ser possível melhorar a construção do nosso diagrama, como mostrado na Figura 33.

Figura 33: Diagrama final que busca relacionar as categorias axiais: *Ciência e Religiosidade* com *História e Epistemologia* e uma possível relação com a *Representação Social* do grupo.



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

Nota-se neste diagrama, com o acréscimo de uma categoria axial referente à RS, que varia de “reificado” à “consensual”, ou seja, a RS pode se aproximar do universo reificado (aprendizagem desejável) ou do universo consensual (sujeito permanece com suas crenças iniciais bem enraizadas), que houve uma modificação relevante para a Categoria de Diálogo, CD. Como destacamos, observamos que treze dos vinte e três sujeitos que compõem esta categoria, além de mostrarem nas alternativas escolhidas uma compatibilidade na percepção entre Ciência e Religiosidade, mostraram também serem os mais relevantes para a aproximação da RS do grupo da *RS reificada*, além de

terem contribuído significativamente para um maior efeito *priming* (KAHNEMAN, 2012) com o núcleo da representação, uma vez que entre estes treze alunos, uma das três características a seguir foi observada: 1) o aluno evoca termos do universo reificado; 2) o aluno evoca termos do núcleo e 3) o aluno evoca três ou mais termos.

Um exemplo típico que ilustra esta situação é referente ao vigésimo segundo (22º) estudante que, ao responder o questionário marcou na questão 3 e 6 a alternativa 1, na questão 5 a alternativa 10 e na questão 4 a alternativa 3, portanto sendo claramente pertencente à categoria CD. Além disso, este estudante apresentou os seguintes lexemas evocados: Max Planck, nanômetro, dualidade, Fóton, Elétron, Pequeno, Efeito Fotoelétrico, corpo negro, Einstein, Interferência e Difração. Outros doze alunos também apresentaram este padrão, de forma menos acentuada. Assim, em nosso Diagrama 33, apresentamos os dois últimos blocos desta categoria e uma pequena parcela do segundo bloco (representando os treze alunos), com uma elevação no eixo de Representação Social, no sentido de uma aproximação com o universo reificado.

Destacamos que esta elevação é feita próxima do sentido de *História e Epistemologia* mais “acurada” para elucidar que a *Tese do Diálogo* é tida como a mais acurada. Assim, em nosso estudo, após a execução do MD, foi possível observar um aumento da categoria denominada *Categoria de Diálogo*, com os alunos agrupados nesta categoria sendo os mais relevantes no estabelecimento de uma RS que se aproxima do universo reificado. De qualquer forma, nosso objetivo de propiciar um ensino de Física com viés histórico e epistemológico que promova uma RS alinhada à ciência, sob a óptica da Física Quântica, isto é, alinhada com o saber científico, foi alcançada em boa medida, mesmo que observemos que alguns alunos ainda se mantêm nas demais categorias, como a Categoria de Conflito.

Adotar nas aulas discussões de cunho epistemológico e histórico, discutindo a religiosidade em uma defesa da Tese do Diálogo foi uma tarefa totalmente viável e bem sucedida, uma vez que um bom aprendizado dos alunos foi identificado (como pode ser acompanhado no Apêndice D ou também pelo apêndice I, indiretamente), além de a nova RS se mostrar como satisfatória, mais próxima do universo reificado do que a RS inicial, de forma que uma melhora foi alcançada.

Destacamos, por fim, que a tendência nesta investigação observada não pode ser generalizada para outros grupos, pois pode ser possível adotar uma postura de defesa de outras teses na relação entre ciência e religião em uma intervenção didática que trabalha

Física Quântica no Ensino Médio, o que levaria a uma alteração das outras categorias, sem contudo deixar de ensinar adequadamente os tópicos de Física Quântica, de forma que se tenha termos evocados adequados, e que aproximem a RS de um universo reificado. Destacamos que os dados por nós obtidos e as inferências feitas a partir deles, são válidos para o grupo estudado, mas que podem servir de motivação e guia para outras pesquisas, apesar de não serem generalizáveis, o que coloca em evidência uma característica do estudo de caso que realizamos na acepção de Stake (1998), cujo objetivo é a particularização, não a generalização. Para o grupo de estudantes trabalhados, observamos que a forte presença da CD foi acompanhada de uma melhor RS de Física Quântica, no sentido de mais próxima do universo reificado, o que pode indicar que as características do MD e a defesa explícita assumida pelo pesquisador da Tese do Diálogo na relação Ciência e Religiosidade pode contribuir para uma flexibilização do pensamento e uma possível aproximação dos estudantes da Física Moderna e Contemporânea.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo geral da dissertação que nos moveu na pesquisa foi promover um Ensino de Física Quântica com base nos referenciais que adotamos ao longo deste estudo. Desejávamos elucidar possibilidades para propiciar um ensino-aprendizagem de Física Quântica calcado na Teoria das Representações Sociais, discutindo aspectos de História e Epistemologia da Ciência, sobretudo com a inserção de discussões sobre a religiosidade dos cientistas estudados ao se abordar o conteúdo físico. Defendemos ao longo da investigação uma abordagem que privilegiasse a instrução conceitual e introdutória, buscando favorecer uma aprendizagem do grupo que guiasse à alfabetização científica, de forma que falamos em Física Quântica ao invés de Mecânica Quântica. A abordagem calcada em desenvolvimento matemático é essencial e importante para alunos de graduação ou para aqueles que estão se preparando para adentrar em um curso da área de ciências exatas na universidade, mas essa não é a realidade da maioria dos alunos da escola básica, de forma que defendemos que uma perspectiva conceitual, histórica e epistemológica é mais adequada para uma introdução do tema no Ensino Médio. Trabalhamos desta forma, e abordamos também um tema relevante para a sociedade, a religião e sua relação com a ciência, explorando a religiosidade dos cientistas no que é chamado trabalho de fronteira entre ciência e religião. Muitos alunos nunca terão outro lugar para este tipo de discussão, se não na escola, que deve não apenas preparar o aluno para o mercado de trabalho, mas formar um cidadão integral, que viverá em uma sociedade complexa.

Em nossa etapa de fundamentação teórica, com a revisão de literatura e aprofundamento do referencial teórico, procuramos identificar na literatura como poderia ser uma abordagem de Física Quântica para o Ensino Médio de acordo com a Teoria das Representações Sociais, num viés Histórico e Epistemológico que pudesse oportunizar uma discussão entre ciência e religião. Obtivemos resultados diversos na literatura que guiaram nossos estudos subsequentes. Encontramos fundamentação para uma abordagem conceitual, com a realização de experimentos, estes entendidos como cruciais em qualquer atividade didática no Ensino Médio para fixar conceitos e captar a atenção dos estudantes. Identificamos que tratar da relação ciência e religiosidade é mais adequado a uma perspectiva humanitária, uma vez que religião é entendida como um conjunto de fatores externos aos indivíduos, mas religiosidade é entendida como

algo pessoal, próprio de toda pessoa, o que se evidencia nas chamadas experiências religiosas. A revisão de literatura foi fundamental para que, em atividade comparativa com os dados encontrados nas pesquisas, pudéssemos nomear e classificar categorias que emergiram dos dados, no tratamento da questão religiosa. Os diversos resultados encontrados na literatura apontaram para a possibilidade de respostas às nossas questões de pesquisa que poderiam ser conjecturadas com os estudos que seguiram.

Com o Estudo preliminar almejamos colocar em prática alguns de nossos achados iniciais da literatura e encontrar fundamentação e dados que pudessem guiar uma prática didática. Tem-se que uma das características de nossa metodologia de pesquisa qualitativa é que a coleta de dados preliminares sempre pode guiar e moldar a coleta de dados subsequente, de forma que os dados que coletamos em nosso estudo preliminar (Estudo 1) guiaram a condução do estudo de caso relacionado ao módulo didático (Estudo 2), como a preparação para as aulas. O Estudo preliminar se dividiu em duas etapas.

Na etapa 1 do estudo preliminar, coletamos dados sobre diversos alunos de três escolas da região metropolitana de Porto Alegre, em que pudemos obter alguns resultados sobre Representações Sociais dos estudantes sobre “quântica” e a percepção destes sobre a relação entre Ciência e Religião. Obtivemos como resultados, através da construção de redes de similitudes, indicações sobre como se mostrava a representação dos estudantes. As representações sociais assim se mostraram como reveladoras de importantes informações que podem auxiliar professores ou pesquisadores em Ensino de Física, pois revelam como os grupos sociais de alunos da Escola Básica pensam, quais valores e opiniões partilham. Identificamos que, com o estudo de Representações Sociais, tem-se uma ferramenta simples e direta para mapear se os alunos apresentam concepções de misticismo quântico, tema que tem recebido atenção na comunidade de ensino e têm preocupado físicos e professores de Física. Identificamos que, quando presentes, as ideias de misticismo se apresentaram nas regiões periféricas das representações, de forma que não se mostram como concepções muito arraigadas para os diferentes grupos de alunos investigados, de forma que uma intervenção pôde ser guiada com uma atenção secundária a este assunto, sendo que o misticismo pôde ser tratado em uma atividade didática. As representações ainda indicam quais estratégias um pesquisador pode utilizar em sala de aula, pois refletem quais são os gostos e

interesses dos alunos, que são identificados como *clusters* e agrupamentos de lexemas em uma rede que indica a Representação Social.

Não obstante, nossa primeira etapa do Estudo 1 ainda permitiu-nos mapear o entendimento dos alunos sobre a relação entre Ciência e Religiosidade. Obtivemos que há uma pequena tendência em tratar os temas como não conflituosos, embora os alunos não mostrem uma grande clareza de suas opiniões, dada a tendência de respostas abertas que obtivemos. Contudo, a presença de percepções que classificam a Ciência e a Religião como incompatíveis, afirmando que cientistas não podem ter qualquer forma de religiosidade, esteve presente, sobretudo em uma das três escolas em que realizamos esta etapa inicial da pesquisa. Entretanto, nesta escola os estudantes mostraram muito menos concepções de misticismo em comparação aos outros dois colégios, de forma que isso se mostrou como um indício de como uma atividade didática poderia ser dada neste contexto, com uma preocupação maior em nossos estudos posteriores em abordar a relação entre Ciência e Religiosidade, mas com um tratamento secundário para a questão do misticismo, ou outros fatores que puderam ser identificados no estudo de representações.

Na etapa 2 do estudo preliminar realizamos entrevistas semiestruturadas com o que denominamos professores-especialistas, professores de Física universitários, que já haviam ministrado disciplinas de Física Quântica em nível introdutório. Dado que, em nossa revisão de literatura não obtivemos indicações totalmente claras sobre quais tópicos abordar e quais sequências seguir, optamos por esta via para obter de forma direta e clara indicações sobre a forma que deveríamos guiar nosso estudo final, a atividade didática ou módulo didático (MD). Nossos resultados apontaram alguns temas diversificados, mas com grande tendência ao tema da interferência e difração, de forma que nosso estudo final foi guiado para que pudéssemos preparar as atividades didáticas para que finalizássemos as aulas com o experimento de difração de elétrons, sugerido nas entrevistas. Além disso, os diversos tópicos que poderiam ser ensinados, mencionados pelos professores entrevistados, foram tomados por nós como constituindo o universo reificado de Física Quântica; nossa abordagem subsequente foi guiada para que se aproximasse a Representação Social dos estudantes ao universo reificado da Física Quântica, que representa o saber científico atual sobre o tema.

Com os dados coletados, guiamos a execução de nosso Estudo 2, o Módulo Didático. Todas as etapas de nosso trabalho foram conduzidas com base em nossos

objetivos geral e específicos, sobretudo o Módulo Didático, dado que os objetivos específicos se referem à atividade docente, a qual entendemos que deve ser uma das preocupações primeiras da pesquisa em Ensino de Física. Foram nossos objetivos específicos; *elucidar meios de proporcionar um Ensino de Física Quântica com um viés Histórico e Epistemológico de forma a aproximar a Representação Social dos alunos do saber científico atual*, de modo a desenvolver uma alfabetização científica e uma apresentação adequada do conteúdo físico, objetivando que a construção do conhecimento pelo grupo fosse adequada do ponto de vista histórico e epistemológico; bem como *promover discussões e formas de mostrar que a religiosidade não embaraça a atividade científica, evidenciando que a Ciência é para todas as pessoas*, independente de crenças e das peculiaridades que o indivíduo possa ter.

Defendemos que, em certa medida, alcançamos com êxito colocar em prática os objetivos a que nos propomos. Apresentamos o conteúdo físico de Física Quântica com uma constante preocupação em tratar de episódios históricos dos primórdios da que é chamada a velha mecânica quântica, abordando-a de modo conceitual, destacando seu desenvolvimento, relações e contextos, sobretudo com a religiosidade, de forma que foi possível abordar o caráter epistemológico da Física Quântica em nível introdutório. Dado nossas entrevistas semiestruturadas com professores-especialistas de Física, foi possível ter em mente formas de aproximar a Representação Social dos alunos do universo reificado. Tratamos da religiosidade dos cientistas estudados na temática durante as aulas em comentários diversos ao longo da execução das atividades, bem como com uma aula diretamente dedicada ao tema, elaborada numa tentativa de ser uma atividade interdisciplinar com a disciplina de Filosofia.

Assim, acreditamos que estamos em condição de propor respostas às nossas questões de pesquisa. Em primeiro lugar, tínhamos como questão de pesquisa: *Como ensinar Física Quântica com um viés histórico e epistemológico de maneira a promover uma representação social da ciência alinhada com o saber científico atual?* Para ensinar Física Quântica com um viés Histórico e Epistemológico de maneira a propiciar uma Representação Social da Ciência alinhada com o saber científico atual é relevante que o pesquisador em Ensino de Física/o professor da educação básica que pode também ser um professor-pesquisador se dedique a mapear a Representação Social dos sujeitos de pesquisa/alunos antes de uma intervenção, para que possa identificar quais são os fatores que tornam a representação identificada como discrepante daquela que é

identificada como alinhada com o saber científico atual. Para ter em mente qual é a representação a que se almeja, alinhada com este saber científico, que compõe o universo reificado, são identificadas maneiras distintas. Optamos pelo contato direto com professores de Física, pesquisadores acadêmicos, para ter um mapeamento dos tópicos que compõem o universo reificado. Com os tópicos e termos identificados, que também podem servir de sugestão ao professor atuante, é possível conduzir uma atividade didática que trate daquilo que é identificado na representação como algo negativo, como as ideias místicas, e que privilegie e incentive a discussão dos temas entendidos como pertencentes ao universo reificado. Mantivemos esta preocupação juntamente com a abordagem Histórica e Epistemológica, através da apresentação de episódios históricos que marcaram o começo da Física Quântica, realizando constantes experimentos e atividades de laboratório para que os alunos pudessem, em certa medida, entender o contexto que se vivia à época do desenvolvimento das teorias que marcaram o começo da quântica. Não obstante, para fortalecer nossa abordagem com viés Histórico e Epistemológico, abordamos em diferentes momentos a religiosidade e crenças dos cientistas trabalhados, de forma a discutir a possibilidade de compatibilidade entre ciência e religião, na chamada ética da coexistência.

Assim fazendo, pudemos também elucidar uma forma de responder nossa segunda questão de pesquisa: *É possível mostrar, na educação científica, que as crenças do pesquisador não embaraçam, tampouco impossibilitam seu fazer científico? O que se aprende quando se tenta esta perspectiva?* Em resposta a esta nossa segunda questão de pesquisa, defendemos que sim, é possível, com alguns cuidados. Para mostrar, na educação científica, que as crenças do pesquisador não embaraçam, tampouco impossibilitam seu fazer científico, adotamos uma defesa da ética da coexistência entre ciência e religião, buscando mostrar que a religiosidade, muito acima da religião, esteve sempre presente, se apresentando com clareza na figura dos cientistas mais reconhecidos da Física Quântica daquele período inicial. Não obstante, apresentamos em nossa atividade didática diversos cientistas e pesquisadores importantes para o começo da Física Quântica, de acordo com nossa perspectiva humanística, mostrando que dentre os diversos pesquisadores, tivemos aqueles com os mais variados graus de experiências religiosas, desde aqueles que seguiam uma religião de forma ortodoxa, aqueles que se mostravam contrários a qualquer forma de instituição religiosa, ou aqueles que apresentavam um profundo sentimento de devoção a algo que

inspira respeito e admiração, sendo essa uma forte experiência entre as diversas variedades das experiências religiosas. Desta forma, apresentamos o conteúdo físico, destacando que os pesquisadores que estiveram na base dos desenvolvimentos nesses campos de pesquisa mantiveram diversas crenças e sentimentos frente à religião, de forma que aquilo que acreditavam não embarçou nem impossibilitou suas importantes contribuições para a ciência; destacamos que, em alguns casos, o conjunto de crenças que se relacionavam com as crenças religiosas tiveram impacto positivo sobre a postura em relação à Ciência. Assim, à medida que analisamos nossos dados qualitativos com subsequentes categorizações, obtivemos em nossa pesquisa um elevado número de alunos que compreendeu que Ciência e Religiosidade podem assumir uma postura de diálogo. Além disso, identificamos que um número considerável dos alunos que mantiveram essa postura, também foram os mais relevantes para aproximar a Representação Social do grupo como um todo, do saber científico atual para a Física Quântica, aproximando a representação do que identificamos como universo reificado.

Nossa categorização foi feita se tomando os pressupostos da metodologia da Teoria Fundamentada, em que obtivemos a presença de distintas categorias (Figuras 32 e 33) para a relação entre Ciência e Religiosidade: *Categoria de Acomodação*, que engloba alunos que manifestavam certeza que os cientistas possuem todos alguma religiosidade; *Categoria de Conflito*, que engloba aqueles que enxergam a Ciência como incompatível com qualquer forma de religiosidade; *Categoria de Diálogo*, que agrupa aqueles alunos que informaram enxergar que há compatibilidade entre Ciência e religiosidade; *Categoria de Domínios Separados*, agrupando os alunos que manifestaram encarar a Ciência e a religiosidade como incompatíveis, porém em menor grau que a Categoria de Conflito e, por fim, *Categoria Incerto*, que abarca aqueles alunos que não tinham certeza da relação entre Ciência e Religiosidade, ou que marcaram respostas inconclusas. Obtivemos, após a execução de nosso MD, uma notória tendência para a Categoria de Diálogo, com vinte e três dos vinte e sete respondentes do questionário final sendo classificados nesta categoria. Observamos que esta categoria se aproxima do sentido de *História e Epistemologia*, no sentido de mais “acurada” como indicado na Figura 33, para elucidar que a *Tese do Diálogo* pode ser tida como a mais acurada.

Assim, em nosso estudo, após a execução do MD, foi possível observar um aumento da categoria denominada *Categoria de Diálogo*, com os alunos agrupados

nesta categoria sendo os mais relevantes no estabelecimento de uma RS que se aproxima do universo reificado. De qualquer forma, nosso objetivo de propiciar um ensino de Física com viés histórico e epistemológico que promova uma RS alinhada a uma temática da Ciência Moderna e Contemporânea, sob a óptica da Física Quântica, isto é, alinhada com o saber científico, foi alcançada em boa medida, mesmo que observemos que alguns alunos ainda se mantiveram nas demais categorias, como a Categoria de Conflito.

Por fim, entendemos que nossa atividade de pesquisa foi relevante para a comunidade de pesquisa em Ensino de Física por elucidar um tema de importância reconhecida, o Ensino de Física Quântica, apontando formas novas de tratar o tema, com referenciais e abordagens pouco presentes na literatura e que podem apontar resultados satisfatórios. Para os alunos que participaram do módulo, o valor de nosso estudo foi mais evidente, uma vez que nos *feedbacks* obtidos após nossa atividade de pesquisa, obtivemos retornos muito positivos. Alguns alunos mencionaram como foi importante terem visitado o laboratório da escola, que nunca tinham visitado antes. Outros se mostraram contentes em poder visitar e conhecer a UFRGS e toda a sua estrutura, além de saber que poderiam sonhar em frequentar esta Universidade em um curso de qualidade, e que este sonho não é tão distante ou impossível como pensavam. Tivemos também um(a) aluno(a), que mencionou que depois dessas aulas ele(a) pensa seriamente em cursar física, por influência das aulas. Não houve nenhum *feedback* negativo. Assim, mesmo que esta pesquisa seja esquecida e apagada nas gavetas do tempo, como é comum para dissertações de mestrado, saímos satisfeitos, pois ao menos para trinta e quatro jovens, a pesquisa realizada nestes anos de mestrado se mostrou relevante, pois pôde, além de promover um Ensino de Física de qualidade com o estabelecimento de uma Representação Social mais próxima do universo reificado, valorizar os alunos, mostrando que eles também são importantes e que podem, se quiserem, participar da atividade científica, independente das crenças que tenham e de onde tenham vindo, sendo pobres ou ricos, cristãos ou ateus ou qualquer outro. A Ciência em uma Sociedade Livre que procuramos divulgar, e defendemos alinhados à visão de Feyerabend (2011b), não faz qualquer tipo de discriminação.

REFERÊNCIAS

- ABRIC, J. C. O estudo experimental das representações sociais. In: JODELET, D. *As representações sociais*. Rio de Janeiro: Eduerj, 2001.
- ALEMANY, F. S.; BLANCO, J. L. D.; TORREGROSA, J. M. La introducción del concepto de fotón en bachillerato. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, Brasil, v. 35, n. 2, 2404/1-2404/14, 2013.
- ASIKAINEN, M. A.; HIRVONEN, P. E. Probing Pre- and In-service Physics Teachers' Knowledge Using the Double-Slit Thought Experiment. *Sci & Educ*, v. 23, p.1811–1833, 2014. DOI 10.1007/s11191-014-9710-1
- AVRAAMIDOU, L. “I am a young immigrant woman doing physics and on top of that I am Muslim”: Identities, intersections, and negotiations. *Journal of Research in Science Teaching (JRST)*, Groningen, Holanda, p. 1–31, 2019.
- AYENE, M.; KRICK, J., DAMITIE, B.; INGERMAN, A.; THACKER, B. A Holistic Picture of Physics Student Conceptions of Energy Quantization, the Photon Concept, and Light Quanta Interference. *Int Journal of Sci and Math Educ*, v. 17, p.1049-1070, 2018.
- BAGDONAS, A.; SILVA, C. C. Enhancing Teachers' Awareness About Relations Between Science and Religion: The Debate Between Steady State and Big Bang Theories. *Sci & Educ*, São Paulo, v. 24, p.1173–1199, 2015.
- BASSALO, J. M. F. As Contribuições de Leite Lopes à Física Teórica. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 23, n. 2: p. 256-266, 2006.
- BEAUCHAMP, A. L.; RIOS K. Secularism in science: The role of religious affiliation in assessments of scientists' trustworthiness. *Public Understanding of Science*, p. 1-17, 2019.
- BERTOZZI, E. What is what we call the ‘quantum field’? Answering from a teaching perspective by taking the foundations into account. *European Journal Of Physics*, v. 34 p. 603–611, 2013.
- BETZ, M.; LIMA, I.; MUSSATTO, G. Dualidade onda-partícula: um objeto de aprendizagem baseado no interferômetro de Mach-Zehnder. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, Brasil, v. 31, n. 3, p. 3501/1–3501/8, 2009.
- BILLINGSLEY, B.; ABEDIN, M., NASSAJI, M. Primary school students' perspectives on questions that bridge science and religion: Findings from a survey study in England. *British Educational Research Journal*. Canterbury, Reino Unido, n. p., 2019.
- BILLINGSLEY, B.; BROCK, R.; TABER, K. S.; RIGA, F. How Students View the Boundaries Between Their Science and Religious Education Concerning the Origins of Life and the Universe. *Science & Education*, v. 100, n. 3, p. 459–482, 2016.
- BILLINGSLEY, B.; NASSAJI, M. Exploring Secondary School Students' Stances on the Predictive and Explanatory Power of Science. *Science & Education*, Canterbury, Reino Unido, v. 28: p. 87–107, 2019.

BILLINGSLEY, B.; NASSAJI, M.; FRASER, S.; LAWSON, F. A Framework for Teaching Epistemic Insight in Schools. *Research in Science Education*, v. 48, p. 1115–1131, 2018.

BOARO, D. A. Uma investigação sobre o uso de aspectos epistemológicas nas estratégias didáticas de futuros professores de Física no estágio supervisionado. 2017. 164p. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

BOARO, D. A.; MASSONI, N. T. O uso de elementos da História e Filosofia da Ciência (HFC) em aulas de Física em uma disciplina de Estágio Supervisionado: alguns resultados de pesquisa. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 23 (3), p. 110-144, 2018.

BOWMAN, N. A.; ROCKENBACH, A. N.; MAYHEW, M. J.; RIGGERS-PIEHL, T. A.; HUDSON, T. D. College Students' Appreciative Attitudes Toward Atheists. *Res High Educ*, n. p., 2016.

BRUNER, J. *O Processo da Educação*. Lisboa: Edições 70, 1977.

BUNGE, M. A. *Teoria e Realidade*. São Paulo: Ed. Perspectiva, 1974.

CARVALHO, R. Science initial teacher education and superdiversity: educating science teachers for a multi-religious and globalised science classroom. *Stud of Sci Educ*, v. 11, p. 253–272, 2016.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS – CGEE. Percepção Pública da C&T no Brasil – 2019. Resumo executivo. Brasília, DF: 2019, 24p.

CHAN, E. Are the religious suspicious of science? Investigating religiosity, religious context, and orientations towards science. *Public Understanding of Science*, p. 1–18, 2018.

CHARMAZ, K. *A construção da teoria fundamentada: guia prático para análise qualitativa*. Porto Alegre: Artmed, 2009.

CLAVIJO M. R.; WALTEROS, A.; CORTÉS, C. La actividad experimental como una parte fundamental para la enseñanza de la física moderna: el caso de la mecánica cuántica. *Tecné Episteme y Didaxis: TED*, Colômbia, n.45, p. 191-206, 2019.

CORBIN, J.; STRAUSS, A. *Basics of Qualitative Research: Technics and Procedures for Developing Grounded Theory*. 4.ed. Thousand Oaks: Sage Publications, 2015.

CROCHÉ, S. Science and religion on the blackboard: exploring schoolmasters' beliefs and practices in Senegal, *British Journal of Religious Education*, v. 37, n.1, p. 37-52, 2015.

CUESTA-BELTRÁ, Y. J. Estado del arte: tendencias en la enseñanza de la física cuántica entre 1986 y 2016. *Tecné Episteme y Didaxis: TED*, Colômbia, n. 44, p.147-166, 2018.

DI GIACOMO, J. P. Aspects méthodologiques de l'analyse des représentations sociales. *Cahiers de Psychologie Cognitive*, v.1, n.1, 1981.

- EINSTEIN, A.; INFELD, L. *A Evolução da Física*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 2008.
- EISBERG, R.; RESNICK, R. *Física Quântica: Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas*. Rio de Janeiro: Campus-Elsevier, 1979.
- FALADE B. A.; BAUER, M. W. 'I have faith in science and in God': Common sense, cognitive polyphasia and attitudes to science in Nigeria. *Public Understanding of Science*, v. 27(1), p. 29–46, 2018.
- FANARO, M. A.; ELGUE, M. La Conceptualización de La Experiencia de la Doble Rendija a Partir del Enfoque de Caminos Múltiples de Feynman. *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias*, v.13, n. 2, p. 272-290, 2018.
- FEIN, Y. Y.; GEYER, P.; ZWICK, P.; KIALKA, F.; PEDALINO, S.; MAYOR, M.; GERLICH, S.; ARNDT, M. Quantum superposition of molecules beyond 25kDa. *Nature Physics*, 15, p. 1242-1245, 2019.
- FEYERABEND, P. K. *Ciência, um Monstro: lições trentinas*. Belo Horizonte: Autêntica Editora, 2017.
- FEYERABEND, P. K. *Contra o Método*. 2.ed. São Paulo: Editora Unesp, 2011a.
- FEYERABEND, P. K. *A Ciência em uma Sociedade Livre*. São Paulo: Editora Unesp, 2011b.
- FEYERABEND, P. K. *Adeus à Razão*. São Paulo: Editora Unesp, 2010.
- FEYERABEND, P. K. *A Conquista da Abundância*. São Leopoldo: Editora da Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 2006.
- FEYERABEND, P. K. *Matando o tempo. Uma autobiografia*. São Paulo: Fundação Editora da UNESP, 1996.
- FEYNMAN, R. P.; ROBBINS, J. *The Pleasure of Finding Things Out: The Best Short Works of Richard P. Feynman*. Cambridge, Mass.: Perseus Books, 1999.
- FRANCIS, L. J.; ASTLEY, J.; MCKENNA, U. Science disproves the biblical account of creation: exploring the predictors of perceived conflict between science and religion among 13- to 15-year-old students in the UK, *British Journal of Religious Education*, v. 41, n. 2, p. 188-201, 2019.
- FREIRE JR, O.; PESSOA JR, O.; BROMBERG, J. L. *Teoria Quântica: estudos históricos e implicações culturais*. Campina Grande: EDUEPB / Livraria da Física, 2010.
- FURTADO, F.; VIEIRA, C. L. Muito Além das Três Dimensões. *Ciência Hoje*, v. 39, n. 230, p. 6-9, 2006.
- GIANNARO, E.; PAPAILIOU, M.; MAVROMICHALAKI, H.; GIGOLASHVILI, M.; TVILDIANI, L.; JANASHIA, K.; PREKA-PAPADEMA, P.; PAPADIMA, TH. Possible influence of the polarity reversal of the solar magnetic field on the various types of arrhythmias, *Journal of Physics: Conference Series*, 409, 012239, 2013.

- GOVENDER, N. Physical Sciences Preservice Teachers' Religious and Scientific Views Regarding the Origin of the Universe and Life. *Int Journal of Sci and Math Educ*, n. p., 2015.
- GURGEL I.; PIETROCOLA, M.; WATANABE, G. The role of cultural identity as a learning factor in physics: a discussion through the role of science in Brazil. *Cult Stud of Sci Educ*, n. p., 2014.
- HACKING, I. *Representing and Intervening: Introductory Topics in the Philosophy of Natural Science*. Cambridge: Cambridge University Press, 2010.
- HARARI, Y. N. *Homo Deus: uma breve história do amanhã*. 1a. Ed. São Paulo: Companhia das Letras, 2016.
- HEISENBERG, W. *A parte e o todo: encontros e conversas sobre física, filosofia, religião e política*. 1ª ed. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.
- HERAUD, J; LAUTESSE, P.; FERLIN, F.; CHABOT, H. Representing the Quantum Object Through Fiction in Teaching. The Ontological Contribution of Gamow's Narrative as Part of an Introduction to Quantum Physics. *Sci & Educ*, v. 26, p. 299–322, 2017.
- HILGER, T. R.; MOREIRA, M. A.; A study of social representations of quantum physics held by high school students through numerical and written word association tests. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, Argentina, v. 8, n. 1 p. 52-61, 2012.
- HOERNIG, A. F.; MASSONI, N. T. História e epistemologia da ciência: alguns aprofundamentos que podem ser úteis a futuros professores de Física. *Textos de apoio ao professor de Física*, v. 29, n. 6, 2018. 50p.
- HOERNIG, A. F.; MASSONI, N. T.; LIMA, N. W. As visões sobre a ciência e sobre a realidade nos enunciados de Richard P. Feynman: Uma análise metalinguística de alguns de seus textos didáticos e de divulgação científica. *Rev. Bras. Ensino Fís.*, São Paulo, v. 42, 2020.
- HOYNINGEN-HUENE, P. *Kuhn, Feyerabend e Incomensurabilidade: Textos Seleccionados de Paul Hoyningen-Huene*. São Leopoldo: Editora da Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 2012.
- ISAACSON, W. *Einstein: sua vida, seu universo*. São Paulo: Companhia das Letras, 2007.
- JAMES, W. *As Variedades da Experiência Religiosa: um estudo sobre a natureza humana*. 2. Ed. São Paulo: Cultrix, 2017.
- JAMMER, M. *Einstein e a Religião*. Rio de Janeiro: Contraponto, 2000.
- JOHNSON, D. R.; ECKLUND, E. H.; MATTHEWS, K. R.W.; Responding to Richard: Celebrity and (mis)representation of science. *Public Understanding of Science*, p. 1- 15, 2016.

- KAUL, C. R.; HARDIN, K. A.; BEAUJEAN, A. A. Predicting Faculty Integration of Faith and Learning, *Christian Higher Education*, Waco, USA, v.16, n. 3, p.172-187, 2017.
- KRIJTENBURG-LEWERISSA, K; POL, H. J.; BRINKMAN, A.; VAN JOOLINGEN, W. R. Key topics for quantum mechanics at secondary schools: a Delphi study into expert opinions. *International Journal of Science Education*, v. 41, n. 3, p. 349-366, 2019.
- KRIJTENBURG-LEWERISSA, K.; POL, H.J.; BRINKMAN, A.; VAN JOOLINGEN, W.R. Insights into teaching quantum mechanics in secondary and lower undergraduate education. *Physical Review Physics Education Research*, v. 13, p. 010109/1-010109/21, 2017.
- KUHN, T. *A estrutura das revoluções científicas*. São Paulo: ed. Perspectiva, 5a ed., 1998.
- KUHN, T. *O caminho desde A estrutura: ensaios filosóficos, 1970-1993, com uma entrevista autobiográfica*. São Paulo: Editora Unesp, 2006.
- LAKATOS, I. *History of science and its rational reconstructions*. In: HACKING, I. (org.) *Scientific revolutions*. Hong-Kong: Oxford University, 1983.
- LAKATOS, I. *La metodología de los programas de investigación científica*. Madrid: Alianza Editorial, 1978.
- LAUDAN, L. *O Progresso e seus Problemas: rumo a uma teoria do crescimento científico*. São Paulo: Editora Unesp, 2011.
- LAUTESSE, P.; VALLS, A. V.; FERLIN, F., HERAUD, J., CHABOT, H. Teaching Quantum Physics in Upper Secondary School in France: ‘Quanton’ Versus ‘Wave–Particle’ Duality, Two Approaches of the Problem of Reference. *Sci & Educ*, v. 24, p. 937-955, 2015.
- LEVRINI, O.; FANTINI, P. Encountering Productive Forms of Complexity in Learning Modern Physics. *Science & Education*, v. 22, p. 1895–1910, 2013.
- LESSL, T. Naïve Empiricism and the Nature of Science in Narratives of Conflict Between Science and Religion. *Science & Education*, Athens, USA, v. 27, p. 625–636, 2018.
- LIMA, M. C. A. B.; MACHADO, M. A. D. As Representações Sociais dos licenciandos de Física referentes à inclusão de deficientes visuais. *Rev. Ensaio*, Minas Gerais v.13, n.03, p.119-131, 2011.
- LINDLEY, D. *Uncertainty: Einstein, Heisenberg, Bohr, and the Struggle for the Soul of Science*. New York: Doubleday, 2007.
- MARKIN, A. V.; MARKINA, N. E.; EILKS I. The application of laser pointers for demonstration experiments in nanotechnology lessons at secondary school level. *Proc. of SPIE*, v.10336, p. 103360S/1-103360S/8, 2017.

- MARTIN, E. C. Late Feyerabend on materialism, mysticism and religion. *Studies in History and Philosophy of Science*, Waco, USA, p. 1-8, 2015.
- MASSONI, N. T. *A Epistemologia Contemporânea e suas Contribuições em Diferentes Níveis de Ensino de Física: A Questão da Mudança Epistemológica*. 2010. 412 p. Tese (Doutorado em Ensino de Física) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.
- MASSONI, N. T.; MOREIRA, M.A. *Pesquisa Qualitativa em educação em ciências: projetos, entrevistas, questionários, teoria fundamentada, redação científica*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2017.
- MATHEWS, M. R. História, Filosofia e Ensino de Ciências: A tendência atual de reaproximação. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v.12, n.3: p. 164-214, 1995.
- MATURANO, C. I.; MAZZITELLI, C. A.; Representaciones sociales de futuros docentes de Física y de Química sobre el manual escolar. *Revista Electrónica Actualidades Investigativas en Educación*, Costa Rica, v.17 n. 1 p. 1–20, 2017.
- MONTAÑEZ, A. View of Evolution Shaped by Knowledge. *Scientific American* 24, 2018.
- MORALES, L. M.; MAZZITELLI C. A.; OLIVERA, A. C. La enseñanza y el aprendizaje de la Física y de la Química en el nivel secundario desde la opinión de estudiantes. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, Argentina, v.10, n. 2, p. 11-19 2015.
- MOREIRA, M. A.; MASSONI, N. T. *Epistemologias do século XX*. São Paulo: EPU, 2011.
- MOSCOVICI, S. *Representações Sociais: investigações em Psicologia Social*. Petrópolis: Vozes, 2015.
- NOVIS-DEUTSCH, N.; LIFSHITZ, C. When Bible and science interact: teachers' pedagogic and value challenges in teaching religious minority students in higher education settings. *Teaching in Higher Education*, San Diego, California, p. 1-14, 2016.
- NUSSENZVEIG, H. M. *Curso de Física Básica, 4: ótica, relatividade, física quântica*. 2.ed. São Paulo: Blucher, 2014.
- OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “física moderna e contemporânea no ensino médio”. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 5, n. 1, p. 23–48, 2000.
- OTERO, M. R.; FANARO, M. A.; ARLEGO, M. Investigación y desarrollo de propuestas didácticas para la enseñanza de la Física en la Escuela Secundaria: Nociones Cuánticas. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias (REIEC)*, Argentina, Año 4, n.1, p. 58 –74, 2009.
- PAGLIARINI, C. R.; ALMEIDA, M. J. P. M. Leituras por alunos do ensino médio de textos de cientistas sobre o início da física quântica. *Ciênc. Educ.*, Bauru, v. 22, n. 2, p. 299-317, 2016.

- PARK, W.; YANG, S.; SONG J. When Modern Physics Meets Nature of Science The Representation of Nature of Science in General Relativity in New Korean Physics Textbooks. *Science & Education*; Springer Nature B.V., 2019
- PEARCE J.; STONES A.; REISS M. J.; MUJTABA T. Science is purely about the truth so I don't think you could compare it to non-truth versus the truth.' Students' perceptions of religion and science, and the relationship(s) between them: religious education and the need for epistemic literacy. *British Journal of Religious Education*, p. 1-16, 2019.
- PEREIRA, A. A. G.; SILVA, C. C. Uma análise histórica da construção de significados físicos para o conceito de potencial vetor no eletromagnetismo clássico. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 34, n. 3, 2017.
- PIAGET, J. *Epistemologia Genética*. 3. ed. São Paulo: Martins Fontes, 1970.
- PLANCK, M. *Autobiografia Científica e Outros Ensaios*. Rio de Janeiro: Contraponto, 2012.
- POOLE, M. The feasibility of educating trainee science teachers in issues of science and religion. *Cult Stud of Sci Educ*, v.11, p. 273–281, 2016.
- POPPER, K. R. *Conjeturas e refutações*. Brasília: Editora da UnB, 1982.
- POSNER, G. J.; STRIKE, K. A.; HEWSON, P. W.; GERTZOG, W. A. Accomodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change. *Science Education*, v. 66, n. 2, p. 211-227, 1982.
- RADNITZKY, G.; ANDERSSON, G. *Estructura y Desarrollo de la Ciencia: P. Feyerabend, G. Radnitzky, W. Stegmüller y otros*. Madrid: Alianza Editorial, 1984.
- RAHMAWATI, Y.; TAYLOR, P. C. “The fish becomes aware of the water in which it swims”: revealing the power of culture in shaping teaching identity. *Cult Stud of Sci Educ*, n. p., 2017.
- RATINAUD, P. ; MARCHAND, P. Application de la méthode ALCESTE à de “gros” corpus et stabilité des “mondes lexicaux” : analyse du “CableGate” avec IraMuTeQ. In: Actes des 11eme Journees Internationales d’analyse Statistique des Donnees Textuelles, 11., Liège. *Anais de evento*. Liège: JADT, 2012. p. 835 – 844.
- RICETO, B. V.; COLOMBO JR, P. D. Diálogos entre ciência e religião: a temática sob a ótica de futuros professores. *Rev. bras. Estud. pedagog.*, Brasília, v. 100, n. 254, p. 169-190, 2019.
- RIOS, K.; AVEYARD, M.; Science-religion compatibility beliefs across Middle Eastern and American young adult samples: The role of cross-cultural exposure. *Public Understanding of Science*, p. 1-9, 2019.
- RODRIGUES, E. V.; BORGES, A. E. B.; PIETROCOLA, M. História da Ciência no Ensino de Física como Representação Social dos Licenciados. XVII *Encontro de Pesquisa em Ensino de Física* – 2018.

- ROSA, L. F. M. Explorando a inserção de tópicos de física quântica em uma escola estadual: um estudo sob a luz da perspectiva sociocultural. *Dissertação de mestrado*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2019.
- SCHEITL, C. P.; JOHNSON, D. R.; ECKLUND, E. H.; Scientists and religious leaders compete for cultural authority of science. *Public Understanding of Science*, v. 27(1), p. 59–75, 2018.
- SCHWEITZER F. Education for Tolerance Secular or Religious? In: Aslan E., Rausch M. (eds) *Religious Education*. Wiener Beiträge zur Islamforschung. Springer VS, Wiesbaden, p.19-34, 2018.
- SIERRA, G. M. Representaciones sociales que poseen estudiantes de nivel medio superior acerca del aprendizaje y enseñanza de las Matemáticas. *Perfiles Educativos*, México, v. XXXIII, n.132, p. 90–109, 2011.
- SILVA, A. M. T. B.; MAZZOTTI, T. B. A Física pelos professores de Física: a contribuição da Teoria das Representações Sociais. *Ciência & Educação*, Rio de Janeiro, v. 15, n. 3, p. 515-528, 2009.
- SIMPSON, A.; RIOS, K. Is science for atheists? Perceived threat to religious cultural authority explains U.S. Christians’ distrust in secularized science. *Public Understanding of Science*, v. 28(7); p. 740–758, 2019.
- SPINOZA, B. *Ética*. 3. Ed. Belo Horizonte: Autêntica Editora, 2017.
- SORRELL, K.; ECKLUND, E. H. How UK Scientists Legitimize Religion and Science Through Boundary Work. *Sociology of Religion: A Quarterly Review*, p: 1–22, 2018.
- STADERMANN, H.K.E.; VAN DEN BERG, E.; GOEDHART, M.J., Analysis of secondary school quantum physics curricula of 15 different countries: Different perspectives on a challenging topic. *Physical Review Physics Education Research*, v.15, p. 010130/1- 010130-25, 2019.
- STAKE, R. E. *Investigación con estudio de casos*. Madrid: Morata, 1998.
- STEVENS, S. Y.; DELGADO, C.; KRAJCIK, J. S. Developing a Hypothetical Multi-Dimensional Learning Progression for the Nature of Matter. *Journal of research in science teaching*, v. 47, n. 6, p. 687–715, 2010.
- STEWART, C. O.; MCCONNELL, J. R.; DICKERSON, D. L. Socioscientific and epistemic dimensions of support for science: associations with science education and religiosity. *International Journal of Science Education*, Part B, p. 1-13, 2016.
- SUPRAPMANTO, J.; PRASETYO, Z. K. Sains-Religion: Analysis of Learning Needs based on Religious Values in Science Learning. *Journal of Physics: Conference Series*, Conf. Ser. 1233 012080, p. 1-7, 2019.
- TARSKI, A. *A Concepção Semântica da Verdade*. São Paulo: Editora Unesp, 2007.
- TERRAZZAN, E. A. A inserção da Física Moderna e Contemporânea no ensino de Física na escola de 2º grau. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 9, n. 3, p. 209–214, 1992.

TOULMIN, S. *Human Understanding: The Collective Use and Evolution of Concepts*. Oxford: Oxford University Press, 1977.

VELENTZAS, A.; HALKIA, K. The 'Heisenberg's Microscope' as an Example of Using Thought Experiments in Teaching Physics Theories to Students of the Upper Secondary School. *Res Sci Educ*, v. 41, p. 525–539, 2011.

VERGNAUD, G. La théorie des champs conceptuels, *Rech. Didact. Math.*, n. 10, p. 133-170, 1990).

VÍLCHEZ-GONZÁLEZ, J.M.; PALACIOS, J.P. Image of science in cartoons and its relationship with the image in comics, *Physics Education*, vol. 41, p. 240-249, 2006.

VOELKEL, J. R. *Johannes Kepler and the New Astronomy*. Oxford: Oxford University Press, 1999.

WAGNER, W.; DUVEEN, G.; JOVCHELOVITCH, R. F.; JOVCHELOVITCH, S.; LORENZI-CIOLDI, F.; MARKOVÁ, I.; ROSE, D. Theory and method of social representations. *Asian Journal of Social Psychology*, v. 2, p. 95-125, 1999.

YAZAN, B. Three Approaches to Case Study Methods in Education: Yin, Merriam, and Stake. *The Qualitative Report*, v. 20, p. 134-153, 2015.

APÊNDICES

Apêndice A: Questionário Inicial

Questionário distribuído a 291 alunos em novembro de 2018.

Questionário sobre conceitos de quântica.

André F. Hoernig - Mestrando em Ensino de Física
Novembro - 2018



Escreva todas as palavras ou expressões que te vem à mente quando ouves a palavra
“QUÂNTICA”.

1. Liste o/a (os/as) cientista(s) de maior renome que você lembra (em qualquer área do conhecimento):

2. Você acredita que esse(s) cientista(s) tenha(m)/tivesse(m) alguma crença religiosa? Ou acredita que seja(m)/era(m) ateu(s)?

APOIO:



&



Apêndice B: Carta de apresentação às Escolas

Carta de apresentação entregue aos três colégios onde a primeira etapa do Estudo 1 foi realizada, referente à aplicação dos breves questionários. A seguir, o modelo de carta que foi entregue ao colégio Heitor Villa-Lobos. Para as demais escolas o mesmo padrão foi utilizado, apenas modificando-se nome da escola, diretoria e endereço.



Porto Alegre, 20 de agosto de 2018.

À

Escola Estadual de Ensino Médio Heitor Villa Lobos

Rua Otelo Rosa, 118

Bairro COHAB C

Gravataí – RS

At. Profa. Diretora Rosane

Prezada Professora:

Apresentamos, pela presente, o mestrando do Curso de Pós Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, André Felipe Hoernig, a quem solicitamos a V. Sas. permissão para aplicar um curto questionário (três questões) a alunos do Ensino Médio, relacionado a conceitos de Física Quântica, no âmbito de seu Projeto de Mestrado, intitulado “Física Quântica e História e Filosofia da Ciência: conceitos, vida, crenças e religiosidade como motivadores na Aprendizagem de Física”.

Pela atenção, antecipadamente agradecemos.

Prof. Neusa Teresinha Massoni
Orientadora

Apêndice C: Questionário Final

Questionário sobre a sequência didática para abordar Física Quântica

Apresentam-se aqui algumas questões sobre o estudo de Física Quântica e também para conhecer algumas **opiniões** sobre a temática.

Instruções para preenchimento e esclarecimentos:

1. O instrumento é composto por dez itens, com oito questões de resposta única. Ao final, se você desejar, poderá se manifestar em um item de comentário aberto.
2. Não há identificação nominal do respondente, assegurando o anonimato.
3. Os resultados dessa pesquisa são para fins exclusivamente acadêmicos.
4. Este não é um teste avaliativo. Responda os itens de acordo com o seu conhecimento e opinião sobre o assunto.

Agradecemos, desde já, a sua colaboração.

-
1. Escreva todas as palavras que lhe vêm à mente quanto você ouve/lê a palavra “Quântica”:

2. Assinale todos os meios onde você ouviu falar ou se informou sobre “Quântica”:

	Unicamente	Muitas vezes	Às vezes	Pouco	Nunca
Internet (youtube, redes sociais etc.)					
Televisão e Rádio					
Jornais e Revistas					
Livros Científicos					
Escola					

Nos itens 3 a 10 indique a sua opinião a respeito de cada sentença usando a escala de concordância que vai de zero a dez. Considere:

0 = Discordo Fortemente.

5 = Não Concordo nem Discordo.

10 = Concordo Fortemente.

3. Os cientistas, que fazem da Ciência sua carreira profissional, não podem ter qualquer religiosidade, sob pena desta interferir em sua produção.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Discordo Fortemente	<input type="radio"/>	Concordo Fortemente										

4. Religiosidade e Ciência são incompatíveis.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Discordo Fortemente	<input type="radio"/>	Concordo Fortemente										

5. Alguns cientistas (Einstein, Planck) que fizeram grandes contribuições à Física tinham, ao mesmo tempo, religiosidade; podendo, inclusive, suas crenças terem contribuído com inspirações criativas.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Discordo Fortemente	<input type="radio"/>	Concordo Fortemente										

6. A Teoria mais aceita hoje na comunidade científica sobre a origem do Universo – a *Teoria do Big Bang* – exclui a possibilidade de existência de qualquer divindade.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Discordo Fortemente	<input type="radio"/>	Concordo Fortemente										

7. O efeito Fotoelétrico mostra que a luz é constituída de partículas.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Discordo Fortemente	<input type="radio"/>	Concordo Fortemente										

8. A explicação da radiação de corpo negro marca o início do princípio básico da Física Quântica – a quantização da energia.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Discordo Fortemente	<input type="radio"/>	Concordo Fortemente										

9. A difração de elétrons vista no laboratório da UFRGS e discutida em aula mostra o comportamento ondulatório dos elétrons.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Discordo Fortemente	<input type="radio"/>	Concordo Fortemente										

10. O misticismo quântico é amplamente aceito pela comunidade científica (pois trata de aplicações da Física Quântica no cotidiano das pessoas), uma vez que a comunidade científica almeja aproximar a Ciência do público em geral.

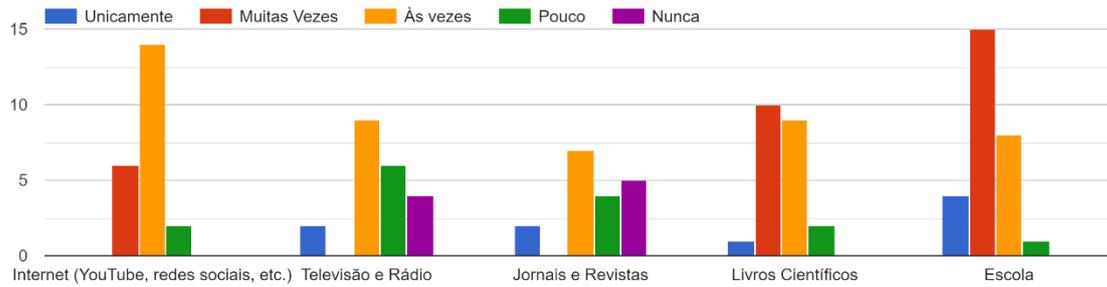
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Discordo Fortemente	<input type="radio"/>	Concordo Fortemente										

11. Escreva sua opinião, críticas, sugestões etc. sobre a sequência de ensino que foi aplicada na sua turma para estudar os princípios da Física Quântica.

Apêndice D: Respostas do Questionário Final

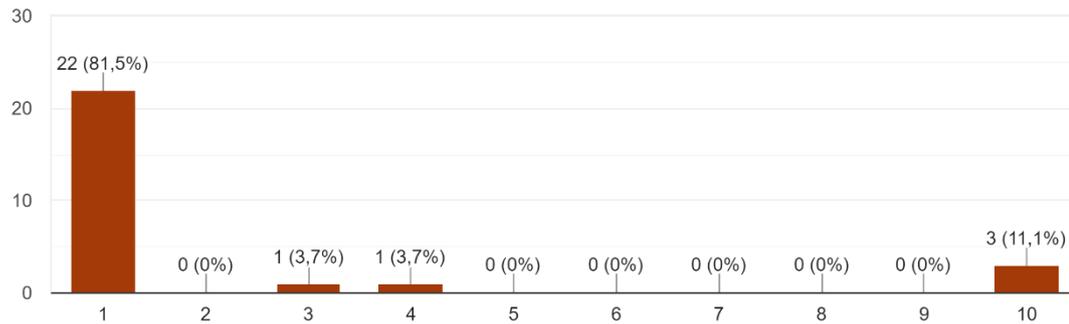
Respostas às questões objetivas do questionário aplicado em novembro de 2019.

2. Assinale todos os meios onde você ouviu falar ou se informou sobre “Quântica”:



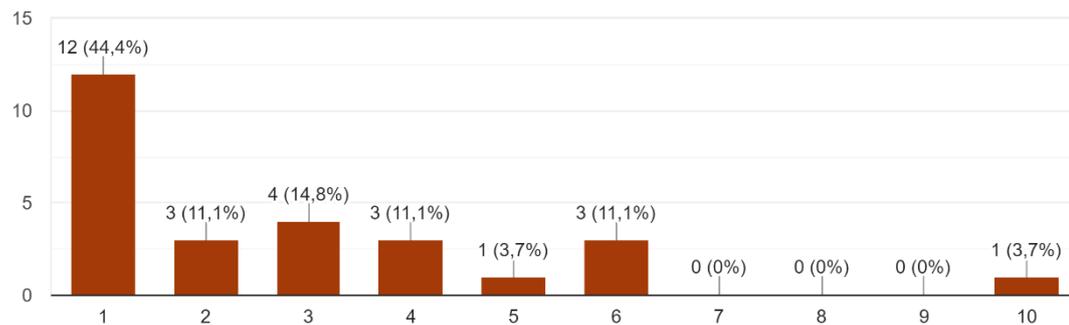
3. Os cientistas, que fazem da Ciência sua carreira profissional, não podem ter qualquer religiosidade, sob pena desta interferir em sua produção.

27 respostas



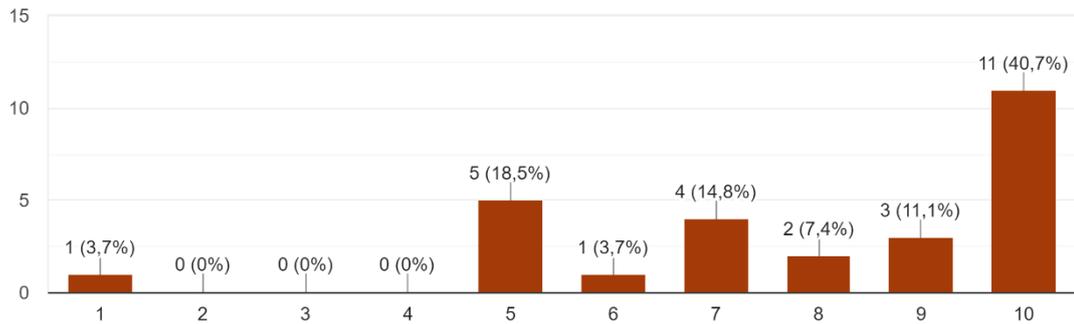
4. Religiosidade e Ciência são incompatíveis.

27 respostas



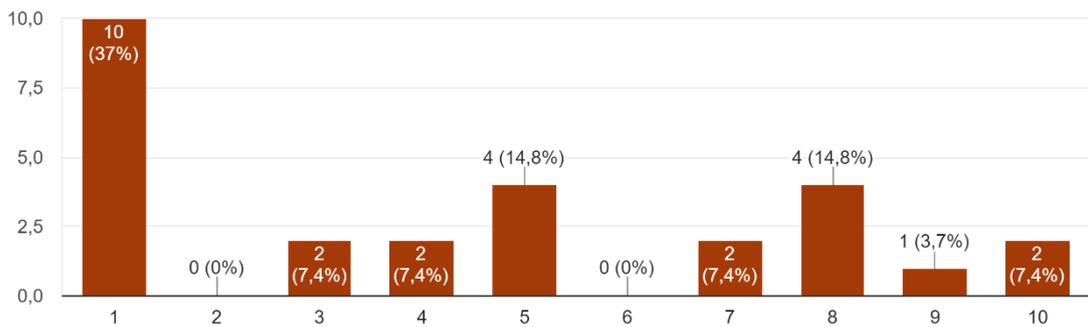
5. Alguns cientistas (Einstein, Planck) que fizeram grandes contribuições à Física tinham, ao mesmo tempo, religiosidade; podendo, inclusive, s...nças terem contribuído com inspirações criativas.

27 respostas



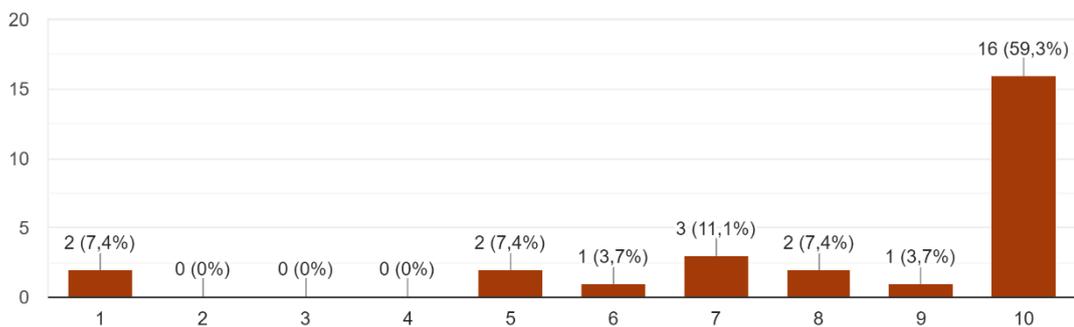
6. A Teoria mais aceita hoje na comunidade científica sobre a origem do Universo – a Teoria do Big Bang – exclui a possibilidade de existência de qualquer divindade.

27 respostas



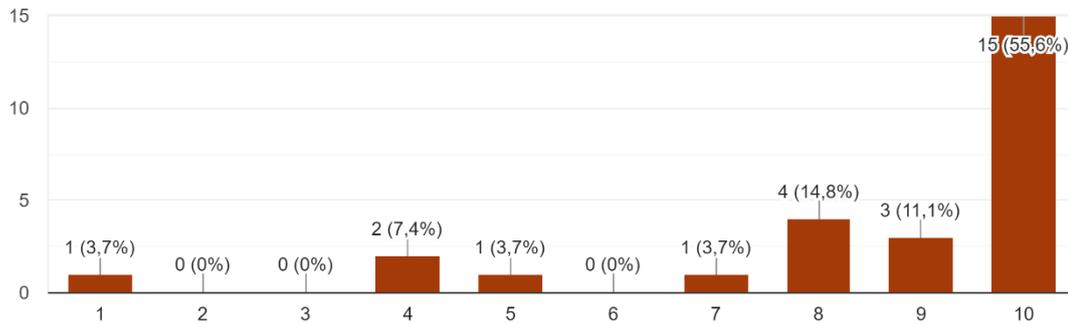
7. O efeito Fotoelétrico mostra que a luz é constituída de partículas.

27 respostas



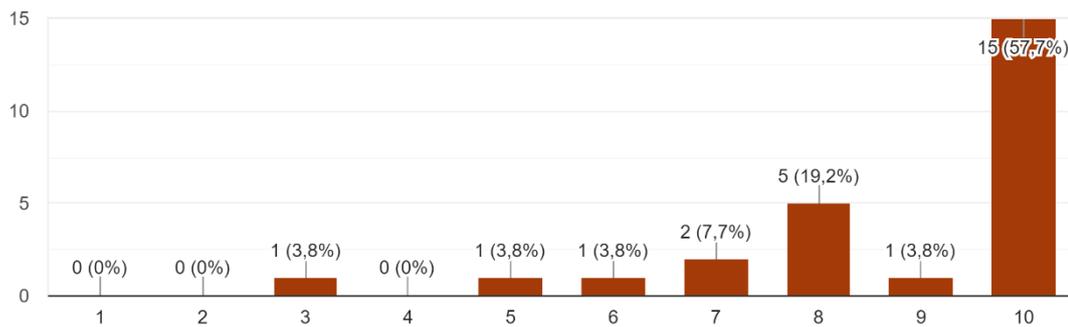
8. A explicação da radiação de corpo negro marca o início do princípio básico da Física Quântica – a quantização da energia.

27 respostas



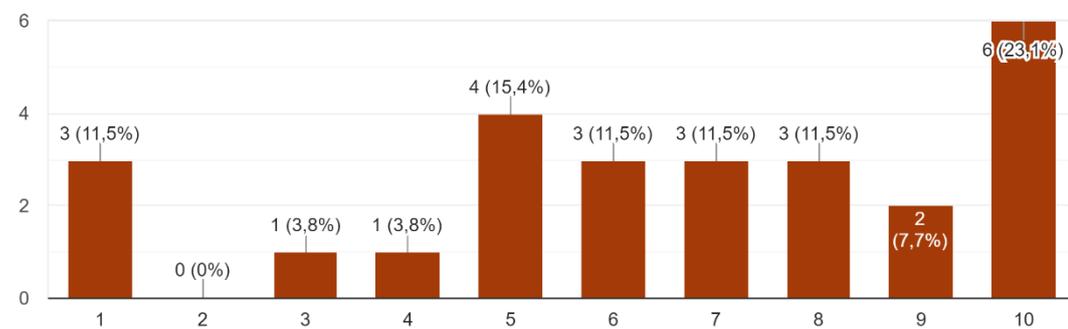
9. A difração de elétrons vista no laboratório da UFRGS e discutida em aula mostra o comportamento ondulatório dos elétrons.

26 respostas



10. O misticismo quântico é amplamente aceito pela comunidade científica (pois trata de aplicações da Física Quântica no cotidiano das pes...a almeja aproximar a Ciência do público em geral.

26 respostas



Apêndice E: Lista de presença inicial de alunos

Lista de alunos fornecida pela Secretaria do Colégio da turma de 3º Ano do EM investigada, cobrindo os sobrenomes para preservar a identidade dos estudantes.

 Estado do Rio Grande do Sul Secretaria da Educação - 28 CRE - Gravataí Esc Est Ens Med Heitor Villa Lobos R Otelo Rosa 118 CEP: 94030140 Gravataí-RS Identificação: 6941 Fone: (51) 3484-5558		Lista Oficial das Turmas Curso: Curso Ensino Médio Calendário: 2019 - Anual Séric: 3º Ano Turma: 301 Turno: Manhã							
Nº	Nome do Aluno	Matricula	Dt.Matric	Situação	Sexo	Dt.Nasc.	Idade	Freq.	Rep.
1	Ala	1128052	03/01/2019	Matriculado	M	29/07/2000	19a 1m	86	
2	Alisson	1128105	20/02/2019	Cancelado	M	07/12/2000	18a 8m		*
3	Ana Julia	1128164	03/01/2019	Matriculado	M	07/06/2001	18a 2m	86	
4	Anne	1128165	03/01/2019	Matriculado	M	11/03/2001	18a 5m	85	
5	+Brenda	1128274	03/01/2019	Matriculado	F	26/10/2001	17a 10m	88	
7	Cleiton	949191	20/02/2019	Matriculado	M	26/06/1999	20a 2m	77	*
8	+Diennifer	5005796	03/01/2019	Matriculado	F	01/03/2002	17a 5m	91	
9	Eduarda	459526	03/01/2019	Matriculado	F	09/01/2002	17a 7m	98	
10	Eduarda	1128146	03/01/2019	Matriculado	F	29/05/2001	18a 3m	78	
11	Eduardo	1128287	03/01/2019	Matriculado	M	03/12/2001	17a 8m	91	
12	Eduardo	1128279	03/01/2019	Matriculado	M	06/07/2001	18a 1m	80	
13	Eliezer	949327	03/01/2019	Matriculado	M	11/04/2001	18a 4m	98	
14	Erika	949112	03/01/2019	Matriculado	F	22/11/2000	18a 9m	88	
15	Fernanda	3679978	03/01/2019	Matriculado	F	06/02/2002	17a 6m	77	
16	Gabriel	1128158	03/01/2019	Matriculado	M	05/06/2001	18a 2m	89	
17	Ingrid	1128281	03/01/2019	Matriculado	F	22/07/2001	18a 1m	84	
18	Jenifer	949268	03/01/2019	Matriculado	F	03/03/2001	18a 5m	74	
19	Jhonatan	1127915	03/01/2019	Matriculado	M	07/08/2000	19a	79	
20	+João	1128199	03/01/2019	Matriculado	M	11/02/2001	18a 6m	76	
21	Josiane	3019237	03/01/2019	Transferido	F	01/10/2000	18a 10m		
22	Julio	5005759	03/01/2019	Matriculado	M	02/05/2000	19a 3m	52	
24	Keisy	1128271	03/01/2019	Matriculado	F	04/03/2002	17a 5m	93	
25	Maria	949322	03/01/2019	Matriculado	F	07/09/2001	17a 11m	83	
26	Mariana	949355	03/01/2019	Matriculado	F	12/11/2001	17a 9m	76	
27	+Marlon	1128162	03/01/2019	Matriculado	M	01/07/2001	18a 1m	86	
29	Maxsuel	1128736	03/01/2019	Matriculado	M	20/08/2001	18a	86	
30	Michele	5011197	03/01/2019	Matriculado	F	23/05/2001	18a 3m	77	
31	Millene	5359734	03/01/2019	Transferido	F	16/12/2000	18a 8m		
32	Natasha	1128304	03/01/2019	Matriculado	F	01/09/2000	18a 11m	82	
33	Raphaella	1128290	03/01/2019	Matriculado	F	01/08/2001	18a	91	
34	Ronaldo	1129071	03/01/2019	Matriculado	M	07/01/2002	17a 7m	88	
35	Sara	5815148	03/01/2019	Matriculado	F	16/06/2001	18a 2m	89	
36	Suelen	949312	03/01/2019	Matriculado	F	12/02/2002	17a 6m	92	
37	Taielli	1128147	03/01/2019	Matriculado	M	01/08/2001	18a	82	
38	+Taini	1128967	20/02/2019	Matriculado	F	05/04/1999	20a 4m	82	
39	Tayane	490228	03/01/2019	Matriculado	F	09/05/2001	18a 3m	85	
40	Victória	1127846	03/01/2019	Matriculado	F	14/01/2000	19a 7m	81	
41	Gabriel	4954509	22/04/2019	Matriculado	M	25/01/2000	19a 7m	92	*

+ Aluno com Bolsa Família ** Aluno Especial * Aluno Repetindo a série Total de Alunos:38

Apêndice F: Termo de Consentimento

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Eu, _____, RG _____, responsável pelo(a) estudante _____ da Escola Estadual de Ensino Médio Heitor Villa Lobos, situada na Rua Otelo Rosa, 118 - COHAB C, Gravataí - RS, fui informado e autorizo-o(a) a participar das atividades realizadas junto à disciplina de Física, sobre ensino de Física Quântica, vinculadas ao projeto de dissertação de mestrado pertencente ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), intitulado *Física Quântica e História e Filosofia da Ciência: conceitos, vida, crenças e religiosidade como motivadores na Aprendizagem de Física*, as quais serão ministradas pelo mestrando André Felipe Hoernig, sob orientação da Prof^a. Dr^a. Neusa Teresinha Massoni.

As atividades serão compostas por aulas que abordarão tópicos relacionados ao ensino de Física Quântica no Ensino Médio, como conceitualização da luz, efeito fotoelétrico, radiação de corpo negro, propriedades ondulatórias, dualidade onda-partícula e discussões de assuntos relacionados como misticismo quântico, religiosidade, etc. Para apontamento dos dados, os estudantes realizarão alguns testes, entrevistas, havendo também a documentação através de áudios das aulas, sempre preservando a identidade dos estudantes, em nenhum momento será divulgado seu nome em qualquer parte do estudo. Fui informado sobre o que o pesquisador quer fazer e porque precisa da minha colaboração, e que todos os registros, incluindo áudios e transcrições das entrevistas, serão utilizados unicamente para a produção de trabalhos acadêmicos, como apresentação de seminários, elaboração de artigos e dissertação de mestrado em Ensino de Física.

Atenciosamente,

Gravataí, ____ de _____ de 2019.

Pesquisador

Orientadora

Assinatura do Responsável

Apêndice G: Lista final de alunos com chamada

Lista de alunos que compareceram aos encontros com chamada (apenas primeiro nome).

Nº	Nome do Aluno	05/09	25/09	26/09	02/10	03/10	09/10	16/10	17/10	25/10	29/10	31/10
1	Alã	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
2	Ana	F	.	.	.	.	F	.	.	.	.	F
3	Anne	.	.	F	F	.	F	.	.	.	.	.
4	Brenda	.	.	F	F	F	F	.	.	F	F	F
5	Cleiton	F	F	.	.	F	F	F	.	F	F	F
6	Diennifer	.	.	F	F	.	.	.	F	F	.	F
7	Eduarda B	F	F	.	.	.	.	.	.	.	.	.
8	Eduarda P	F	F	.	F	F	F	.	.	.	.	.
9	Eduardo C	.	.	.	.	.	.	F	.	.	.	.
10	Eduardo R	.	.	.	F	F	.	.	.	.	.	.
11	Eliezer	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
12	Erika	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	F
13	Fernanda	.	F	F	.	.	.	.	F	F	F	F
14	Gabriel M	.	.	F	F	F	F	F	.	F	F	F
15	Ingrid	.	.	.	.	.	F	F	F	.	.	.
16	Jenifer	F	F	.	.	.	F	F	F	.	F	F
17	Jhonatan	.	.	.	.	.	F	F	.	F	F	.
18	João	.	.	.	.	.	F	F	.	.	.	.
19	Keisy	F	F	.	F	F	.	.	.	F	F	.
20	Maria	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
21	Mariana	F	F	.	.	.	.	F	.	.	.	F
22	Marlon	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
23	Maxsuel	F	F	.	.	.	.	.	.	.	.	.
24	Michele	F	F	.	.	.	.	F	.	.	F	F
25	Natasha	F	F	F	F	.	.	.	.	.	.	.
26	Raphaella	F	F	.	.	.	F	F	.	.	.	F
27	Ronaldo	.	.	.	.	.	F	F	.	.	.	.
28	Sara	F	F	.	F	F	.	.	.	.	.	.
29	Suelen	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
30	Taiélli	.	.	.	.	.	.	.	F	F	F	F
31	Taini	.	F	F	.	F	F	.	.	.	.	F
32	Tayane	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	F
33	Victória	.	.	.	.	.	F	F	.	F	F	.
34	Gabriel B	.	.	F	F	F	F	F	.	F	F	F

Apêndice H: Textos de Apoio entregues aos estudantes durante o MD

TEXTO DE APOIO 1 – 05/09

Recomenda-se a leitura deste texto acompanhado de um suquinho de laranja.



Esse é um trecho do livro **A Evolução da Física**, escrito por Albert Einstein e Leopold Infeld:

Um mapa da cidade de Nova York e seus arredores está aberto diante de nós. Perguntamos: *a que pontos desse mapa podemos chegar viajando de trem?* Após determinar esses pontos em um horário ferroviário, marcamos eles no mapa. Alteramos agora a nossa questão e perguntamos: *que pontos podem ser atingidos pelo automóvel?* Se traçamos linhas no mapa representando todas as estradas de rodagem partindo de Nova York, todos os pontos dessas estradas podem, de fato, ser atingidos por automóvel. Em ambos os casos temos conjuntos de pontos. No primeiro, eles estão separados uns dos outros e representam as diversas estações ferroviárias; no segundo, são os pontos ao longo das linhas que representam as rodovias. Dizemos: as distâncias de Nova York aos lugares que podem ser atingidos por trem mudam apenas de modo *descontínuo*. As distâncias aos lugares que podem ser atingidos por automóvel podem, contudo, mudar por passos tão pequenos quanto queiramos, podem variar de modo *contínuo*. As alterações da distância podem ser tornadas arbitrariamente pequenas, no caso de um automóvel, mas não no caso de um trem. Einstein traz esse exemplo, porque na época dele era muito comum o uso de trens na Alemanha. Para nós, podemos colocar paradas de ônibus ao invés de estações de trem. Nós só podemos descer nas paradas, e não em qualquer lugar, o que também é algo *descontínuo*. Se fizermos o mesmo caminho de carro, podemos parar o carro em qualquer lugar e descer, isso é algo *contínuo*.



Num ônibus podemos descer apenas em lugares específicos: isso é algo *descontínuo* (quantizado).



Já em um carro, podemos parar e descer no ponto que quisermos: Isso é algo contínuo.

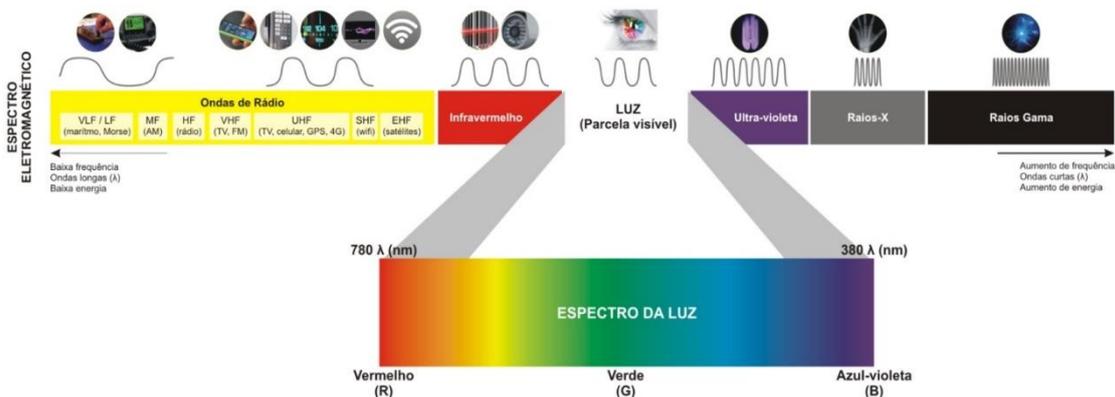
Einstein ainda traz um exemplo comum na época dele, sobre minas de carvão. O rendimento de uma mina de carvão pode mudar de modo contínuo. A quantidade de carvão pode ser diminuída ou aumentada a passos arbitrariamente pequenos. Mas o número de mineiros empregados só pode mudar descontinuamente. Seria pura insensatez dizer: “Desde ontem, o número de empregados aumentou em 3,783.”

Podemos dizer: algumas quantidades podem mudar continuamente e outras apenas descontinuamente, por passos que não se poderão reduzir. Esses passos indivisíveis são chamados *quanta* elementares da quantidade a que se referem (*quanta* é o plural de *quantum*).

Podemos usar grandes quantidades de areia e considerar sua massa contínua, muito embora sua estrutura granular seja evidente. Mas se a areia se tornasse muito preciosa, e as balanças muito sensíveis, teríamos de considerar o fato de a massa sempre mudar em números múltiplos de um grão. A massa desse grão seria o nosso *quantum* elementar. Vemos, desse exemplo, como o caráter descontínuo de uma quantidade, até então considerada contínua, pode ser detectado aumentando a precisão de nossas medições.

Se tivéssemos de caracterizar a ideia principal da teoria quântica em uma sentença, poderíamos dizer: *deve-se admitir que algumas quantidades físicas até agora consideradas contínuas são compostas de quanta elementares.*

Além disso, podemos afirmar que a Física Quântica é o estudo das coisas muito pequenas. Mas quão pequenas? Tudo aquilo que for de tamanho menor ou igual a um nanômetro ($1\text{ nm} = 1.10^{-9}\text{m}$). Um nanômetro significa pegar um metro e dividir em 1 bilhão! Os elétrons, prótons e nêutrons tem um tamanho de alguns poucos nanômetros. Alguns nanômetros (centenas neste caso) também é o tamanho aproximado do comprimento de onda da luz visível, que faz parte do espectro eletromagnético:



Nas nossas aulas vamos falar muito da luz e das ondas eletromagnéticas, então é bom ter em mente a fórmula para calcular velocidade das ondas:

$$v = \lambda \cdot f$$

v = velocidade da onda (m/s);

λ = comprimento de onda (m);

f = frequência (Hz).

TEXTO DE APOIO 2 – 25/09

Continuação, depois de tanto tempo, de nossas aulas de Física Quântica!



Apesar da demora para retomar as nossas aulas, agora voltamos para mergulhar no delicioso mundo da Física Quântica. Brincadeiras à parte, vamos com esse texto, entender mais detalhadamente como começou a Física Quântica. Ela não começou com uma ideia mirabolante ou uma ideia extravagante de um super gênio. A Física Quântica surgiu da explicação que um físico alemão muito quieto e calmo, Max Planck, deu para como os objetos aquecidos liberam energia na forma de calor.

Ao solucionar matematicamente o problema de porque o brilho do carvão em brasa é vermelho e não azul, Max Planck deu início a uma revolução que levou ao nascimento da Física Quântica. Buscando descrever tanto a luz quanto o calor em suas equações, ele acabou determinando que a energia que é irradiada dos corpos aquecidos se dá na forma de pequenos pacotes, ou *quanta* (como vimos no texto anterior *quanta* é o plural de *quantum*, que significa **quantidade mínima**). Ao explicar matematicamente o fenômeno de “Radiação Térmica de Corpo Negro” é que nasceu, em 1900, a Física Quântica.

Lembre-se de que Corpo Negro não necessariamente significa um corpo escuro (o carvão queimando pode ser considerado um corpo negro, mas o Sol e a neve também podem ser considerados corpos negros). Um corpo negro ideal é todo aquele objeto que absorve toda a radiação (como o calor, que é energia térmica transferida - e a luz) que incide sobre ele, emitindo radiação (como o calor, que é energia térmica transferida - e a luz) devido apenas a sua temperatura. O Sol pode ser considerado um bom corpo negro, porque qualquer luz que for lançada sobre ele é absorvida. A luz que vemos dele é devida a sua alta temperatura, é ele

mesmo que produz essa luz. A Lua, por exemplo, brilha pela luz do Sol refletida sobre ela, ela não emite essa luz pela sua própria temperatura, logo a Lua não é um corpo negro.

O brilho do grafite aquecido é visualmente contínuo, porém, em um nível microscópico sabemos (devido a Planck) que a energia que emana do grafite, ou qualquer corpo aquecido, é descontínua, ou seja, emitida na forma de pacotes. Além disso, Planck percebeu que a energia desses pacotes é proporcional à frequência. Se você refletir um pouco, verá que essa relação com a frequência faz sentido. Vejamos como isso funciona...

Ao conectarmos o grafite à uma fonte de tensão, começa a fluir pelo grafite uma certa corrente elétrica. Essa corrente elétrica começa a esquentar o grafite, tal qual em uma resistência de chuveiro. Esse aquecimento inicial, contudo, não é visível, mas podemos sentir. Esse calor, essa energia transferida para o meio, que emana dos corpos aquecidos em torno dos 37°C é a denominada *Radiação Infravermelha*. O corpo humano também se encontra nessa faixa de temperatura, então o corpo humano irradia radiação infravermelha. Ao aumentarmos a corrente elétrica que percorre o grafite, ele aquece ainda mais. O grafite aquece tanto que a radiação aumenta do infravermelho para o vermelho, que conseguimos ver. Se continuarmos aumentando a temperatura, o nosso pequeno pedaço de grafite continuará aumentando seu brilho, do vermelho para o alaranjado, do alaranjado para o amarelo. Dificilmente o grafite suporta temperaturas tão elevadas e acaba se quebrando. Porém se não quebrasse, poderíamos aumentar a temperatura ainda mais e veríamos ainda outras cores, como verde (o aço fundido, por exemplo, emite um pouco de luz verde, porém nossos olhos não conseguem perceber, um equipamento eletrônico, contudo, pode detectar a luz verde), e em temperaturas muito elevadas, também poderíamos ver o azul. A partir disso você deve ser capaz de perceber qual chama é mais quente, ao ver um fogão aceso e uma vela:



As partes **VERMELHAS** são a de temperatura menos elevada, depois as **ALARANJADAS**, seguido das partes **AMARELAS** e por fim, a parte mais quente da chama é a parte **AZUL**. Se você prestar atenção ao espectro eletromagnético que foi apresentado no texto de apoio da aula anterior (se você perdeu ou não encontrar esse texto, apenas “dê um google: espectro eletromagnético” e veja a imagem), você verá que as cores no espectro estão em ordem, bem como aqui no exemplo da chama, da de menor frequência e energia, porém maior comprimento de onda (vermelho) em direção ao azul, que tem uma frequência maior e mais energia, por isso é mais quente. Lembre-se que frequência tem a ver com ondas, porque a luz é uma onda, uma onda eletromagnética. Todas as ondas eletromagnéticas que você vê nesse espectro eletromagnético têm a mesma velocidade, que é a velocidade da luz (3×10^8 m/s). Assim, ondas de maior energia são aquelas que tiverem maior frequência. Essa relação entre energia e frequência foi a grande contribuição de Planck. Ele acabou determinando que a energia dos corpos aquecidos é descontínua, ou seja, é transmitida em pacotes, e que é proporcional à frequência (proporcional significa que ao aumentarmos a frequência, aumentamos a energia):

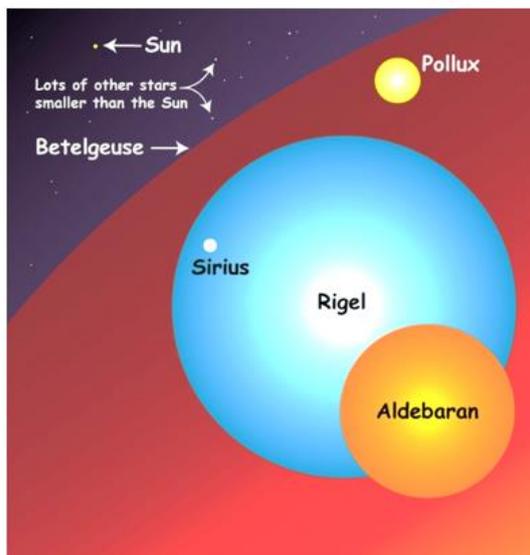
$$E = n h f$$

$E = \text{energia}$
 $n = 1, 2, 3 \dots$
 $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$
 $f = \text{frequência}$

Constante de Planck.
Um número muito
pequeno, porque a
Física Quântica estuda
tudo aquilo que é
muito pequeno.

Esse “ h ” é uma constante, ou seja, é um valor que nunca muda, permanece sempre igual. E “ n ” é geralmente igual a 1 (porque geralmente falamos de uma única onda, um pacote de onda), sendo assim, se pegarmos uma onda de frequência alta, significa que ela é mais energética. A onda ultravioleta, por exemplo, é bem mais energética que a onda de infravermelho, por isso os raios UV (UltraVioleta) são perigosos para o corpo humano, porque transmitem muita energia. Os raios X e os raios gama então, são mais energéticos ainda, porque tem as maiores frequências (lembra do Incrível Hulk? Ele virou o Hulk depois de entrar em contato com raios gama altamente energéticos).

Além disso, nós podemos relacionar a temperatura dos corpos com a cor. Um corpo de temperatura mais quente brilha mais (maior frequência), porque emite mais energia, como já vimos. É isso que permite aos físicos determinar a temperatura de uma estrela. Nenhum ser humano foi até o Sol para colocar um termômetro na sua superfície, nós sabemos a temperatura do Sol, por causa do seu brilho amarelado. Uma estrela denominada gigante vermelha, por exemplo, brilha menos do que o Sol e portanto é mais fria (o vermelho tem frequência menor do que o amarelo, portanto menor energia, pela relação $E = hf$, onde podemos usar $n=1$).



Veja como é pequeno o nosso Sol.
Você consegue dizer qual dessas
estrelas é a mais quente?

LISTA DE EXERCÍCIOS – FÍSICA QUÂNTICA

QUESTÃO 25 – UFRGS 2019 (Fácil)

Na coluna da esquerda, estão listados eventos ou situações físicas; na da direita, grandes áreas das teorias físicas.

- | | |
|---|--------------------------|
| 1. Descrição de sistemas que envolvam objetos que se movam com velocidades próximas da velocidade da luz. | (a) Física Clássica |
| 2. Descrição de fenômenos que ocorrem em dimensões muito pequenas, como as de um átomo. | (b) Física Quântica |
| 3. Unificação da Eletricidade e Magnetismo, conforme realizada por Maxwell. | (c) Física Relativística |

A alternativa que relaciona corretamente o evento ou situação com a área usada para descrevê-lo é

- (A) 1(a), 2(b) e 3(c).
 (B) 1(a), 2(c) e 3(b).
 (C) 1(b), 2(c) e 3(a).
 (D) 1(c), 2(a) e 3(b).
 (E) 1(c), 2(b) e 3(a).

QUESTÃO 25 – UFRGS 2012 (Fácil)

Assinale a alternativa que preenche corretamente as lacunas do enunciado abaixo, na ordem em que aparecem.

As reações nucleares



liberam energia e são, respectivamente, exemplos de reações nucleares chamadas e

- (A) fissão nuclear - fusão nuclear
 (B) fusão nuclear - fissão nuclear
 (C) reação em cadeia - fusão nuclear
 (D) reação em cadeia - fissão nuclear
 (E) reação em cadeia - reação em cadeia



QUESTÃO 24 – UFRGS 2012 (Média)

Assinale a alternativa que preenche corretamente as lacunas do enunciado abaixo, na ordem em que aparecem.

Uma característica importante das radiações diz respeito ao seu poder de penetração na matéria. Chama-se alcance a distância que uma partícula percorre até parar. Para partículas α e β de mesma energia, o alcance da partícula α é da partícula β . Raios X e raios γ são radiações de mesma natureza, mas enquanto os raios X se originam, os raios γ têm origem do átomo.

- (A) maior que o - na eletrosfera - no núcleo
 - (B) maior que o - no núcleo - na eletrosfera
 - (C) igual ao - no núcleo - na eletrosfera
 - (D) menor que o - no núcleo - na eletrosfera
 - (E) menor que o - na eletrosfera - no núcleo
-

QUESTÃO 23 – UFRGS 2015 (Média)

Assinale a alternativa que preenche corretamente as lacunas do enunciado abaixo, na ordem em que aparecem:

A incidência de radiação eletromagnética sobre uma superfície metálica pode arrancar elétrons dessa superfície. Este fenômeno é conhecido como e só pode ser explicado satisfatoriamente invocando a natureza da luz.

- (A) efeito fotoelétrico – ondulatória
 - (B) efeito Coulomb – corpuscular
 - (C) efeito Joule – corpuscular
 - (D) efeito fotoelétrico – corpuscular
 - (E) efeito Coulomb – ondulatória
-

TEXTO DE APOIO 3 – 16/10

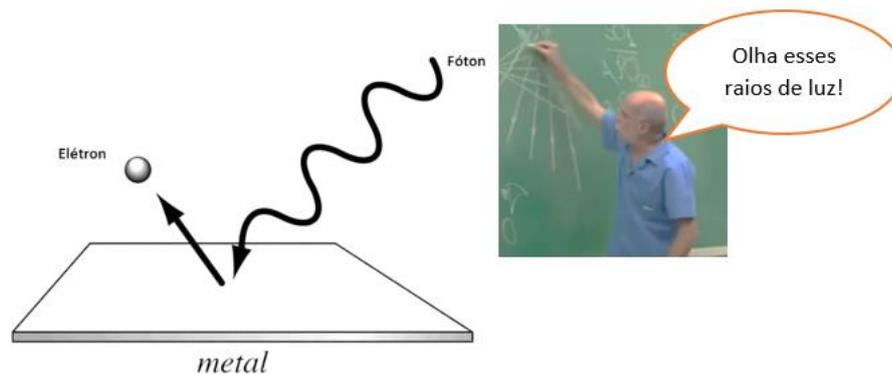
Continuando Física Quântica: Efeito Fotoelétrico



Como vimos nas aulas anteriores, o renomado lorde Kelvin teria dito no começo do ano de 1900 que “não há nada de novo a ser descoberto na física, atualmente”, sendo que ele deu essa declaração em um encontro da Associação Britânica para o progresso da Ciência. Kelvin dizia também que o que resta é a medição cada vez mais precisa daquilo que já conhecemos. Ele e outros cientistas da mesma época chegavam a dizer que a Física estava praticamente morta, sendo que faltavam apenas duas coisas para explicar: a Radiação Térmica de Corpo Negro (lembrem que para a Física, corpo negro é algo que tem a ver com absorção e emissão de radiação, certo?) e também o Efeito Fotoelétrico. Nessa época, cientistas como Kelvin achavam que esses dois tópicos teriam explicações muito simples e, quando fossem explicados, os físicos estariam “fechando o caixão” da física, que daí sim, não traria mais nada de novo e estaria definitivamente morta. Como já vimos nas nossas aulas, Kelvin estava enganado, porque o primeiro assunto mencionado, a Radiação Térmica de Corpo Negro, foi explicado pelo físico alemão Max Planck, quando ele conseguiu relacionar a energia que sai de corpos aquecidos com a frequência dessa radiação (brilho). Além disso, Planck chegou à conclusão que essa energia deveria ser propagada sob a forma de pequenos pacotes (por isso há um n naquela fórmula de energia que estudamos, $n=1$ significa um pacote, $n=2$ significa dois pacotes e assim por diante). Esses pacotes seriam, mais tarde, chamados de *fótons*. A luz, por também ser uma forma de radiação, é composta desses mesmos pacotes, ou seja, a luz também é composta de *fótons*. Com essa explicação para a Radiação Térmica, Planck recebeu o prêmio Nobel em Física e também é tido como o *pai da Física Quântica*. Sem dúvida ele foi um físico importante, que acabou mostrando que a Física ainda tinha muito com o que contribuir para a sociedade e a tecnologia!

Porém, faltava explicar ainda outro efeito, o Efeito Fotoelétrico. Esse fenômeno também foi explicado com o auxílio da Física Quântica (no sentido que irá mostrar que temos a quantização de alguma coisa – basta lembrar do significado literal do termo Física Quântica, que vimos na nossa primeira aula). Vários físicos tentaram explicar esse fenômeno (inclusive um físico chamado Hertz, que foi homenageado com seu nome para a unidade de frequência). Porém, Hertz e outros físicos que estudaram o efeito fotoelétrico não conseguiam explicá-lo satisfatoriamente. A explicação mais adequada foi fornecida por um jovem físico judeu alemão, Albert Einstein. Vamos agora entender o que é esse tal efeito fotoelétrico e qual foi a contribuição do jovem Einstein.

Efeito Fotoelétrico significa, literalmente, o surgimento de eletricidade (efeitos elétricos) a partir da luz (foto, do grego, significa luz). Podemos representar esse efeito conforme a imagem a seguir, na qual raios de luz (essa luz pode ser visível, ou não, como é o caso da luz ultravioleta) incidem sobre uma superfície metálica, podendo arrancar alguns elétrons de tal superfície. Lembrando que os metais têm elétrons livres para a condução, por isso esse efeito de arrancar elétrons é mais visível com os metais – os semicondutores, contudo, também apresentam essa propriedade. Sem luminosidade não são condutores, porém com a incidência de luz, tornam-se condutores, daí o nome semicondutor. Materiais como o Silício são semicondutores e são amplamente usados nas células fotoelétricas modernas.



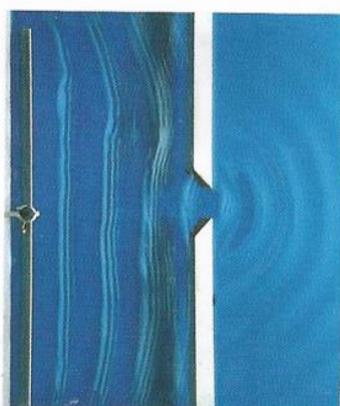
Representação simplificada do efeito fotoelétrico.

Esse efeito de arrancar elétrons era conhecido por Hertz e seus colaboradores, porém eles não conseguiam entender e explicar o que acontecia por meio da física clássica. A grande “sacada” de Einstein foi relacionar a ideia de Planck com o efeito fotoelétrico, destacando então que esse efeito acontece por a luz também ser composta de pequenas quantidades / corpúsculos (mais tarde chamados de *fótons*), que interagem com os elétrons livres dos metais tal qual uma bola de bilhar ao colidir com outra. Quando o *fóton* colide com o elétron, este é imediatamente arrancado do metal (Hertz não imaginava que a luz interagindo com o elétron podia se comportar como uma pequena bola de bilhar – uma pequena quantidade – por isso não conseguia explicar o porquê de o efeito ser imediato). Além disso, Einstein defendeu que a energia desses pequenos pacotes deveria estar relacionada à frequência. Logo, ao incidir uma luz de maior frequência, como o ultravioleta, os elétrons arrancados do metal deveriam emergir com mais energia, com mais rapidez. É por essa razão que ao colocarmos os equipamentos com células fotoelétricas diretamente sob a luz do Sol, a resposta dos mecanismos elétricos se dá de maneira mais intensa, uma vez que a luz do Sol contém também luz ultravioleta, coisa que não acontece com a luz proveniente de uma lanterna (fizemos essa tentativa em aula, a luz da lanterna não fazia muito efeito sobre os equipamentos, agora a luz do Sol fazia uma grande diferença).

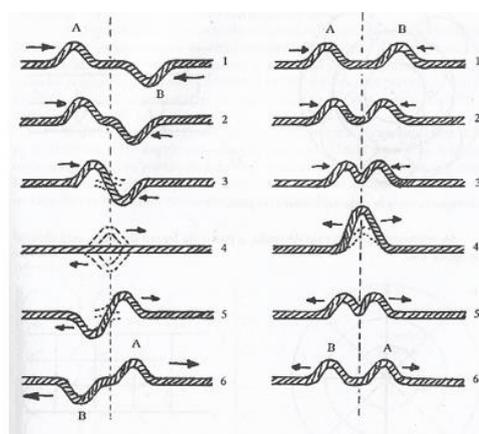
Essas explicações feitas por Einstein em 1905 (cinco anos após Planck) para o efeito fotoelétrico – luz como sendo composta de pequenas quantidades, os *fótons*, com energia proporcional à frequência – rendeu à Einstein seu prêmio Nobel em Física e,

juntamente com a explicação da Radiação de Corpo Negro por Max Planck, foram os dois grandes marcos que definiram o começo da Física Quântica.

A consequência imediata da explicação de Einstein foi o surgimento de uma nova questão: o que é a luz afinal? Será ela composta de pequenos pacotes, como bolinhas minúsculas (os *fótons*)? Ou ela é uma onda? Afinal de contas, nós dizemos que a luz é uma onda eletromagnética... Ela é as duas coisas, simultaneamente! A luz é composta de pequenas partículas que apresentam um comportamento ondulatório. Essa característica da luz é conhecida como dualidade onda-partícula. Então, a luz, por ser também uma onda, tem características de onda. Mas quais são essas características? As mais marcantes são as seguintes: *difração* e *interferência*.



Difração



Interferência

Apêndice I: Relatório de atividades do MD

Relatório das atividades desenvolvidas ao longo do MD, tomando como base anotações do diário de bordo do pesquisador e transcrição de áudios das aulas. Algumas falas que se relacionam de maneira direta com nossas questões de pesquisa são destacadas em negrito e em itálico.

Preparação das atividades – Dia 1- 27/08 (terça-feira):

Primeiro dia oficialmente na escola para conversar com a professora titular de Física para organizar possíveis datas para o estágio. Ela oferece as quintas-feiras onde ela tem dois períodos de Matemática, porém não há problema em ceder esses dois períodos para aula de Física, uma vez que ela é a professora de Física e de Matemática nos terceiros anos. Na quinta que se segue a esta data não será possível em decorrência de uma gincana que estará acontecendo. Está marcado, então, para começar as atividades no dia 05/Set, quinta-feira. Como ela tem aula nesse dia com o terceiro ano, ela faz uma rápida apresentação minha para a turma.

Preparação das atividades – Dia 2 – 29/08 (quinta-feira):

Com as datas já devidamente agendadas, visito a sala de ciências do colégio, no mesmo prédio de sala de aulas do terceiro ano, a fim de planejar algumas atividades para o MD. Nesse dia não há alunos na escola em decorrência de uma gincana, que é realizada em outra localidade. Os professores, contudo, estão presentes para reuniões e preparação de atividades.

Enquanto a reunião acontece, visito a sala de ciências, que é um pouco mais ampla do que a sala de aula regular, sendo que os alunos do terceiro ano da manhã nunca a visitaram. O ambiente está um pouco empoeirado, porque há muito tempo não é usado.



O Laboratório de Ciências da Escola³³

³³ Fotografia capturada pelo autor (2019).

Há na sala de ciências materiais variados. Uma lista dos materiais relacionados ao Ensino de Física é indicada na sequência (a grande maioria dos materiais está em boas condições, alguns precisando de pequenos reparos):

- 16 microscópios óticos (não eram usados há muito tempo, estavam um pouco sujos);



Dos 16 microscópios, apenas cinco estavam funcionando adequadamente.³⁴

- Lâminas Permanentes de Histologia (com a amostra da epitele de uma traqueia e de um coração, do miocárdio) e lâminas de histologia limpas, com lamínulas, para montagem de amostra com células de casca de cebola. Estas últimas elaboradas pelo pesquisador, com as lâminas e lamínulas do colégio.

- Um quite com lâminas, lamínulas e óleo de imersão para montagem de amostras para uso no microscópio;



Quite com lâminas de tecidos epiteliais do laboratório de ciências.³⁵

- Uma fonte de tensão variável analógica (até 30V);

³⁴ Fotografia capturada pelo autor (2019).

³⁵ Fotografia capturada pelo autor (2019).



Fonte de tensão do laboratório de ciências.³⁶

- Dois multímetros digitais;
- Um amperímetro e um voltímetro analógicos;
- 2 ferros de solda acompanhados de um pouco de fio de estanho para solda;
- 20 motores elétricos pequenos;
- Seis copos de béquer;
- Demais pequenos itens e itens não identificados;

Prossigo com o preparo das amostras no microscópio para a 1ª Aula, em que se abordaria, entre outras coisas, escalas de medida. Não é possível visualizar nenhuma imagem com foco com o microscópio, porque, de fato, focalizar uma imagem em um microscópio desse tipo (modelo segundo manual o qual tenho cópia, com ampliação de até 500 vezes) não é uma tarefa trivial para quem não tem nenhuma familiaridade com esse tipo de equipamento. No dia seguinte, com o auxílio de uma professora de Biologia, é finalmente possível enxergar as amostras, a saber, três amostras de cascas de cebola (preparadas pelo pesquisador), uma amostra de células epiteliais de traqueia e uma amostra de células epiteliais do coração, do miocárdio.

Após essa preparação do material e visita à sala de ciências, com o término da reunião, converso brevemente com a professora titular de Física e com a Vice-diretora sobre a possibilidade de uma visita da turma de terceiro ano da manhã à Universidade, para conhecerem especialmente o Instituto de Física. Elas parecem bastante interessadas com essa possibilidade, sendo que a professora iria conversar com os alunos sobre a possibilidade dessa visita acontecer, qual o interesse e condição, sobretudo financeira, por parte dos alunos.

Preparação das atividades – Dia 3 – 03/09 (terça-feira):

Este dia é dedicado apenas para ajuste dos microscópios, agora de maneira muito mais rápida e efetiva, pois estou acompanhado de uma professora de Biologia, com mais familiaridade com o equipamento. É necessário colocar a lente objetiva com aumento de 100 vezes, mais um aumento mínimo, de cinco vezes na ocular, além de alguns

³⁶ Fotografia capturada pelo autor (2019).

pequenos ajustes de foco. Dos dezesseis microscópios, cinco estão preparados para a atividade da primeira aula do módulo didático (MD).

Primeiro dia - 05/09 (quinta-feira):

A aula de Física inicia às 10:45. Em um primeiro momento a professora faz a chamada via aplicativo. Uma apresentação inicial do pesquisador é realizada, em que apresento a razão de minha presença aqui e por quanto tempo permanecerei na escola. Ao mencionar a Universidade, os alunos então trazem à tona a conversa que tiveram com a professora anteriormente, sendo que estão todos aparentemente empolgados com a ideia de visitar a Universidade, alguns apenas destacam a dificuldade de custos com o transporte, como sendo um empecilho que teremos que contornar.

Após a breve apresentação, prossigo com a aplicação do questionário de meia página, o mesmo aplicado no ano anterior, para mapear a concepção dos alunos, e perceber se está diferente e, se sim, em qual medida.

Começo com o esclarecimento da etimologia do termo “Física Quântica”. Alguns alunos ficam contentes que conseguem relacionar quântica à “quantidade”. Fazemos o contraponto da Física com a Biologia, porque os termos, etimologicamente são semelhantes. Divido o quadro sempre em duas partes.

Sempre procuro deixar a aula o mais dialogada possível, pergunto sempre o que têm em mente sobre alguma palavra ou conceito novo que apresento. Em especial, após iniciar a ideia de quantização no começo da aula, cito e escrevo no quadro, alguns exemplos de coisas quantizáveis, como o dinheiro, que eles respondem imediatamente que o *quantum* é o centavo. Porém, ao perguntar sobre o *quantum* da eletricidade, as respostas são mais interessantes. “Volt”, diz um aluno, ao qual respondo que não e explico rapidamente o porquê. “Hertz”, diz outro. Outro aluno, diz “Ampère”, onde também falo que não e explico, percebo aqui que eles começam a sentir frustrados, dizem, “nossa, a gente é muito burro”. Tento valorizar as respostas, “não, calma, chutando uma hora a gente acerta”, além do mais, porque com a explicação de que Ampère é carga por segundo, que é a corrente, posso finalmente mencionar que o *quantum* de corrente elétrica é então a carga elétrica fundamental, que é a carga dessa quantidade mínima, o elétron. Num grande coral todos dizem “ahhh, era isso”, porque então fica visível que era algo que eles já tinham visto e até entendiam, só não conseguiam fazer a ligação.

Depois disso, coloco no quadro a frase do Feynman “se você acha que entendeu Física Quântica, é porque não entendeu ainda”, que eles acham bem interessante, “eu na vida”, disse um, “isso me representa em português”, disse outro. Ao mencionar a participação de Feynman no Projeto Manhattan, alguns alunos lembram do Dr. Manhattan (personagem de ficção).

Com essa frase de Feynman discuto um pouco sobre uma possibilidade de verificarmos se uma pessoa que fala sobre quântica é uma pessoa honesta ou um charlatão. Pergunto se eles já teriam ouvido falar de “coach quântico”. A grande maioria responde que não, ou faz uma cara de espanto e dúvida. Uma menina ainda diz:

Aluna An: *Minha irmã comprou um colchão bioquântico, eu disse pra ela que isso era jogar dinheiro fora. Mas... ela comprou mesmo assim.*

Isto é uma constatação interessante. Os alunos, ao menos desta turma, se mostram como bastante esclarecidos sobre misticismo ou sequer possuem concepções sobre as ideias de misticismo, corroborando uma possível noção de que o misticismo e as ideias errôneas sobre a ciência aparecem com menos intensidade naqueles alunos que possuem, de certa forma, menos capital econômico ou cultural, pois esses são fatores que podem influenciar a formação da representação social de um grupo (capital econômico e social mais elevado pode fazer, por exemplo, que os alunos frequentem livrarias maiores, onde obras de autoajuda que utilizam o título de Física Quântica podem ser encontradas).

Prossigo com a discussão de séries e filmes em que aparecem o termo quântica. Como era de se imaginar, os alunos lembram facilmente do filme dos Vingadores, enfatizando a questão da viagem no tempo através do reino quântico. Converso brevemente sobre a impossibilidade desse recurso utilizado no filme e também que a viagem no tempo em outro filme (animação) de heróis, *Flashpoint*, também se utilizava dessa noção. Reforço que as duas situações são igualmente impossíveis, mas a animação da DC ao menos faz um pouco mais de sentido. Porém, uma aluna leva um ponto interessante, trazendo novamente à tona a frase do Feynman, de que se nós não entendemos totalmente a quântica, pode ser que no futuro a viagem no tempo seja algo possível. Segue-se a fala da aluna:

Aluna Ty: *Mas se ele, o Feynman, disse que ‘quem acha que entendeu a física quântica, é porque não entendeu’, será que a gente não pode dizer que os cientistas só ainda não entendem como fazer a viagem no tempo? E que talvez um dia isso seja possível?*

Então, para não cairmos em confusões, concordamos que com o entendimento que temos hoje, com as leis que temos hoje, a viagem no tempo é impossível. Talvez no futuro possa ser uma possibilidade, mas com o que conhecemos hoje é absolutamente impossível.

Já que a conversa está ainda nos remontando ao Feynman, coloco que ele trabalhara na *Caltech*. Claro, os alunos nunca haviam ouvido falar no Instituto de Ciência e Tecnologia da Califórnia, porém, conheciam bem um personagem fictício, o Sheldon, que trabalhara nesse instituto, uma vez que a série da qual ele faz parte, e que alguns responderam no teste de evocação de palavras, se passa em muitos momentos ali. Uma ligação um pouco forçada, mas ainda sim interessante, pode ser feita com isso. Pois, ainda no ano anterior quando eu aplicara os questionários iniciais para alguns alunos, havia alguns que estavam muito interessados na relação entre a série *Stranger Things* e a Física. Digo a eles, agora, neste MD (pois alguns alunos que haviam questionado no ano passado estão nesta turma de agora) que o Sheldon então é um físico, que pesquisa no *Caltech* uma teoria da física que tem importantes relações com a Física Quântica, a teoria das cordas. Evidentemente não posso introduzir este tema, mas abordo um importante ponto da teoria, que defende a existência de 11 dimensões (10 espaciais e uma temporal) – mas evidentemente, antes tendo esclareço que vivemos num espaço de 4 dimensões – e pergunto: “Ok, 11 dimensões, mas como é onze em inglês?” *Eleven*,

eles respondem, e se dão conta da possível relação da série como esse tópico em física. Enfatizo que possivelmente devem existir muitas outras relações, mas esta é a mais clara que consegui notar, até porque informo nunca assisti a série.

Finalizo esta discussão sobre a relação Quântica-Cultura, e retomo novamente o significado do termo “Física Quântica”. Para explicar de maneira simples, defendo apenas que a “Física Quântica é o que estuda as coisas muito pequenas”. Mas quão pequenas? Com esta pergunta encerro o primeiro período de atividades (adentro um pouco no segundo período). Para entender o quão pequenas as coisas podem ser e o que a quântica realmente estuda começo o segundo período de atividades no laboratório de ciências. A maior parte dos alunos está empolgada com essa visita à sala do laboratório, uma vez que nunca a tinham visitado, mesmo ela sendo apenas no andar de cima, muito próximo da sala deles.

Chegando lá, dou utilidade aos microscópios e abordo as unidades de medida. Após cerca de 10 minutos até todos conseguirem observar o que estava nos microscópios, explico o que são as imagens que eles estão visualizando e tomo o exemplo da célula vegetal da casca da cebola, enfatizo que a estrutura retangular que eles conseguem ver, é na verdade a célula do vegetal, e o seu tamanho é um micrômetro. Pergunto se eles sabiam o que era um micrometro e um aluno chuta “1mm dividido por mil!”, penso um pouco, e respondo que está certo. Ele foi aclamado pela turma, aparentemente porque é um aluno que tem alguma dificuldade com exatas.

Prossigo então esclarecendo o que é o micrometro em comparação com o metro e que, apesar de pequenas, as células ainda são algo grande para a quântica. A Física Quântica se concentra em coisas a partir, ou em torno, do nanômetro. Eles ficam surpresos por serem coisas tão pequenas. Se são coisas tão pequenas, defendo, colocando no quadro a fração para o micro e para o nano, que deveremos dar um jeito de simplificar essas contas com números tão grandes no denominador, para isso argumento que vamos usar notação científica.

Assim, prossigo com a tabela com fatores, prefixos e símbolos, trazendo exemplos para as diferentes situações (TB, GB, Mega-hertz, micro Faraday – citando aqui capacitores e mostrando aos alunos alguns capacitores onde as unidades ficam visíveis, impressas nas laterais de capacitores de tamanho médio, pico/femto segundos, entre outros) e dando certa ênfase para o “nano”, como apresento a seguir:

Fator	Prefixo	Símbolo
10^{12}	Tera	T
10^9	giga	G
10^6	mega	M
10^3	quilo	k
:	:	:
10^{-2}	centi	c
10^{-3}	mili	m

10^{-6}	micro	μ
10^{-9}	nano	n
10^{-12}	pico	p
10^{-15}	femto	f

Por fim, trago também o que é o Angstrom, deixo por fim o exercício sobre o Raio-X. Finalizo entregando as folhas, e libero-os três minutos antes.

Segunda aula: 25/09 - Uso de diário de bordo.

Antes de iniciar a aula, com ministração do conteúdo, entrego aos alunos o breve questionário, porque houve um bom número de alunos faltantes na aula anterior, além do que alguns esqueceram de entregar. Uma conversa entre três alunas chama a atenção pela relação com a teoria das representações sociais e também, em menor medida, com a teoria epistemológica de Feyerabend, ao menos no que se refere à propaganda:

Aluna Fe: *Será que eu coloco coach quântico.*

Aluna Ke: *Imagina... colocar coach quântico nesse negócio.*

Aluna Ed: *Sim, que absurdo.*

Aluna Fe: *Tá bem não coloco.*

Após a aplicação do questionário, comentário do texto:

Aluno Ga: Eu não entendi esse exemplo do ônibus e do carro.

Pesquisador: [releitura com calma do texto sobre descontínuo e contínuo]. *Então agora eu queria que vocês me ajudassem a montar uma tabelinha [no quadro], um quadro, que vai ser uma espécie de lista de todos os conteúdos que nós vemos no colégio. Vamos lá, povo, que conteúdos vocês se lembram?*

Aluno Ga: *Temperatura.*

Pesquisador: *Muito bem, esse é um tópico. Mas temperatura entra em termodinâmica. É um dos assuntos dessa área maior, ou seja, escalas de temperatura faz parte do assunto termodinâmica. Vocês não conseguem lembrar de mais coisas?*

Aluna Ke: *Ah gente, vamos lá, e aquilo do Deus vê tudo?... Bah, a gente é muito burro sor.*

Pesquisador: *Não, nada a ver irmão, é só questão de lembrar dos nomes. Bom, vocês falaram de distância, de tempo, de velocidade, mas em que conteúdo isso entrava? Cinemática, gente, o nome do conteúdo era cinemática.*

Pesquisador: *E agora o que moderna lembra?*

Aluno Js: *Lembra algo que é moderno.*

Pesquisador: *Obrigado, meu caro capitão óbvio.*

Aluno Js: *De nada!*

Pesquisador: *Mas moderna lembra algo que é, além de moderno, recente, atual, não é? Em que ano você acham que surgiu a Física Moderna?*

Aluno Js: *Sei lá... 1900!*

Pesquisador: *Caraca, acertou mesmo! Foi nessa data mesmo, é isso aí. Está certo.*

Aluno Jo: Também assim não vale, ele é Jesus [apelido do colega], sabe de tudo.

Professor: Sim, é verdade, ele pode assistir tudo lá de cima, de camarote. É claro que ele tinha que saber.

Depois desta tabela construída, conversamos que a Física Quântica não é melhor que a Física Clássica, apenas que trata de um domínio diferente, daquilo que é muito pequeno, na faixa dos nanômetros, por exemplo. Física Quântica e Física Clássica são coisas diferentes, não que uma seja melhor que a outra, adotando assim, nosso discurso sobre epistemologia de Feyerabend, na ideia de *incomensurabilidade*:

Pesquisador: *Excelente, então essa é a diferença entre a Física Clássica e a Física Moderna, e a Física Quântica faz parte desse conteúdo chamado Física Moderna. A Física do Newton explica muito bem as coisas que acontecem em velocidades não muito altas (como o movimento de um automóvel ou skate), porém quando falamos de coisas muito pequenas ou muito rápidas, a física clássica falha em explicar, daí usamos a quântica, por exemplo. Isso significa que a Quântica seja melhor que a física de Newton? Não. Significa que tratam de coisas diferentes. Elas lidam com coisas diferentes. Não dá para dizer que a quântica seja melhor que o outro lado [da tabela], ou que é mais importante, ou que um ou outro seja mais útil. Simplesmente são coisas diferentes. É como comparar o Cristiano Ronaldo com o Messi. Quem é melhor para vocês? Eu não acho que dá para dizer quem é melhor. O que a gente pode dizer é que gosto mais do Messi ou do Cristiano Ronaldo por tais e tais razões.*

Aluno Al: *Não, mas o Messi é melhor.*

Pesquisador: *Bom, eu acho que os dois são igualmente bons, mas que têm características diferentes. Mas isso é só uma analogia, uma comparação para entender isso da Física. Ambas foram ou são muito importantes para a humanidade. São igualmente importantes...*

Sigo após essa discussão inicial com o começo de uma linha do tempo para a Física Quântica, começando com Planck e Einstein e seguindo para outros físicos e acontecimentos marcantes da velha mecânica quântica, entrando com alguns exemplos um pouco mais atuais como a criação dos transistores. A seguir apresentamos uma tabela com as datas e acontecimentos que procuramos elucidar em aula:

ANO	Acontecimento
1900	Max Planck - Nasce a Física Quântica com a quantização da energia da cavidade.
1905	Albert Einstein - Quantização da luz: Fótons.
1913	Niels Bohr - Modelo atômico de Bohr.
1925	Schroedinger - Desenvolveu a matemática; - Paradoxo do gato de Schroedinger
1926	Dirac - Desenvolveu a matemática; - Introduziu o conceito de antimatéria.
1929	De Broglie - Relacionou a quântica com a ondulatória
1939	Oppenheimer/Feynman - Começa o projeto Manhattan.
1947	Cientistas da AT&T - Criação do transistor (usa o “tunelamento quântico”)

Quando mencionado o nome de Planck, *uso em aula a autobiografia de Planck, enfatizando a origem luterana deste, que se manteve durante toda a vida*. Comento também as muitas tragédias que se sucederam na vida de Planck, sobretudo pela passagem das guerras e a perda dos filhos.

Quando menciono o paradoxo do gato de Schroedinger como um evento marcante na história da Física Quântica, uma aluna mostra não entender qual era a necessidade de inserção deste paradoxo:

Aluna Br: Não consigo entender o paradoxo do gato. Por que o Schroedinger precisou usar esse exemplo do gato?

Pesquisador: [Explicação dos caminhos de Feynman na situação de elétrons, em que não sabemos a posição exata dos elétrons, mas é preciso falar em probabilidades, com o elétron estando em dois locais diferentes, com probabilidades diferentes. Tal qual o gato está morto e vivo, com uma dada probabilidade].

Aluna Br: [concordando e aparentando entender] *agora faz sentido*.

O último cientista que menciono é Dirac, mas o período termina quando iríamos começar a discutir a contribuição de Dirac.

Terceira aula, dia 26/09 – Transcrição de áudio.

Faço a chamada e confiro os alunos que trouxeram os documentos (autorização para gravar os áudios e coletar dados).

Pesquisador: *Vamos começar, estamos falando da Física Quântica? Lembra o que falamos ontem? A gente estava falando de algumas datas importantes na Física Quântica, né? De 1926, vocês lembram qual é o nome do carinha?*

Aluno Ma: *O cara do gato?*

Aluno El: *Não, era o Dirac.*

Pesquisador: *Em 1926, o Dirac criou o conceito de antimatéria. Vocês dão um palpite do que será que é antimatéria?*

Aluno Jo: *É tipo... eu vi um filme sobre isso. É uma parada muito louca, tinha o antipróton, o antielétron.*

Pesquisador: *Isso aí. A questão da... o que nos constitui, o nosso mundo, é matéria, né? Coisas que tem massa. A antimatéria...*

Aluno El: *É um buraco negro?*

Pesquisador: *Um buraco negro é matéria. O que acontece é que um buraco negro é tão grande, tão denso na verdade, que ele suga até a luz e não deixa a luz escapar. Por isso que ele é escuro. Mas não é antimatéria, tá? A antimatéria, ela é muito rara no universo, quase não existe. Mas quando o Dirac criou o conceito, os físicos conseguiram criar a antimatéria em laboratório.*

Aluno Cl: *Conseguiram??*

Pesquisador: *Conseguiram. Só o que que acontece, a antimatéria justamente, isso que o Aluno Jo falou, é tudo o inverso. Se a gente pega o átomo mais simples que existe... qual é o átomo mais simples que existe?*

Aluno Cl: *Hidrogênio.*

Pesquisador: *O Hidrogênio [desenhando no quadro, o núcleo e um elétron na volta]. O Hidrogênio tem um próton no núcleo dele e um elétron girando em volta, né? O próton é positivo e qual é a carga do elétron? Vocês se lembram?*

Alunos: *Negativo.*

Pesquisador: *Negativo. Carga negativa. Vamos supor que ele está girando num dado sentido, em torno do núcleo [fazendo desenho no quadro]. Agora, o que os físicos conseguiram criar foi um antiátomo de Hidrogênio, ou seja, um antihidrogênio. O que é um antihidrogênio? Bom ele tem também um núcleo. Ele é muito parecido, só que o núcleo dele é negativo. É um antipróton que nem o Aluno Jo falou. Porque os prótons são as cargas positivas do núcleo. E quando a gente inverte a carga, então a gente tem um antipróton. E girando em torno desse núcleo a gente tem um antielétron, que nada mais é do que o elétron com carga positiva. Então [desenhando] se o elétron estava girando nesse sentido no átomo de hidrogênio normal, agora ele está girando no sentido contrário. É tudo o inverso. Só o que que acontece de legal, digamos assim,*

com a antimatéria. O que vocês acham que vai acontecer se eu colocasse bem próximo um átomo de hidrogênio de um antihidrogênio?

Aluno El: *Eles se autodestroem.*

Pesquisador: *Eles se anulam e se destroem, eles viram, tipo, energia, viram um flash de luz e somem. Então, colocando os dois juntos (desenhando) eles desaparecem e viram energia, viram luz. Isso serviu de base para uma história de super-heróis da DC comics, não sei se vocês já ouviram falar da crise nas infinitas terras, onde vai ter agora na série do Arrow. O que acontece lá é o que o vilão lá controla a antimatéria. Só que naquela história ele quer transformar todo o universo em antimatéria. Vocês acham que isso seria possível?*

Aluno El: *Talvez...*

Pesquisador: *Não seria possível. Porque ele controla a antimatéria, quando ele chegasse perto da matéria, o que ia acontecer?*

Aluno El: *Ia virar tudo luz.*

Pesquisador: *Ele ia desaparecer. Então essa história da DC, apesar de ser muito legal, ela não está muito correta do ponto de vista científico. Mas é uma das coisas mais interessantes da Física Quântica isso... Vou colocar só mais duas datas para a gente encerrar essa parte de datas. Mais três, mais três. Em 1929... bom, vocês entenderam essa parte da antimatéria? A antimatéria é muito rara no universo, por isso que não acontece isso, de estar toda hora liquidando matéria com antimatéria. Ela existe, mas não conhecemos direito, ela não está perto de nós para aniquilar toda a matéria... Vamos para a outra data aqui. Tem um nome de um físico que é De Broglie.*

Aluna Br: *De?*

Pesquisador: *De Broglie. É que nem aquele jogador do Boca Juniors, o de Rossi. O “de” faz parte do nome dele. De faz parte do nome desse cara aqui, o de Broglie.*

Aluna Fe: *Mas não existiu nenhum físico brasileiro famoso aí?*

Pesquisador: *Ah sim, o César Lattes é um. Ele quase ganhou o prêmio Nobel. Mas ele não ganhou o prêmio Nobel de física...*

Aluna Fe: *Porque ele era brasileiro.*

Pesquisador: *É... eles resolveram dar o prêmio para um francês eu acho. E tem um professor de Física da UFRGS, que ajudou a pesquisar aquelas memórias HD, permitindo transformar em memória SSD. Vocês estão ligados o que é SSD? A SSD é uma memória melhor, que não tem aqueles discos rígidos nos computadores. Ele ajudou a pesquisar e ajudou bastante a desenvolver isso. Só que ele também não ganhou Nobel, também por ser brasileiro. Preferiram dar o prêmio para um belga eu acho.*

Aluno: *Não tem outros?*

Pesquisador: *Que eu saiba esses dois é que chegaram mais perto. Só que daí, tem algumas pessoas que falam que o Brasil não tem que investir em ciência mesmo porque não ganhou nenhum prêmio Nobel, sabe? Isso é um absurdo. O brasileiro não ganhou*

o prêmio Nobel, porque o comitê não escolheu dar para os brasileiros, escolheu outros, de outros laboratórios. Dizer que o Brasil não desenvolve porque não ganhou o prêmio Nobel é uma mentira, de certa forma. É triste, mas fazer o quê, temos que continuar... Bom, o de Broglie ficou famoso porque relacionou ondulatória como a quântica. A gente não vai estudar ele agora, mas eu gostaria que vocês anotassem o nome dele, porque o que esse rapaz fez a gente vai ver lá no Instituto de Física, no dia que a gente for na UFRGS. Então eu gostaria que vocês deixassem esse carinho de molho... Em 1939... só faltam mais duas datas, se vocês não gostam muito de datas, está chegando perto do final... foi a vez do Oppenheimer e também de outro físico que a gente já viu, na primeira aula, Feynman, ficarem famosos. Vocês lembram porque eu falei do Feynman na primeira aula?

Aluna Ma: *Não lembro de nada.*

Aluna Tay: Ai, o que disse que se você acha que entende quântica é porque não entendeu.

Pesquisador: Isso, também. E ele ganhou o prêmio Nobel de física. Mas uma coisa que ele fez em 1939, junto com o Oppenheimer, é que criaram, estavam, no projeto que criou as bombas atômicas. Qual é o nome do projeto?

João: Projeto Manhattan!

Pesquisador: *Projeto Manhattan.*

João: *Nunca mais vou esquecer.*

Pesquisador: *Bom, para quem não lembra, ou não veio nas primeiras aulas, o projeto Manhattan foi o projeto que criou as bombas atômicas e o Oppenheimer era o líder, o Feynman era como um dos ajudantes dele, um dos físicos envolvidos... Tá, uma última data que eu queria colocar é 1947, depois da Segunda Guerra Mundial. Nesse aqui foram vários líderes, não vou colocar o nome de cada um deles, mas vou colocar aqui (anotando no quadro) que são cientistas de uma empresa, não sei se vocês já ouviram falar da empresa AT&T.*

[momento ruim de ouvir falas dos alunos, muitas crianças pequenas passando perto da sala gritando].

Pesquisador: *A AT&T é uma das mais ricas do mundo e ela comprou recentemente a Warner Bros e a HBO por 107 bilhões de dólares, se não me engano. Para vocês terem uma ideia, o que um país como o Brasil investe em ciência ou educação por ano, é no máximo cinco bilhões de reais, então isso é dinheiro pra caramba... Bom, mas aqui em 1947 a AT&T ainda era uma empresa pequena e esses cientistas ligados a ela foram responsáveis pela criação do transistor. Vocês já ouviram falar em transistor? (sem resposta da turma). Bom, eu estava catando umas sucatas, e isso aqui é uma memória RAM de um computador, acredito, e tem estes vários pontos pretos aqui, já viram eles alguma vez? Vocês já abriram algum computador alguma vez e viram esses carinhos pretos aqui? Esses caras aqui são os tais dos transistores. O transistor é um equipamento eletrônico que usa uma propriedade da Física Quântica que é o tunelamento quântico. O que vocês acham que é tunelamento?*

Aluna: Ai não sei, alguma coisa com túnel.

Pesquisador: É uma boa ideia. Que nem quando eu perguntei o que vocês achavam o que era Física Moderna, daí o cara me disse que é algo moderno. Bom, eu vou simplificar bem rápido o que é tunelamento. (desenhando). Vamos pensar que aqui é o nível zero, tipo o chão, de um equipamento eletrônico. Daí depois eu tenho uma barreira, pode ser um plástico que não conduz, uma bolha de ar, alguma coisa assim, tanto faz agora. Daí o nível zero continua pra cá (esquerda) e pra lá (pra direita no desenho, depois da barreira) e isso aqui no meio é uma barreira. O que tem nesses circuitos eletrônicos? Qual é a quantidade mínima que nós vimos que constitui a eletricidade? Andando por lá?

Aluno El: Elétrons.

Pesquisador: Elétrons. Então eu vou ter um elétron perambulando por lá. E o elétron pode ser encarado mais ou menos aqui como uma bolinha, o que vocês acham que se eu jogar uma bolinha contra uma barreira, contra um muro, o que vai acontecer?

Alunos: Vai voltar.

Pesquisador: Vai voltar. Que nem quando eu chuto uma bola numa porta, ela volta. E a Física Clássica, aquela Física que a gente viu do lado esquerdo da tabela, diz que é isso mesmo que vai acontecer, que vai voltar. Só que olha que interessante o que a Física Quântica diz... ela diz que existe uma pequena **probabilidade** do elétron tunelar, ou seja, atravessar essa barreira. Ele consegue atravessar, ele aparece do outro lado normalmente. Que doido isso né? É como se eu pudesse chutar uma bola contra uma parede e de repente ela pudesse aparecer do outro lado.

Aluna Br: Quê?

Pesquisador: Tunelamento quântico é isso. Como seu eu pegasse uma bola, jogasse contra uma parede e ela aparecesse do outro lado da parede.

Aluna Br: Tá mas isso é impossível de acontecer com uma bola, ela não vai aparecer do outro lado.

Pesquisador: Não, é porque tunelamento quântico (destacando quântico no quadro), o que era quântica?

Aluno Ro: Estuda as coisas muito pequenas.

Pesquisador: *Isso. O elétron é pequeno? É muito pequeno. Então isso de atravessar barreiras acontece só nessas dimensões muito pequenas, como com um elétron, nível atômico. Então existe uma probabilidade, uma pequena probabilidade, de que o elétron atravesse a barreira. Não sei se vocês se lembram, mas a gente falou de probabilidade em um momento da aula passada, quando falamos do gato de Schroedinger. Mas o que é interessante aqui é que falamos de probabilidade, quando o elétron se encontra com uma parede, não é 100% de certeza que ele vai atravessar, é uma pequena probabilidade.*

Aluno Js: *É alta? É baixa?*

Pesquisador: *É pequena. Quanta mais larga a barreira, menor a probabilidade tá? Mas olha só, essa palavra, probabilidade, é uma palavra que está muito presente na Física Quântica. A gente sempre trabalha com probabilidade, não muitas certezas. Isso foi o que deixou o Einstein muito incomodado, porque... não sei se vocês já ouviram falar aquela frase que o **Einstein disse, que Deus não joga dados.***

Aluno Js: *Sim, sim.*

Pesquisador: *Ele disse isso porque ele não aceitava que a natureza se comportasse dessa maneira. É como se fosse um jogar de dados. Quando eu jogo um dado, tem uma probabilidade de dar qualquer número. Einstein queria que falássemos de certeza, coisas bem determinadas. Einstein morreu e não conseguiu provar o contrário. Na Física Quântica nós sempre trabalhamos com probabilidades das coisas acontecerem. E o **Einstein era um cara muito religioso**³⁷, **ele gostava de relacionar tudo com teologia, de certo modo...** Tá mas olha só, a gente falou várias vezes de ondulatória, falamos de ondulatória na aula passada, falou de luz e de ondas... e por causa disso eu tinha deixado um exercício lá na aula do dia cinco, vocês lembram? Tem gente que não veio, então eu vou escrever o exercício de novo.*

Aluna Ed: *Não precisa, a gente pega com o caderno do pessoal.*

Pesquisador: *Não, é que eu quero corrigir o exercício também.*

Aluna Ed: *Ah pode colocar então.*

[começo a escrever o exercício no quadro e a turma conversa muito enquanto isso, sobre a entrega do boletim]

Pesquisador: *Tá gente, quem não veio na primeira aula, eu dei esse exercício lá na sala de cima (laboratório). Então quem não veio, quem perdeu, copia de novo. Quem não fez, vamos fazer agora. Vamos fazer? Lembram o que era SI que vimos na última aula? O Aluno J tinha perguntado o que era. (apontando para ele) Tu lembra o que era SI?*

Aluno Js: *Não, não lembro não.*

Pesquisador: *Sistema Internacional de unidades, ou seja, neste exercício era para calcular a velocidade em metros por segundo, não em quilômetros por hora, ou milhas por hora, como se usa nos Estados Unidos. Caso alguém tivesse pensado em calcular em milhas por hora, por favor não faça isso. Então era isso, calcular a velocidade de uma onda de raio X no SI.*

Aluna Ke: *Por acaso tu vai colocar essa pergunta na prova?*

Pesquisador: *Talvez, parecido.*

³⁷ Esta foi a expressão utilizada em sala de aula. Evidentemente queria-se dizer religioso em um sentido não convencional, já pensando em William James. Mas essa postura religiosa não seria apenas para com a Ciência, no sentido de devoção à Ciência. Einstein também era religioso nesse sentido, mas, conforme Jammer (2000), também o era no sentido mais ordinário do termo, de constantemente discutir a natureza de Deus, o que Ele seria (se aproximando da noção de Espinoza), bem como sobre a natureza de algumas religiões, principalmente o judaísmo e o cristianismo que lhe eram mas familiares.

(Turma se dispersando muito pela entrega do boletim, aula interrompida por uma professora que entrou na sala para entregar o boletim, antes os alunos estavam saindo um a um, às vezes dois a dois, para ir na secretaria buscar).

Aluna Ma: Gente o que é SI mesmo?

Alunos na volta: Sistema Internacional de Unidades!

Pesquisador: Mas eu acabei de falar gente.

[a professora prosseguiu chamando todos os alunos e entregando os boletins durante a aula, cerca de quinze minutos foram perdidos com isso, quando a professora saiu, voltamos ao exercício]

Pesquisador: Ok gente, conseguiram fazer isso aqui? Bom, pra quem não se lembra a fórmula para calcular velocidade de ondas, é aquela do macete vai lamber ferida, que a gente tinha falado (escreve $v=\lambda f$). Então é muito simples, a gente tem a frequência que é o f , que é aproximadamente 10^{18} Hertz. Hertz é a unidade de medida normal de frequência, então não precisa mexer nisso aqui. O comprimento de onda é essa letra aqui, λ , que o exercício que eu tinha passado já dizia qual era, 3A (três angstroms). Vocês lembram o que era angstroms, que eu falei na última aula? Um angstrom é uma unidade de comprimento, com $1\text{A} = 1.10^{-10}\text{m}$. Esse número é maior ou menor que um nanômetro?

Dois alunos respondendo: Menor.

Pesquisador: É menor. Nanômetro é 10^{-9}m , angstrom é 10^{-10}m , que é menor. Então eu tenho esses números aqui, é só usar na fórmula e calcular, é muito simples (fiz o cálculo no quadro rapidamente). A unidade então é m/s, que é velocidade. Simples né? Se colocar na prova, tranquilo... Bom, agora eu queria que vocês pesquisassem uma coisa, quem tem um celular com internet aí. Quero que vocês botem no Google “velocidade da luz m/s”. Para comparar com esse valor aqui que a gente calculou... Aparece $2,998\text{e}+8$. Quando vocês veem esses e+8 que aparece na calculadora ou quando a gente coloca velocidade da luz no Google, esse e é o 10 aqui. Esse e+8 é o 10^8 que a gente tem aqui, só que numa versão de calculadora. E 2,998 não é praticamente 3? É né, 2,998 é praticamente 3. Então vou colocar aqui (quadro) uma observação. Essa é a velocidade que a gente calculou para o raio x. A velocidade da luz agora, a luz que a gente vê mesmo, a luz. A velocidade da luz também é aproximadamente 3.10^8m/s . Então que coisa bizarra, será que a gente calculou errado para o raio x? A resposta é não.

Aluno Ma: É a mesma velocidade?

Pesquisador: É a mesma velocidade. Se vocês pegarem o primeiro texto que eu dei e olharem o verso tem uma figura com umas cores de um arco-íris. Aquilo ali é o espectro eletromagnético. A questão é que todas as ondas eletromagnéticas, que são aquelas que estão nesse papel, elas têm essa velocidade. Todas elas. O raio x, o micro-ondas, a onda de rádio, a onda do *Wi-fi*, que mais... os raios gama. E a luz, é claro. Todas essas ondas andam com essa velocidade. Isso é uma coisa que essas ondas têm em comum, elas são chamadas de ondas eletromagnéticas. A luz é uma onda eletromagnética. Conseguiram entender? Vocês disseram que a professora já deu um pouco de ondulatória né? Vocês se lembram então que em ondas temos dois tipos de onda. As ondas mecânicas e as

ondas eletromagnéticas. As mecânicas são aquelas que precisam de alguma coisa, de um meio material para se propagar, o exemplo disso é o som. O som é uma onda mecânica. Eu preciso que tenha ar entre mim e vocês para vocês conseguirem me ouvir. Uma onda em uma lagoa, é uma onda mecânica?

Aluno Js: Não.

Pesquisador: Ela é sim, ela precisa da lagoa para poder se locomover. Mas e a luz? Ela precisa de um meio material, como ar, para se mexer? De uma lagoa...

Aluno Js: Ela precisa de uma fonte de luz.

Pesquisador: Claro, ela precisa de uma fonte de luz. Mas depois de produzida ela não precisa de um meio material. Mas entre a Terra e o Sol, por exemplo, de onde vem a luz que ilumina o dia, temos vácuo apenas, não há nada entre Terra e Sol, não tem ar, mas mesmo assim a luz do Sol chega até a gente. Então a luz é uma onda que não precisa de um meio para se mexer. Então todas as ondas que não precisam de um meio para elas andarem, também são essas chamadas de ondas eletromagnéticas. Conseguiram captar? Bom, são várias ondas eletromagnéticas. Pode ser um pouco difícil vocês decorarem todas, então basta olhar nessa folha que eu dei, que tem as ondas eletromagnéticas. Vocês não perderam essa folha ainda né? Então (escrevendo no quadro), todas as ondas eletromagnéticas, como a luz, o micro-ondas, andam com essa velocidade. Daí tem um tipo de exercício, que é comum cair no Enem, que ele parece ser um pouco sacana. É algo como... considere uma onda de infravermelho, por exemplo. O comprimento de onda é 700nm. E aí pode dizer assim: calcule a frequência. Então vocês olham pra essa questão e pensam: “Meu Deus, o exercício não me deu qual era a velocidade que eu tenho que botar aqui na fórmula.” Será que não deu mesmo? Disse que é uma onda de infravermelho, daí vocês olham no espectro eletromagnético, que é a figura do verso da folha e olham que o infravermelho é uma onda eletromagnética. Então qual é a velocidade do infravermelho?

Aluno Js: É $3 \cdot 10^8$.

Pesquisador: Isso, a velocidade é $3 \cdot 10^8$ m/s. Para vocês terem uma ideia de quão grande é essa velocidade das ondas eletromagnéticas, um carro de Fórmula 1 andando a 200 km, isso dá um 50m/s. E $3 \cdot 10^8$ é alguns bilhões de m/s. Então não existe no universo nenhuma coisa que seja capaz de superar a velocidade da luz.

Aluno Jo: É que nem o trovão, né? O raio aparece, espera uns 10 segundos e vem o trovão.

Pesquisador: É. Mas na verdade é o raio, né? O raio é uma descarga elétrica que gera luz. É a fonte de luz que o colega tinha falado antes. Mas, beleza, então nesse exercício hipotético do Enem, eu tenho velocidade e tenho o comprimento de onda. Como que eu calculo a frequência? Como que eu faço aqui? Eu quero a frequência, então o que eu faço com o comprimento de onda? Ele está multiplicando, ele passa dividindo. Então vai ser assim, vai ficar $f=v/\lambda$. É bem simples, né? Tem que estar atento, se falar de ondas em um exercício e diz que é uma das ondas eletromagnéticas, essa é a velocidade... Então agora que falamos bastante de ondas, velocidade e frequência, eu

quero entrar com vocês na parte do segundo texto, que é a parte do Planck, vocês se lembram quem é o Planck?

Aluna Fe: É o pai da Física Quântica.

Aluna Ke: Não, ele é o pai da Física Moderna.

Pesquisador: A gente diz que ele é o pai da Física Quântica, dá para dizer que ele é pai da Física Moderna também... Mas olha só uma questão interessante, vocês acham que na Física, não é conta agora, é uma pergunta bem vaga mesmo. Vocês acham que na Física Quântica, ou na Física em geral mesmo, vocês acham que tem coisas para o homem descobrir? Para o ser humano descobrir ainda? Tem mistérios que a gente precisa descobrir? Que exemplos vocês poderiam dizer?

Aluno El: Tem. O universo.

Pesquisador: Como assim o universo? Como funciona o universo?

Aluno El: É, mas como é, ou o que tem dentro de um buraco negro.

Pesquisador: É, é uma possibilidade.

Aluno Js: Se o universo tem fim.

Pesquisador: Pode ser. Outra coisa que a gente estava conversando na primeira aula, se é possível fazer viagem no tempo. Talvez no futuro seja? Teletransporte também. Ou a própria história do buraco negro, não sei se vocês viram, saiu a notícia recente, com a foto do buraco negro. O que acontecia é que o Stephen Hawking tinha proposto, dito que os buracos negros poderiam existir, só que ninguém tinha conseguido ver até então. E agora conseguiram finalmente tirar uma foto do buraco negro, uma coisa bastante revolucionária. E o legal é que foi uma mulher, de 29 anos, por trás dessa fotografia. Bem jovem até [mostrando aos alunos, foto da pesquisadora e da imagem do buraco negro que estava circulando das redes sociais e notícias à época de aplicação do módulo].



Imagens mostradas aos alunos para contextualização ³⁸

Pesquisador: Mas olha só, na época do Planck, esse pensamento, de que tem muitas coisas para descobrir, não era o pensamento lá. As pessoas achavam que a Física não tinha mais nada para fazer. Não tinha surgido ainda a Física Quântica. Inclusive tinha

³⁸ Disponível em: <<https://www.theguardian.com/science/2019/apr/11/katie-bouman-black-hole-photo>>. Acesso em 24 de setembro de 2019.

um senhor, um pouco antes de surgir a Física Quântica, que deu aula para o Planck e para o Einstein, ele dizia o seguinte: (escrevendo no quadro) “Não há nada de novo a ser descoberto na Física atualmente, o que resta é a medição cada vez mais precisa daquilo que já conhecemos”. Daquilo que já se conhecia na época, nada de quântica, buraco negro, nada disso. A gente está falando de um pouco antes da Física Quântica surgir, então lá por volta de...? O colega sabe o ano...

Aluno Js: *Ah é, 1900, quando surgiu a Física Quântica né.*

Pesquisador: *Isso, por volta de 1900 que esse cara disse isso. Já vou dizer quem que disse essa frase aqui tá. [anotando outra frase no quadro] “A Física está morta e não há mais nada a ser descoberta”.*

Aluno Ma: *Caramba...*

Pesquisador: *Pois é, é forte isso. Dizer que a Física está morta e não tem mais nada para descobrir. Quem disse isso é um cara da termometria, que acredito que vocês já estudaram, e o nome dele tem numa escala de temperatura.*

Aluno Js: *Fahrenheit!*

Aluna M: *Silva!*

Pesquisador: *Não, não é Fahrenheit. Não é Silva, também. Alguém sussurrou, é o lorde Kelvin. O Kelvin era tão importante na época que recebeu o título de lorde da rainha da Inglaterra, ou seja, ele tinha autoridade, prestígio, pra dizer isso, sabe. E ele disse isso mais ou menos, um pouquinho antes da Física Quântica surgir, em 1900. E ele dizia ainda mais, que tem apenas duas coisas que o ser humano ainda não conhece bem, se explicar essas duas coisas, pronto, acabou a Física. Então ele dizia que faltavam duas coisas... (anotando no quadro) A primeira, que nós vamos estudar primeiro, logo em seguida, é a radiação térmica de corpo negro.*

Aluno Jo: *Racismo!*

Pesquisador: *Não, não significa que os físicos pegaram negros maravilhosos, como diz o Luiz Roberto, e estudaram eles. A gente vai ver o que realmente significa corpo negro na física... E a outra coisa é o Efeito Fotoelétrico. E olha só que interessante, quem resolveu explicar a radiação térmica de corpo negro foi o Max Planck. E quem estudou o efeito fotoelétrico foi o Albert Einstein. E só por explicar essas duas coisas é que começou a Física Quântica, então. Por essas duas coisinhas de nada que o lorde Kelvin dizia.*

Aluno K: *O lorde Kelvin era um babaca.*

Pesquisador: *É... bom agora nós vamos estudar o que é essa tal de radiação térmica de corpo negro.*

Aluno Js: *O que seria esse corpo negro?*

Pesquisador: *Vou escrever agora! (escrevendo no quadro). Na física, um corpo negro não é necessariamente um corpo escuro. Então os alunos Js e Al não são um corpo negro. Podem ser pra biologia, mas não para a física, ok? Um corpo negro para física, é um objeto, um corpo que absorve toda a energia, que pode ser na forma de calor,*

talvez de luz, que incide sobre ele. E tem mais, a luz, ou melhor, a energia que sair desse corpo negro é ele mesmo que produz. Eu vou colocar um exemplo e vai ficar mais claro. Primeiro, porque o colega aqui, Al, não é um corpo negro?

Aluno E: Porque ele não produz energia.

Pesquisador: Será mesmo que ele não produz energia? Ele produz, porque todo corpo humano produz um pouco de energia que é o calor. Mas a questão é será que ele absorve toda a energia, luz ou calor, que incide sobre ele. Se fosse a gente não enxergaria nem o braço dos olhos, as unhas, a textura do corpo.

Aluno Jo: Mas ele não gera luz.

Pesquisador: Mas ele gera energia cara, que é calor. Se ele fosse um corpo negro para física, ele teria que absorver toda a energia que incide sobre ele, e isso não acontece. Ele não absorve toda a luz que incide sobre ele, por exemplo. Bom... tem um exemplo bom, que é o Sol e a Lua. O sol é um corpo negro e a lua não é. O que acontece, se eu pego, hipoteticamente, uma lanterna, uma mega lanterna e incidir nele, essa luz não vai ser refletida, vai ser absorvida. E a luz que sai dele que a gente enxerga, é ele mesmo que produz. Pelas reações que acontecem lá dentro. Então o Sol é um bom corpo negro, todas as estrelas são. O Buraco negro também que vocês falaram. E a lua? Ela brilha de noite?

Alunos Jo e Js: Sim, mas é o reflexo do Sol.

Pesquisador: É, é o reflexo da luz do Sol. Então ela não é um bom corpo negro. Na verdade, ela não é um corpo negro. Já o Sol é sim um bom corpo negro. Então estão entendendo o que é um corpo negro para física? Certo... bom, então radiação térmica, térmica lembra o quê? Temperatura, termômetro, né? E radiação? O que radiação lembra?

Aluno Jo: É tipo ondas?

Pesquisador: Radiação é algo que sai de algum objeto, que pode ser bom ou ruim. As coisas cancerígenas³⁹ emitem radiação ionizante, que é uma radiação ruim.

Aluno Cl: O raio X é uma radiação ruim?

Pesquisador: É ruim se tu ficar muito tempo tomando essa radiação de raio X. Mas pouquinho, pra fazer um raio X não chega a ser ruim.

Aluna El: Como que é produzido o Raio X?

Pesquisador: Essa é uma boa pergunta. Eu te explico depois, porque agora quero terminar essa parte antes de acabar a aula. Mas o raio X é uma forma de radiação. O corpo humano, ele emite radiação? A gente acabou de falar que sim. Emite calor.

³⁹ Esta foi a expressão utilizada em sala de aula. Por “coisas cancerígenas” queríamos deixar claro que existem substâncias na natureza que emitem radiações ionizantes que podem causar câncer. Mas evidentemente também existem substâncias cancerígenas que o são via processos químicos, não radioativos.

Então radiação térmica ela é a energia emitida, energia que sai de algo, pode ser o copo humano. Mas olha só, radiação térmica. Por que sai radiação do corpo humano?

Aluno Jo: Porque o ser humano gera um pouco de energia, não é isso?

Pesquisador: Isso, porque o ser humano tem uma dada temperatura, né? Então a radiação térmica é a radiação que sai de um objeto, como o ser humano, devido a temperatura (escrevendo isso no quadro). E bom, qual é a temperatura do corpo humano? Vocês sabem?

Aluna Su: Em volta dos 36, 37.

Pesquisador: Sim, em volta dos 36°C, 37°C. Então o corpo humano emite essa radiação, na forma de calor, porque está nessa faixa de temperatura. Se eu pegar essa caneta e aquecer ela em torno de 36°C, 37°C, ela vai emitir essa mesma radiação que o corpo humano emite. Só que esse calor que o corpo humano emite tem um nome bem específico, que vocês já ouviram alguma vez nada vida. Isso tal calor é uma radiação, a radiação infravermelha. Então se estou com meu corpo muito frio, temperatura baixa, e chego perto de alguém que está mais quente, aquele “calorzinho” que a gente sente é radiação infravermelho. Ela é invisível para a gente. Mas tem equipamentos que conseguem detectar a radiação de infravermelho. São alguns equipamentos de visão noturna, porque mesmo que esteja muito escuro, o corpo humano continua emitindo radiação, então essas espécies de binóculos de infravermelho capturam os pontos na paisagem onde tem essa emissão de calor, infravermelho. E daí conseguem mapear onde está o corpo humano. Então, se eu pego uma caneta, ou qualquer objeto, e aqueço até 37°C, o que ela vai emitir?

Aluno Js: Radiação infravermelho.

Pesquisador: Isso, radiação infravermelho. Se eu pego um pedaço de grafite e aqueço também até 37°C, o que sai do grafite aquecido? Radiação infravermelho né? Mas se eu pego qualquer objeto, pode ser o grafite mesmo, e elevo ainda mais a temperatura, até uns 100°C, o que será que vai sair dele? Ele vai começar a aquecer tanto que vai brilhar. Qual vai ser a primeira cor que ele vai emitir?

Aluno Js: Vermelho.

Pesquisador: Vermelho. E qual é a próxima? Laranja. A próxima seria o amarelo. Depois o verde. E assim sucessivamente. São as cores da ordem do espectro eletromagnético. Mas quando ele começa a chegar mais perto da cor verde ele brilha e derrete, arrebenta. Então a gente não chega a ver a cor verde.

Aluna Ty: O infravermelho ele te dá uma quantidade de graus?

Pesquisador: É energia. Radiação está relacionada com energia. A unidade de energia é ou calorias ou Joules, graus Celsius no caso, é temperatura.

[faltava alguns minutos para o sinal, os alunos começaram a se agitar e arrumar as coisas para ir embora]

Pesquisador: Tá gente, um último comentário antes de terminar a aula.

Aluno Js: *Professor, eu antes queria saber que temperatura teria que aquecer para emitir cor roxa.*

Pesquisador: *Não sei ao certo, mas na prática a gente nunca vê cor roxa. Por diversas razões, mas os objetos derreteriam, não aguentariam uma temperatura tão elevada pra emitir nessa cor.*

Aluno Js: *Mas o tungstênio não emite por aí?*

Pesquisador: *Não, tungstênio não emite cor roxa. Emite, não sei, amarelado, por aí... Bom, gente, pra aula seguinte, vocês esperem aqui, vamos fazer a chamada aqui e depois ir para o laboratório para então aquecer um grafite e ver o que acontece com ele, certo?*

Aluna Ed: *Ah ele vai estourar.*

Pesquisador: *Bom é o que a gente vai ver.*

Quarto Encontro - Dia 02/10 – Transcrição de áudio

Pesquisador: *Bom, gente o “Aluno Js” estava perguntando [antes do áudio começar], qual é a temperatura que o grafite começa a emitir infravermelho?*

Aluno Jo: *37 graus.*

Pesquisador: *Isso. Mas 37 graus o quê?*

Aluno Js: *Celsius.*

Pesquisador: *Isso, 37°C, até mais ou menos uns 400°C, nessa temperatura ele ainda emite só infravermelho, não visível. É o caso da panela que a gente tinha conversado, que aquece os alimentos ou a água até ela ferver, na faixa dos 100°C, mas sem deixar a panela incandescente. Qual é a próxima cor que ele emitia? Qual era a cor que ele emitia logo quando ele começava a brilhar?*

Aluno Ed: *Vermelho. Então, é mais ou menos uns 400°C até 700°C.*

Pesquisador: *É uma temperatura boa, já dá para encostar e arriscar perder o dedo. E qual é a próxima cor?*

Aluna Jo: *Laranja.*

Pesquisador: *o Laranja vai de uns 700°C até uns mil graus Celsius [colocando esta informação numa tabela no quadro diante dos alunos]. E daí a última cor que ele brilhava, vocês lembram qual era?*

Aluna Ty: *Amarelo.*

Pesquisador: *Amarelo. Bom, esse é aproximadamente, na faixa de 1000°C até 1400°, que é muito quente. Olha só que interessante, esta sequência [de cores], onde vocês viram isto já?*

Aluna Ed: *No arco-íris.*

Pesquisador: *No arco-íris. Onde mais? São as mesmas cores que apareciam num textinho que a gente viu, o primeiro.*

Aluno El: *Espectro não sei o quê.*

Pesquisador: *Espectro eletromagnético. O arco íris, segue aquela sequência de cores do espectro, essa sequência de cores que a gente viu no primeiro textinho que entreguei. Se vocês não têm o texto, procurem no Google, “espectro eletromagnético”, que vocês podem ver a ordem das cores, que é justamente essa que estamos vendo aqui. Começa no infravermelho, segue vermelho, laranja, amarelo, verde e anil [aluna diz, lilás], violeta e após o violeta?*

Aluno Jo: *É o cinza, não é?*

Pesquisador: *Não, daí é o ultravioleta.*

Aluno Ed: *E a cor branca?*

Pesquisador: *A cor branca é a mistura de todas as cores, né?*

Aluno Js: *E a temperatura da cor branca?*

Pesquisador: *Bom, acho que pode ser também uma mistura, um meio termo, não sei dizer. Mas um amarelo bem clarinho, ainda sem ser branco até dá para dizer a temperatura, daí é próximo de alguns milhares de graus celsius. Esse dá pra dizer, um amarelo bem claro. Daí logo depois disso o grafite quebrava. Mas... o que é que está aumentando quando nós vamos avançando nessas cores aqui? Está aumentando...? A frequência. Qual é a diferença de uma onda laranja para uma onda vermelha? Onda laranja ela tem maior frequência. [apontando para um aluno, aluno Al] Tu sabes me dizer o que é uma onda com maior frequência? ... é uma onda que vibra mais. A laranja vibra mais [fazendo um desenho no quadro com caneta laranja de uma onda vibrando bastante] e a vermelha vibra menos [fazendo um desenho com caneta vermelha de uma onda que vibra menos que a anterior], então para o vermelho seria uma onda assim, mais espaçada. A frequência do vermelho é menor. É isso que está acontecendo. O infravermelho seria ainda mais espaçado, já o amarelo seria mais próximo os picos, porque aumenta a frequência, vibra mais.*

Aluno El: *Mas o que gera essas ondas?*

Pesquisador: *Elas são ondas eletromagnéticas. Bom, vocês disseram que a professora, ela ensinou um pouco magnetismo e eletricidade. Então vocês devem ter visto, que quando um campo elétrico varia, porque varia uma corrente elétrica por exemplo, o que é que surge? Surge um campo magnético, é assim que funciona os eletroímãs [me comprometo a trazer um eletroímã na próxima semana, pois eles iriam ter oficina na próxima semana]. Assim quando se varia uma corrente elétrica, surge então um campo magnético.*

Aluna Su: *Como assim variar, variar o quê?*

Pesquisador: *Variar eu quero dizer, variar os seus valores, valores da corrente no caso, de $\frac{1}{2}A$ vai para $1A$ e volta para $\frac{1}{2}A$, algo assim.*

Aluno Jo: *Isso está estimulando o movimento dos elétrons?*

Pesquisador: É... isso, o movimento dos elétrons faz surgir um campo magnético, e é assim que funciona um eletroímã.

Aluno: O movimento deles não é a frequência deles?

Pesquisador: Não, eles podem se mover com uma dada frequência, oscilar com uma dada frequência talvez, mas eles podem gerar uma onda que vai ter uma frequência, que é isso que estamos falando. A luz, pensando no que acontece lá no Sol, lá tem movimento de cargas, e esse movimento das cargas gera uma onda eletromagnética, que é a luz que vem até a Terra, assim que ela é gerada.

Aluno: *É por isso que a gente usa o grafite? Aguenta mais frequência?*

Pesquisador: *Não exatamente, o grafite conduz eletricidade, mas tem uma resistência alta, daí aquece. Isso que a gente fez com o grafite é tipo uma lâmpada [incandescente]. Então qual é a ideia das lâmpadas mais antigas, é que um filamento de Tungstênio [mostrando uma lâmpada antiga, de filamento, ligado em um soquete]. E por que Tungstênio? É porque o tungstênio entre os metais, ele está entre os mais difíceis de derreter, ele pode passar uma corrente elevada e atingir temperaturas muito altas e ele não derrete, continua brilhando e serve como uma lâmpada. Foi isso que Thomas Edson, que é o criador da lâmpada, pensou, aquecer um filamento que brilha.*

Aluno Jo: *O que é tungstênio aí?*

Pesquisador: *O filamento. O filamento é o metal, o Tungstênio. Já o vidro é para deixar no vácuo. E o vácuo é algo interessante, porque... lembram o que prova a combustão? Qual é o elemento químico que provoca a queima?*

Aluno Js: *O oxigênio.*

Pesquisador: *O oxigênio, ele produz a combustão. Então tem que tirar o oxigênio para não queimar, pois algo tão quente como o oxigênio perto poderia pegar fogo e provocar um incêndio. Por isso que eu coloquei o vidro em cima do grafite no nosso experimento, para diminuir o contato com o ar e com o oxigênio, retardando a queima. E qual seria o ponto de fusão do tungstênio? Qual é a temperatura para derreter? Alguém dá um chute?*

Aluno Js: *três mil.*

Pesquisador: *Ok, está certo*

Aluno Jo: *Caramba, o cara sabe tudo.*

Aluna Fe: *O “Aluno Js” é o novo físico.*

Pesquisador: *Podia ser jogador de futebol, é bom de chute. Tá, mas e qual a temperatura que essa lâmpada está agora? Dá para ter uma ideia pela cor.*

Aluna Fe: *Laranja, mais para perto do amarelo.*

Pesquisador: *É, laranja não. Está mais para o amarelo. Então, qual a temperatura que está lâmpada está agora? A temperatura, mais ou menos está por aqui, perto dos mil [apontando para a tabela].*

Devido ao horário (quase recreio) os alunos descem do laboratório para o refeitório.

Na volta, no período após o intervalo, introduzimos a hipótese de Planck e relacionamos energia com frequência, conforme texto de apoio entregue aos alunos.

Quinto Encontro no dia 03 de outubro – Transcrição de áudio.

Nesse dia vamos diretamente para o laboratório, lá faço a chamada. No começo da aula temos um pequeno contratempo, porque quebrou a maçaneta da porta e ficamos presos no laboratório, mas usando algumas ferramentas que tínhamos no próprio laboratório foi possível consertar.

Fizemos a combinação que o passeio para a UFRGS seria dia 17 de outubro e que dia 10, teria uma espécie de aula extra, na própria escola, que seria na semana do dia 12, em que em toda a escola não deveríamos ter aulas, mas oficinas. Combinei com os alunos que seria um momento só para brincarmos com experimentos de Física. Também agendamos uma prova, com consulta a uma colinha que os alunos fariam. A aula foi interrompida (aviso da professora de biologia, comentando sobre foto de formatura e esquematizou com a turma o que aconteceria na semana da criança, onde a turma do 3º ano iria montar brinquedos para crianças do turno da tarde, onde eles trariam o material na escola para montar estes brinquedos). Depois disso foi entregue uma lista de exercícios, que consta nos Apêndices, com questões de vestibular da UFRGS.

Aluna Fe: Ah, lista de exercício para quê?

Pesquisador: Para estudar ué. São exercícios de vestibular, a gente vai tentar fazer juntos hoje, se não der fica de tema, ou para a próxima aula, vamos vendo. Mas, recapitulando sobre a experiência da aula passada, porque tem gente que não veio. O que acontecia quando a gente aquecia bem pouco o grafite?

Alunos [mais de um]: Ele ficava vermelho.

Pesquisador: Não, antes disso, primeiro ele esquenta, que significa que libera radiação infravermelho, e depois?

Aluno Ed: Vermelho, laranja, amarelo e ia estourar.

Pesquisador: Sim, essa ordem de cores é a ordem que aparece no espectro eletromagnético. E, ou seja, se eu pego uma luz de cor laranja, que é uma onda, e comparo com a onda da luz de cor vermelha. Qual das duas ondas tem maior frequência?

Aluna Fe: A luz laranja!

Pesquisador: Então que vibra mais, uma onda laranja ou uma onda vermelha?

Alunos responde: Laranja.

Pesquisador: Então se eu fosse desenhar seria algo assim [desenhando novamente, com caneta de cor laranja e vermelha, uma representação das ondas, para o vermelho com picos mais espaçados]. O laranja então, tem frequência maior. Já vermelho tem frequência menor, oscila menos, menos quente e menos energia.

Pesquisador: Quem tem energia maior, então?

Alunos respondem que é o laranja.

Pesquisador: Então agora uma pergunta bem sutil, tem que ficar bem atento. Quem tem maior velocidade, o laranja ou o vermelho?

Aluna Fe: É o laranja.

Aluno Jo: Não, é o vermelho.

Pesquisador: A gente viu na aula anterior que todas as ondas eletromagnéticas têm a velocidade da luz, que é alta, $3 \cdot 10^8$ m/s. Então as duas tem essa velocidade. Então se você pegar um exercício sobre onda eletromagnética, você sabe que sua velocidade é de 3×10^8 m/s. E outra coisa, como a gente está falando de ondas, temos frequência, velocidade e qual era a outra coisa que tinha lá, que a gente viu com as ondas? Lembram da foto da Arlequina?

Aluna Ma: O lambda.

Pesquisador: Isso. Vocês sabem me dizer o que é esse tal de lambda? O que significa?

Aluno Ed: Significa lambda.

Pesquisador: Sim, claro, mas é uma letra grega e significa comprimento de onda. Como assim comprimento de onda? É simplesmente o quanto mede uma onda. [representando uma onda no quadro]. O que é uma onda? É uma oscilação completa, uma vez para cima e uma vez para baixo, é quanto mede uma onda, e esta distância “aqui” é o lambda e vai ser medida em unidade de comprimento, metros, centímetros, micrometro. Então, quem tem comprimento de onda maior, neste caso?

Aluna Ed: Vermelho.

Pesquisador: Vermelho, porque a distância é maior aqui entre os picos... Bom, a gente precisa falar de outras coisas também. A gente tinha falado uma vez sobre raio gama [quando espectro eletromagnético foi introduzido]. Lembram o que é um raio gama? O raio gama é a última onda do espectro eletromagnético, mais para direita no espectro, com maior frequência, mais energia. Então é a mais perigosa. Então eu botei no texto que entreguei para vocês, que o Hulk virou o Hulk, porque foi exposto a radiação gama. Vocês acham que isso é possível ou não?

Aluno Ma: Não!

Pesquisador: Não, isso foi uma viagem do Stan Lee, pois uma pessoa que entra em contato com o raio gama, com uma alta energia, teria prejuízos irreparáveis em seu organismo. Mas porque radiação gama? Conhecem o alfabeto grego? Alfa, beta, gama, delta e por aí vai, até a última letra que é o ômega. Quando os físicos estavam estudando as radiações havia radiações desconhecidas dos elementos radioativos. Então eles chamaram de alfa, beta e gama. O nosso foco, aqui nesses exercícios, são as radiações alfa “ α ”, beta “ β ” e gama “ γ ”.

Aluno El: Por que as outras duas [α e β] não são estudadas?

Pesquisador: Pergunta interessante! Elas são estudadas, só que elas são ondas eletromagnéticas. A radiação alfa, ela não é um pulso de energia. A radiação gama ela é

simplesmente energia como um fóton, os pacotes de energia. Não dá para pegar a massa, e medir a massa da radiação gama, porque ela é energia. Já a radiação Alfa e Beta são coisas materiais, elas não são energia puramente. A radiação Alfa é a mais “pesada”, pois ela nada mais é do que dois prótons do núcleo do átomo. Isto quer dizer que quando um elemento radioativo está emitindo radiação alfa ele está emitindo dois prótons. Na natureza nós encontramos o Urânio que se transforma em outro elemento radioativo, que se chama Tório, via radiação alfa. O Tório tem número atômico menor, porque o Urânio, ele perdeu dois prótons do núcleo. E a radiação Beta, nada mais é do que um elétron que sai do átomo. Onde está o elétron no átomo?⁴⁰

Aluno El: Na eletrosfera.

Pesquisador: Assim, os elétrons estão mais para fora. E quem é mais leve, elétron ou próton?

Diversos alunos respondem que são os elétrons.

Pesquisador: O elétron é bem mais leve e fica orbitando o átomo. Quem vocês acham que tem maior poder de penetração? Radiação Alfa ou radiação Beta?

Alunos não se manifestaram.

Pesquisador: O maior poder de penetração é a Beta, pois o elétron é mais leve e ele consegue ir mais longe, e a radiação Alfa é os dois prótons que saem do núcleo.

Aluno El: E como surge o Raio X?

Pesquisador: Bom, sabe por que o raio X se chama raio X? Que nem como você está na matemática, quando tem um número que você não sabe, a gente o chama de x. Então o físico que estudou esta radiação não sabia muito bem o que estava acontecendo, então chamou a radiação de raio X.

Aluno El: Não sabem e ainda aplicam na gente.

Pesquisador: Não agora sabem, quando foi descoberto é que não sabiam. Mas olha só que interessante, achei uma foto, tem na internet [mostrando para os alunos no celular], que o cara que descobriu esses raios x [Roentgen] observou pela primeira vez, ele aplicou na esposa dele. Fez um raio x da mão da esposa dele.

⁴⁰ Esta foi a sentença que foi usada em aula. Contudo, é preciso estar atento a alguns detalhes, que não foram explicitados no momento da ministração. Em primeiro lugar, a radiação alfa se constitui de dois prótons e, também, *dois nêutrons*. Além disso, a radiação Beta se constitui de um elétron que sai do átomo, mas não da eletrosfera como foi dito, mas do núcleo através de reações nucleares.



Figura mostrada aos alunos.⁴¹

Aluno El: Daí ela perdeu a mão.

Pesquisador: Não, mas ela ficou com leucemia. Por falar nisso, a Madame Curie que era uma cientista que também trabalhava com estes elementos radioativos, morreu jovem de leucemia.

[nesse momento diversos alunos tinham que se levantar e sair da sala, pois tem que trabalhar, eles tinham saída autorizada pela direção da escola].

Pesquisador: O raio X e o Gama estão dentro do espectro eletromagnético. E ele pergunta: Quem tem menos energia, o raio gama ou o raio X?

Aluna Ty: Raio X.

Pesquisador: Isso, o raio X, que tem energia menor que a radiação gama.

Aluna Ty: Como ele descobriu que dava para ver os ossos com o raio X?

Pesquisador: Bom, não tenho certeza da história. Mas acredito que o cientista colocou a mão da mulher contra a fonte e descobriu meio ao acaso... Mas por que o raio X é de menor energia? É porque ele não sai do núcleo, ele sai da eletrosfera. Ele tem uma origem menos violenta, além de que tem menor energia que essas outras radiações que a gente falou.

Com isso resolvemos juntos um dos exercícios da lista de exercícios, sobre radiações alfa, beta, gama e raio X.

Pesquisador: [após ler o exercício] O alcance da partícula alfa é menor que o das outras, maior? O que acham?

Aluna Ed: É menor.

Pesquisador: Sim, menor. Mas por que é menor?

⁴¹ Disponível em: < https://www.researchgate.net/figure/Dr-Roentgens-first-X-ray-image-The-subject-was-his-wifes-hand-Baumrind-2011_fig7_277596746>. Acesso em 8 de abril.

Aluna Ty: Tem a ver com ser de elétrons e o elétron ser negativo?

Pesquisador: Não, não. Lembra que radiação alfa são dois prótons que saem do núcleo [além de dois nêutrons]. Quem é mais pesado, dois prótons ou um elétron? Dois prótons são bem mais pesados. Então por ser mais pesado, não consegue ir tão longe, ele vai parar. Então o alcance da radiação alfa é menor que o alcance da radiação beta. A beta vai mais longe. E raio X e raio gama são radiações de mesma natureza, como assim de mesma natureza? Ambos são ondas eletromagnéticas. Eles estão lá naquele espectro que a gente viu. Mas enquanto os raios X se originam na eletrosfera, os raios gama, como a gente falou, se originam no núcleo do átomo.

Aluna Ty: É que nem pensar em um gordo e um magro que querem dançar, o magro vai mais longe do que o gordo.

Pesquisador: Sim, nesse caso aqui, a radiação alfa é como um gordo e a radiação beta é como um magro. Tá, mas é comum a gente se perguntar para que servem essas radiações, se tem algo útil nelas, se são tão perigosas. Elas são perigosas porque podem queimar os tecidos, as células do nosso corpo, sendo a gama a mais perigosa. Elas danificam as células, qualquer célula. Mas se elas danificam as células, se eu estiver com uma célula maligna, que é um tumor, vai matar essas células malignas, vai queimar. Então se usam essas radiações nos tratamentos de câncer, né? Como a quimioterapia, por exemplo. Então essas radiações podem ser usadas na medicina, num tratamento de câncer.

Aluna Ty: Eles poderiam colocar focalizado né?

Pesquisador: Isso, tentam focalizar para atingir só o tecido, a célula que é maligna. Se coloca no corpo todo, vai matar a pessoa e não vai tratar a doença.

Aluna Ty: E esse é o motivo de perder os pelos do corpo? Por que matam as células mais superficiais do corpo?

Pesquisador: Sim, acredito que sim, os pelos são os primeiros a serem afetados. Mas também não seria só porque queima os pelos, mas danifica as células epiteliais do corpo né, que daí provoca a queda de cabelos. Acredito que seja isso.

Pesquisador: Bom... pessoal... agora que estamos no laboratório, eu queria fazer um experimento, que não é meu e preciso devolver, sobre o efeito fotoelétrico para aproveitar o material que não sei se vou ter na próxima aula [emprestado do laboratório da UFRGS, como ilustrado nas imagens].



Eletroscópio⁴² e lâmpada para emissão de raios UV⁴³.

Pesquisador: Então, assim vamos passar para o próximo tópico que estudamos em Física Quântica. Já estudamos Radiação de Corpo Negro, agora qual era o próximo tópico, vocês lembram? Que tinha a ver com o lord Kelvin, lembram?

Aluna Su: A gente pode olhar no caderno?

Pesquisador: Sim, claro que pode.

Aluno El: Alguma coisa elétrico...

Pesquisador: Sim, tinha elétrico no nome.

Aluna K: Efeito Fotoelétrico!

Pesquisador: Isso efeito fotoelétrico. Então a gente vai estudar um novo assunto, que é o efeito fotoelétrico... [apontando para um aluno, aluno Al] Tu lembra quem era que tinha explicado a radiação de corpo negro? O cientista? A gente dizia que ele era o pai da Física Quântica.

Aluna Ed: O Max...

Pesquisador: O Max Planck.

Aluna Ty: O Max plâncton gente.

Pesquisador: Não é o plâncton do Bob Esponja, é Max Planck. Agora quem explicou o Efeito Fotoelétrico foi o Einstein, que recebeu o Prêmio Nobel por isso, por explicar de maneira correta esse fenômeno. Certo, mas o que significa efeito fotoelétrico? Eu disse a vocês, em algum momento, qual era o significado literal da palavra fóton, lembram?

Aluna Ed: Luz.

Pesquisador: Isso, luz. Então, fóton significa literalmente luz. E efeito fotoelétrico? Significa literalmente efeito elétrico a partir da luz, da interação com a luz. Então,

⁴² Disponível em <<http://oficinadeensino.blogspot.com/>>. Acesso em 02 de abril de 2020.

⁴³ Fotografia tirada pelo autor (2019).

fotoelétrico significa eletricidade a partir da luz. Mas o que acontece com o efeito fotoelétrico, eu vou ter um pedaço de metal, e lembra que os metais são bons condutores, né? São bons condutores porque eles têm aqueles elétrons livres para condução. Então eles vão ter uns elétrons livres ali para condução [fazendo no quadro um desenho de um metal com elétrons livres]. O que se observa no efeito fotoelétrico, é que eu venho com uma forma de radiação, pode ser a luz, uma radiação qualquer [desenhando] e vemos que esses elétrons aqui eles saltam para fora do metal, eles saem do metal. É claro que a gente não consegue enxergar os elétrons saltando, a gente enxerga de fato a radiação, se for luz visível. E a gente pode de diferentes maneiras tentar entender que os elétrons saem do metal, é o que vamos tentar fazer agora com esse experimento [mostrando o equipamento]. Esse metal aqui, desse aparelho que se chama eletroscópio, é o que a gente vai fazer como se fosse o do desenho... Vocês lembram dos processos de eletrização?

Alunos: Não, muito pouco.

Pesquisador: Bom, quando a gente encosta a lã no tubo de PVC, a lã tem tendência a perder elétrons. Vocês já devem ter tirado uma roupa de lã num dia mais quente, não dá uns estalinhos? A lã dá esses estalos porque são faíscas elétricas muito pequenas, os elétrons que estão saindo da lã, já que ela tem tendência a perder os elétrons [então eletrizando o tubo de PVC]. Então a gente está colocando elétrons extras no eletroscópio, que tendem a se espalhar e se repelir, porque têm todos mesma carga, por isso esse movimento. O que acontece é que eu venho com uma fonte de radiação com frequência elevada, então energia elevada, e esses elétrons que estavam sobrando saem, vão para o ar enfim, que nem a gente colocou no desenho.

Repetimos o experimento mais uma vez e assim terminou o horário da aula, esse era o último período do dia.

Sexto Encontro em 09/10 – Diário de bordo.

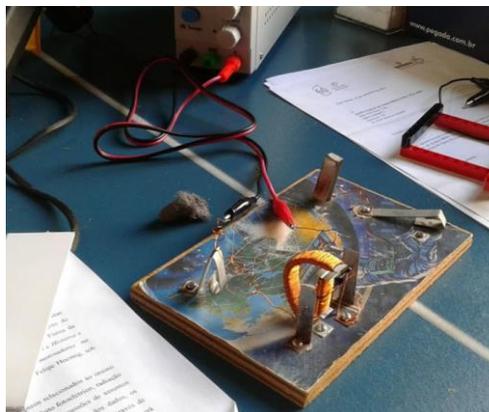
Nesta semana, por estarmos na semana do dia da criança, foi solicitado que os alunos tivessem apenas atividades lúdicas, sem a ministração de conteúdo, propriamente dito. Solicitei à professora novamente um período de Física, para que pudéssemos realizar alguns experimentos diversos que tivessem alguma relação com o conteúdo que vinha sendo apresentado, ou realizar novamente alguns experimentos, como fora o caso do grafite. Para deixar a atividade mais descontraída, levei para a escola lanches, como pipoca, chocolate e refrigerante para os alunos consumirem durante as atividades, para que não ficassem entediados.

Os alunos haviam manifestado dúvidas sobre o surgimento das ondas eletromagnéticas. Então alguns experimentos simples foram pensados para que se pudesse mostrar a relação entre magnetismo e eletricidade (dínamo, espira sobre a qual se faz variar um campo magnético significativo – com ímãs de neodímio e espira ligada em amperímetro digital ajustado para marcação em microampères), ou o contrário, entre eletricidade e magnetismo (esquema de motor elétrico simples). Para a questão do magnetismo,

também foram mostrados alguns experimentos com ímãs, com ímãs de neodímio ou de ferrite, estes retirados de aparelhos de micro-ondas, em comércios de aparelhos eletroeletrônicos velhos, que cederam gratuitamente as partes onde esse tipo de ímã pode ser retirado, ambos os tipos de ímãs para elucidar a questão dos polos e da levitação, como tínhamos em um experimento sobre Efeito Fotoelétrico. Os experimentos iniciais sobre eletromagnetismo são ilustrados nos conjuntos de fotos a seguir.



Experimento com dínamo ligado a uma pequena lâmpada⁴⁴ e experimento caseiro de levitação com ímãs de ferrite⁴⁵.



Um pequeno motor elétrico.⁴⁶

⁴⁴ Fotografia capturada pelo autor (2020).

⁴⁵ Fotografia capturada pelo autor (2020).

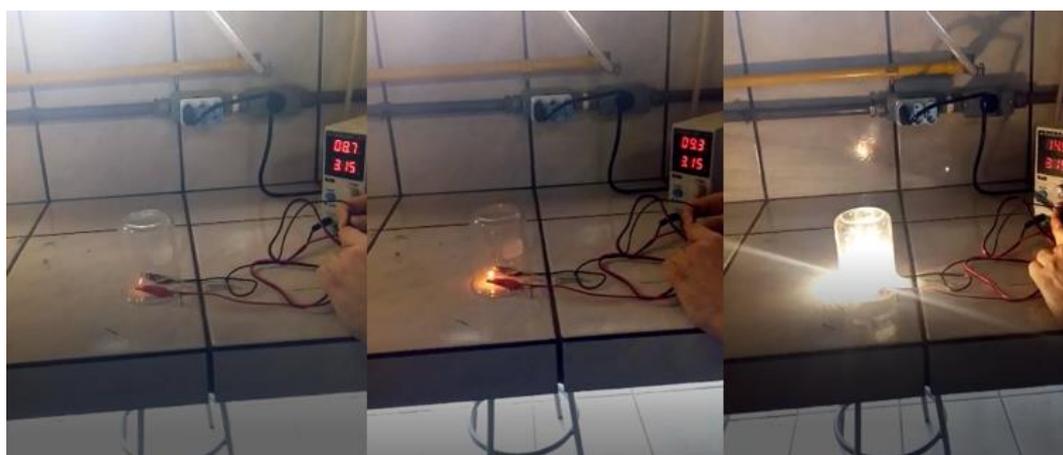
⁴⁶ Fotografia capturada pelo autor (2019).

Experimentos realizados para discutir efeito fotoelétrico:



Grilo e carro com células fotovoltaicas e Experimento de Levitação Magnética com motor solar para giro.⁴⁷

Repetimos o experimento do grafite para relacionar energia e frequência. Para 3,15A e 8V, notávamos a coloração avermelhada, tendendo para o laranja quando a voltagem se aproximava de 9V, mantendo a corrente constante. Para 9V observa-se a cor laranja nitidamente. Acima de 10V tornava-se amarelo claro, ficando cada vez mais claro ao se aproximar de 15V. Em 15V o grafite rompia. Na terceira e última vez que fizemos o experimento o grafite não se rompeu, mas ficou curvo e incandescente, maleável pela alta temperatura, que possivelmente foi atingida de maneira menos abrupta que nas tentativas anteriores. Ainda assim, não passamos a voltagem de 15V pela temperatura elevada que aquecia sobremaneira os cabos ligados à fonte, pelo risco de derreter o plástico desses cabos.



A sequência de imagens captura alguns momentos dos diferentes brilhos para o grafite⁴⁸, é possível ler a voltagem e a corrente na tela da fonte.

⁴⁷ Fotografias capturadas pelo autor (2019).

⁴⁸ Sequência de capturas de um vídeo pelos alunos, enviado ao professor (2019).

Sétimo encontro 16/10 – Transcrição de áudio e Diário de bordo.

Inicialmente, a chamada dos alunos da turma 301.

Iniciamos a aula com os alunos dando uma lembrancinha, uma vez que o dia do professor tinha sido na data anterior. Depois disso combinamos alguns detalhes para a visita à universidade, que seria na data seguinte, dia 17. Os alunos deveriam chegar bem cedo na escola, 07:30, para irmos rapidamente e termos tempo de visitar não apenas o IF, mas também o museu de paleontologia. Além disso, combinamos uma possível data para a prova. Combinamos em fazer uma prova com consulta, com uma cola a uma consulta que os alunos deveriam montar, uma página. A prova antes tinha sido pensada para ser no dia 24 de outubro, passamos para, inicialmente, o dia 31, mas foi aplicada no dia 29 de outubro.

Pesquisador: Continuado o conteúdo, não é gente?! Vocês lembram qual é o último conteúdo que a gente estudou antes da nossa pausa da semana passada? A gente fez os experimentos, as atividades lúdicas na semana do dia 12 de outubro. Qual era o último conteúdo que a gente tinha visto?

Aluno El: O infravermelho, né?

Aluna An: Era o corpo negro.

Pesquisador: O corpo negro a gente já terminou, a gente começou no finalzinho da aula o efeito fotoelétrico. Lembram o que é o efeito fotoelétrico? Tu lembra né, “Aluno El”?

Aluno El: Eles são os efeitos elétricos a partir da luz.

Pesquisador: Isso. Pessoal, prestem atenção [muita conversa paralela nesse momento]. O efeito fotoelétrico são efeitos elétricos, eletricidade, a partir da luz [escrevendo isso no quadro]. Tínhamos feito um desenho no final da outra aula, que captava bem a essência do efeito fotoelétrico, onde se tinha um metal, pode ser diferentes metais... O que é que acontece? [refazendo o desenho].

Alunos dizem lembrar do desenho e que algo entrava no metal.

Pesquisador: Bom, se efeito fotoelétrico significa efeitos elétricos a partir da luz, então esse algo era luz. Então, se radiação entrando aqui [apontando para o desenho], que pode ser luz, tem que sair o que do outro lado? Se é efeitos elétricos a partir da luz?

Aluna Su: Energia?

Pesquisador: Vai sair energia, mais precisamente eletricidade.

Aluno Jo: Energia solar daí? Tipo isso?

Pesquisador: É tipo isso, mas então primeiro vem uma radiação, que pode ser visível ou não. E lembra que radiação não é necessariamente uma coisa ruim, a radiação infravermelho é boa ou ruim?

Aluno Jo: É calor. Não é ruim.

Aluno El: Mas Pesquisador, então a gente pode fazer este negócio com infravermelho?

Pesquisador: A rigor até pode, mas é só com alguns poucos metais bem específicos [devido à função trabalho de valor baixo], mas a maioria acontece com radiações de maior energia. Por exemplo, qual é a radiação de maior energia que a gente viu, a primeira que pode dar câncer?

Aluno El: Raio X?

Pesquisador: Na verdade é o UV, ultra violeta, que pode dar câncer de pele. Lembra protetor solar com proteção contra o UV. O UV é o ultravioleta, que pode dar alguns problemas para a gente. Então na maioria dos metais, esse efeito fotoelétrico acontece quando se coloca radiação ultravioleta, é a mais comum. Isso pode ser uma explicação porque aqueles equipamentos que testamos aula passada [grilo, carrinho e levitação] não funcionavam bem aqui na sala e funcionavam bem lá no Sol. Vocês acham que as lâmpadas da sala, ou as lanternas, como as lanternas do celular que a gente usa, vão ter ultravioleta? Não, se tivesse ultravioleta a gente poderia facilmente ficar com câncer de pele, porque ficamos por horas sob esta luz, mas não temos câncer de pele, assim podemos ficar por longo tempo dentro da sala. Quando essas lâmpadas da sala são fabricadas, se filtra o UV, para que saia só luz visível. Mas o Sol emite um pouco de radiação UV, e isso pode ser uma boa razão de porque os equipamentos funcionavam melhor sob a luz do Sol.

[pegando novamente os grilinhos]

Pesquisador: Vocês lembram do grilinho? A gente fez um sorteio de dois deles, né? E desse da levitação? [mostrando o aparelho da levitação novamente, para aqueles que não vieram na semana anterior pudessem ver também].

Aluno Jo: Isso se chama... telecinese!

Pesquisador: Eu sou o magneto. É que o pai do meu pai é o magvô e eu sou o magneto.

[nesse momento a aula foi interrompida porque os alunos foram chamados para a merenda, mas alguns alunos que não foram, ou que aos poucos iam retornando, ficaram observando os experimentos até retomarmos a aula].

Aluno El: Como é que os átomos ficam estáveis, sendo que é liberado energia, se sai elétrons dos átomos no efeito fotoelétrico?

Pesquisador: Bom, primeiro vamos pensar que esses metais ou materiais das células fotoelétricas eles não liberam elétrons a todo momento, só quando incide radiação de maior frequência é que acontece mesmo. Num ambiente mais escuro por exemplo, não acontece nada e não tem essa liberação de elétrons. Mas os elétrons acabam voltando, eles não saem do circuito sabe? Eles são liberados mas voltam, por isso que tem dois fios aqui na célula por exemplo, num circuito fechado. Mas no experimento com um metal, que é mais simples, sem pensar em célula fotovoltaica, é mais simples. O fato de eu colocar meu dedo já faz alguns elétrons que estão no meu dedo irem para o metal e deixar tudo como estava, normal. Essa é a ideia do aterramento aliás, uma das possibilidades do aterramento, porque eu estou ligado na Terra quando coloco meu

dedo, então elétrons podem fluir por mim, da Terra para o metal e ficar tudo estável novamente.

Aluno El: Mas e se eu não boto o dedo, o que acontece?

Pesquisador: Nada de mais na verdade, ele ia ficar carregado positivamente. Mas ia chegar num limite, ele não perderia elétrons para sempre. Aqueles elétrons que estão mais soltos é que são liberados. Lembra que os metais são bons condutores, porque eles têm...?

Aluno El: Ah, elétrons de valência.

Pesquisador: Isso elétrons de valência, livres. Então o metal perde aqueles elétrons e deu, chega num limite, não vai perder para sempre.

[ainda no período da merenda, colocamos a lanterna sobre o grilinho e mostramos que ao incidir a luz da lanterna eles vibram, mas pouco se comparado com a luz solar, como foi feito no encontro anterior].

Após o retorno:

Pesquisador: Bom, gente, retomando, por que esses equipamentos eletrônicos tendem a funcionar melhor com ultravioleta?

Aluno Ed: O ultravioleta tem mais frequência?

Pesquisador: Sim, maior frequência, que significa?

Aluna Ed: Mais energia?

Pesquisador: Isso, com maior frequência significa ter mais energia, o pacote de onda dá mais energia para os elétrons que vão sair, que saem com mais energia. O que acontece, com carrinho elétrico da semana passada, é que vamos ter um metal específico, em geral pode ser silício, ou outros, que se constroem essas células. Então eu tenho alguma forma de radiação chegando sobre a célula ou metal, mas os elétrons que saem são canalizados com um cabo de eletricidade que se liga a um motor, o qual aciona uma engrenagem, quando os elétrons circulam, fazendo funcionar o carro através do movimento do elétrons, isto é, da corrente elétrica que percorre os equipamentos eletrônicos. Então, por isso a energia solar é uma forma muito segura e limpa de gerar energia. Por isso a energia solar é uma forma tão promissora. Porém os materiais como Silício, Germânio, Gálio são materiais relativamente caros, por exemplo, cada grilinho custou cerca de sete reais, imagina construir uma usina com placas enormes disso... Então custa muito caro montar uma usina de captação da energia solar. Por isso que não se incentiva muito a construção desse tipo de usina, embora seja uma das formas mais seguras, mais limpas, de se gerar energia elétrica.

Aluna Tay: A Lua não transmite nenhum tipo de radiação? Nem que seja produzida por outra coisa que não ela.

Pesquisador: Sim por reflexão, porém é muito mais fraca, é pouco intensa.

Aluno Jo: E se a gente colocasse um painel solar na lua? Não daria pra captar uma quantidade boa de energia solar:

Pesquisador: *Bom, a rigor talvez daria. Mas a gente não consegue montar uma usina de energia solar aqui... Daria para colocar, mas se é por questão de eficiência, a linha do Equador recebe muita energia solar e é bem mais barato de que ir até a Lua para colocar painéis solares.*

Aluna Fe: *A gente ia morrer.*

Pesquisador: *Não, a gente só ia perder tempo e dinheiro. De novo, se é por eficiência bastaria colocar vários painéis solares próximos à linha do Equador que recebe uma boa quantidade de radiação que já teríamos uma boa quantidade de energia. Mas ok, se por acaso estivéssemos na lua, porque somos astronautas, ou enfim, e estivéssemos precisando de energia elétrica, então sim, daria para usar esses painéis células fotovoltaicas para gerar energia elétrica. Então, se um dia você for para a lua, pode usar esses painéis sem problema.*

[Aula novamente interrompida aqui novamente, os alunos devem providenciar o nº de RG para a coordenação ou para a professora, porque era preciso para o ônibus que levaria a turma até a UFRGS].

Pesquisador: *Vamos retomar aqui, vocês lembram quem explicou o efeito fotoelétrico e ganhou o prêmio Nobel com essa experiência? Falei várias vezes, né Aluno Ma?*

[Alunos mencionaram alguns nomes, primeiro o lorde Kelvin, depois Dirac].

Pesquisador: *Não, o lorde Kelvin foi aquele que dizia que a Física estava morta e que só restava a medição mais precisa daquilo que já se sabia. Então definitivamente não foi o lorde Kelvin. Também não foi o Dirac, Dirac era da antimatéria.*

Pesquisador: *Não gente, quem explicou o efeito fotoelétrico foi o Aluno Ma [os alunos apelidaram o aluno Ma de Einstein, então anotei no quadro: “Quem explicou o efeito fotoelétrico foi o Aluno Ma”].*

Alunos entre muitos risos e comentários:

Aluno Jo: *Nossa, isso é o máximo da realidade alterada. Multiverso isso.*

Aluna Fe: *Se eu colocar isso na prova eu ganho certo?*

Pesquisador: *Se tu entendes que o Aluno Ma quer dizer Einstein eu aceito [de fato essa brincadeira com o nome apareceu no instrumento de avaliação, como pode ser visto no Apêndice H]. Mas gente, deixando o aluno Ma de lado, o Einstein ganhou o prêmio Nobel pela explicação do efeito fotoelétrico.*

Aluno Js: *Que ano foi isso?*

Pesquisador: *A explicação foi em 1905, pelo Einstein. A explicação foi 1905, mas o experimento já era conhecido antes, quem conhecia esse experimento era o Hertz. Vocês já ouviram falar esse nome onde?*

Aluna Ke: *Mega Hertz.*

Aluno Jo: *Da frequência.*

Pesquisador: *Frequência, como se mede frequência. Mega Hertz ainda é frequência, mas é o valor das ondas de rádio.*

Aluno El: *Mas por que o Hertz não ganhou o prêmio?*

Pesquisador: *O Hertz ganhou, mas ele ganhou antes e por outras coisas.*

[câmpaigna é acionada para o intervalo]

Após o retorno, fomos para o laboratório. Não há gravação desta parte, algumas informações adicionais são tomadas com o diário de bordo.

Esclarecemos a diferença entre a concepção de Hertz e de Einstein para o efeito fotoelétrico. Depois disso falamos rapidamente que, por Einstein, a luz foi entendida como sendo constituída de pacotes, que mais tarde se chamariam fótons. Porém fizemos experimentos que mostram a natureza ondulatória da luz com laser e um fio de cabelo, conforme imagem a seguir, e laser com um pequeno copo de plástico com um furo no fundo. Para esclarecer o que é difração, fizemos um experimento com uma bacia com água e um pequeno plástico com uma abertura no meio, colado no centro da bacia. Ao fazermos a água oscilar em um lado da bacia, vimos a difração pelo orifício e as ondas surgirem do outro lado da bacia com água. Mencionei que veríamos novamente a difração no dia seguinte, no laboratório da UFRGS.



Equipamento utilizado para ilustrar a difração com ondas de água.⁴⁹



Padrão de interferência em uma parede após incidir o laser sobre um fio de cabelo.⁵⁰

⁴⁹ Fotografia tirada pelo autor (2019).

⁵⁰ Fotografia tirada pelo autor (2019).

Oitavo encontro em 17/10 – Visita a UFRGS – Diário de bordo e fotografias.

Esse dia foi destinado à visita à universidade, onde visitaríamos o Instituto de Física inicialmente e por fim, se sobrasse tempo, o museu de paleontologia, que de fato aconteceu, mesmo que tenhamos saída da escola às 08:30 e não às 07:30, como gostaríamos. A visita ao museu de paleontologia precisou ser abreviada, mas foi possível, mesmo assim. A professora orientadora recebeu a turma, que estava acompanhada também da professora de Física e da professora de biologia. Nos dirigimos ao prédio com os experimentos no instituto e preparamos, juntamente com os técnicos do departamento, alguns detalhes faltantes para realizar os experimentos. Iniciamos com uma breve retomada do que era difração, em que realizamos novamente o experimento com o laser e um fio de cabelo. Discutida e entendida a questão da dualidade onda-partícula, que já havia sido mencionada na aula anterior, passamos à análise do que aconteceria com elétrons quando cruzassem uma fenda. A previsão da Física Clássica, se tomamos os elétrons como pequenas esferas, é o semelhante ao que se observa no tabuleiro de Galton, com a formação de uma curva gaussiana. Neste momento mostramos aos alunos o tabuleiro de Galton, que permite essa visualização do padrão clássico esperado.



Tabuleiro de Galton idêntico ao utilizado por nós durante a atividade⁵¹.

Assim, destacamos que, se considerarmos os elétrons como pequenas esferas, eles deveriam seguir este padrão em um experimento de difração. Veríamos a seguir, com o próximo experimento, se isso é verdade. O experimento de difração de elétrons, por ser mais delicado e o único da universidade, foi conduzido e explicado pelo técnico da UFRGS, sendo que complementávamos com algum comentário quando necessário. Assim, após a explicação do funcionamento do equipamento, visualizamos o padrão no anteparo após a difração de elétrons. Desligamos a luz da sala para visualizar melhor, mas vimos, ao invés de uma mancha verde contínua, uma figura com máximos e mínimos em torno de um pico central, de maneira muito semelhante ao que vimos para o laser e o fio de cabelo, quando vimos a difração da luz. A luz verde se deve ao contato

⁵¹ Disponível em: <<https://galtonboard.com/gallery>>. Acesso em 08 de abril de 2020.

dos elétrons com o material que compõem o anteparo na parte de vidro do equipamento, como destacado no manual do equipamento fornecido pelos técnicos do departamento.

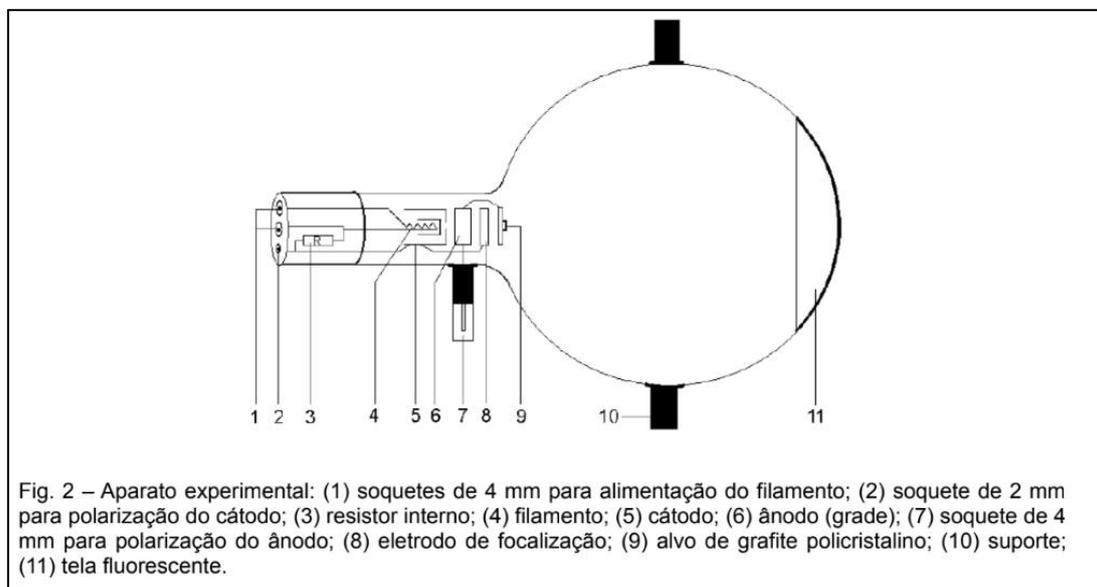


Fig. 2 – Aparato experimental: (1) soquetes de 4 mm para alimentação do filamento; (2) soquete de 2 mm para polarização do cátodo; (3) resistor interno; (4) filamento; (5) cátodo; (6) ânodo (grade); (7) soquete de 4 mm para polarização do ânodo; (8) eletrodo de focalização; (9) alvo de grafite policristalino; (10) suporte; (11) tela fluorescente.

Esquema do experimento de difração de elétrons fornecido pelo roteiro da atividade⁵².

Retomamos um nome que já havia sido mencionado em uma linha do tempo para a Física Quântica, que fora elaborada nas aulas iniciais: o nome de Broglie. Ressaltamos a difração dos entes quânticos, como elétrons, que apesar de serem considerados sempre como partículas, também apresentam comportamento ondulatório. Enfatizamos assim a dualidade onda-partícula como acontecendo com todos os entes quânticos, isto é, tudo aqui que é muito pequeno. Perguntamos por que não acontece difração com uma pessoa que passar muito rápido por uma porta, os alunos responderam que assim é, porque a pessoa não é muito pequena, que é onde os fenômenos quânticos como a difração são observados.

Destacamos aqui, brevemente, que a difração não acontece com uma pessoa ao passar por uma porta, ou com uma bola ao passar por um obstáculo, uma vez que se perde o padrão quântico, ou mais precisamente, perde-se a *coerência quântica*. Enfatizamos, escrevendo no quadro, que esta perda da coerência quântica, perda do caráter probabilístico e, portanto, padrão de interferência e difração, é denominado de decoerência quântica. Ressaltamos que usar a Física Quântica para explicar situações do cotidiano é equivocado, porque essas situações são macroscópicas, visíveis, não são muito pequenas e, portanto, perde-se a coerência quântica. Há o surgimento deste fenômeno, a decoerência quântica.

Após abordarmos a difração de elétrons, razão principal de nossa visita à universidade, aproveitamos o tempo para realizar outras atividades diversificadas do laboratório, previamente organizadas pelos técnicos do departamento. Realizamos as atividades no IF entre, aproximadamente, 09:30 e 10:45. Passamos depois ao museu de paleontologia

⁵² Roteiro elaborado e cedido pelo professor do Instituto de Física da UFRGS, José Henrique R. dos Santos. Disponível em: <<https://www.ufrgs.br/labensif/experimentos/difracao-de-eletrons/>>. Acesso em 08 de abril de 2020.

e retornamos à escola por volta das 11:30. Conseguimos chegar na escola às 12:15, o que era necessário, dado o bom número de alunos que trabalhava no turno da tarde.



Alguns outros experimentos diversificados realizados, com gerador de Van der Graaff⁵³, máquina de Wimshurst⁵⁴ e efeito giroscópico⁵⁵.



Fotografias do museu de paleontologia, com alunos da turma ao fundo, na segunda imagem.⁵⁶

⁵³ Fotos tiradas pelos alunos e enviada ao professor (2019).

⁵⁴ Captura de um vídeo pelos alunos enviado ao professor (2019).

⁵⁵ Fotografia feita pelos autores (2019).

⁵⁶ Fotografias tiradas pela professora da turma e enviada ao professor (2019).

Nono encontro em 25/10 – Diário de bordo

Neste dia pedi permissão para o professor de filosofia da turma para me ceder um período, para poder discutir um pouco de Filosofia da Ciência e Religião. Não foi problema, pois este professor estava afastado durante essa semana por motivos pessoais – falecimento da sogra.

Após, aplicação da atividade “Quem eu sou”, gastou-se um tempo maior para explicação do panteísmo de Espinoza, no qual Einstein acreditava fortemente, mas que também conquistava a simpatia de outros cientistas. Após todos preencherem e lerem as dicas e respostas para os demais alunos, que foi uma atividade em que não estiveram muito animados para discutir as repostas, foi incentivada uma discussão:

Pesquisador: *E no que vocês acreditam gente? A gente está vendo que existem, que tinham cientistas que tinham crenças, alguns que não tinham... Vocês acham que dá para acreditar em Deus sem problema? O que vocês acham?*

Aluno Jo: ***Bah, acho que sim. Só não pode tipo, acreditar exatamente em tudo da Bíblia, tá ligado, como que Deus criou a Terra em sete dias, acho que sim, mas não pra acreditar literalmente sabe...***

[os demais alunos não manifestaram, mas pareceram concordar com essa afirmação, ainda com alguns que queriam ficar em silêncio e não se manifestar sobre isso].

Pesquisador: *Sim, entendi. Até porque o tempo passa diferente em diferentes situações. Talvez o tempo pra Deus, se a gente pensa que existe Deus, passa diferente pra Ele do que para nós. Então poderia ser que esses sete dias não queiram dizer literalmente sete dias, pode ser sete mil anos, sete milhões de anos...*

Aluna Tay: *Que nem perto de um buraco negro né? O tempo passa diferente perto de um buraco negro.*

Pesquisador: *Sim, tem isso. Não sei se vocês já viram aquele filme Interstellar?*

Aluno Js: *Sim, filmão!*

Pesquisador: *Pois é, lá os caras estavam perto de um buraco negro, onde que eles estavam mesmo? Que tinha umas marés gigantes.*

Aluno Js: *Bah, era um planeta, planeta de Miller eu acho.*

Pesquisador: *Lá o tempo passava diferente. Mas era pela presença do buraco negro, que distorce o que o Einstein chamava de “espaço-tempo”, e ele explicou isso com a Relatividade Geral, que se vocês se lembrarem daquele quadro que a gente fez no começo dessas aulas, era um tópico da Física Moderna, lembram, do direito do quadro. Infelizmente a gente não vai ter tempo de estudar isso, mas a questão é que corpos mais massivos distorcem muito este espaço, e daí o tempo passa mais devagar nas proximidades do que pra quem está longe.*

Aluno El: *É verdade que a luz não escapa do buraco negro? Como que a gente consegue ver ele?*

Pesquisador: *Pois é, nada escapa do buraco negro, nem a luz. Mas é que alguma coisa tem que sair dum buraco negro, nem que seja do entorno dele, como uma onda de raio-X por exemplo.*

Aluna Tay.: ***Mas então aquilo da criação ser num tempo diferente tem a ver com isso, né?***

Pesquisador: *Olha acho que não. Dizer que Deus estava perto dum buraco negro nem sei se faz sentido. Mas se a gente pegar quem escreveu o primeiro livro da Bíblia, o Gênesis, quem foi que escreveu?*

Aluna Su: *Bah não faço ideia.*

Pesquisador: *Pô Jesus, tu tens que saber, tu estava lá assistindo. É o teu livro.*

Aluno Js: *Bah, não tô lembrado.*

Pesquisador: *Acho que foi Moisés né gente. Ele escreveu na Terra né? Não estava perto de um buraco negro, como no filme. Então o tempo passava normal para ele, que nem pra gente aqui. Então acho que pensar nisso, do buraco negro, não faz muito sentido aqui. Mas sim o tempo passa diferente nessa situação. **Mas o que eu queria dizer é isso o que o “Aluno Jo” estava dizendo, que não tem problema acreditar na Bíblia, acreditar em Deus, mas também a gente não pode tomar tudo como literal. Era isso o que o Feynman dizia, lembram dele?***

Aluna Tay: *Sim o cientista, o físico, que disse que se tu diz que entende física quântica, é porque não entendeu.*

Pesquisador: *Sim ele mesmo, que esteve no Brasil né, que participou do projeto da bomba, lembram o nome?*

Aluno Jo: *Projeto Manhattan! Nunca mais eu vou esquecer isso.*

Pesquisador: *Sim! Isso aí. Ele dizia esse tipo de coisa, que tudo bem acreditar na Bíblia e tudo mais, mas não pode tomar tudo verdade literalmente, sabe? Tem que ter o questionamento, e não tem problema nisso.*

Aluna Ke: *Mas no que tu acredita sôr?*

Pesquisador: *Bom, eu sou cristão, luterano. Eu gosto da maneira que um filósofo Kierkegaard encara o cristianismo [breve comentário sobre a filosofia de Kierkegaard, até que logo acabou o período].*

Décimo Encontro em 29/10 – Avaliação

Nessa data apenas se sucedeu uma rápida revisão antes da aplicação da avaliação, para então, posterior aplicação da avaliação. Não foram coletados dados com diário de bordo ou gravação de áudio. Entretanto, algumas respostas à questão dissertativa sobre misticismo foram analisadas, uma vez que cópias das avaliações foram feitas pelo pesquisador, com ciência da professora de física da escola.

Décimo primeiro encontro não contabilizado no Módulo em 31/10.

Nesse dia o pesquisador foi até a escola para entregar avaliações e aplicar com os alunos faltantes. Foi realizada uma pequena confraternização, organizada pelos alunos e pela professora de Física, como despedida e agradecimento pelo período do Módulo Didático. Por questão de preservação da identidade dos alunos, não foram colocadas neste documento fotos retiradas neste dia.

Apêndice J: Atividade “Quem eu sou?”

Cartilhas construídas para a atividade sobre a relação entre Ciência e Religiosidade realizada em período cedido pelo professor de Filosofia, já com respostas manuscritas pelos estudantes.

Planck	Einstein
<p style="text-align: center;">QUEM EU SOU? <i>Max Planck</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Nasci em 1858 em Kiel, na Alemanha, em uma família que tradicionalmente formava pastores protestantes e Juristas. 2. Durante toda minha vida fui um forte defensor da fé cristã. 3. Para mim, não há contradição entre religião e ciência. Ao contrário, há uma concordância total nos pontos decisivos. A prova disso é o fato histórico de homens como Newton, Kepler e Leibniz terem mostrado um profundo sentimento religioso. A diferença entre ciência e religião é que a ciência convida o homem a aprender, a religião convida a agir. 4. Em 1900 apresentei na Sociedade Alemã de Física um trabalho que me pareceu singelo mas que foi revolucionário para o entendimento da radiação de corpo negro. 5. Um dos meus melhores amigos foi um judeu alemão que foi perseguido pelo regime nazista. 6. Sou conhecido por muitos como o pai da Física Quântica, mas às vezes divido essa fama com meu amigo que mencionei acima. 	<p style="text-align: center;">QUEM EU SOU? <i>Albert Einstein</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Nasci em 1879 em Ulm, na Alemanha, em uma família judia que formava matemáticos 2. Em 1905 publiquei cinco artigos que foram marcantes para a Física, esse ficou sendo o meu ano miraculoso. Um desses artigos, sobre o Efeito Fotoelétrico, me rendeu o prêmio Nobel de Física. 3. Acredito no Deus de Espinosa, que se revela na harmonia bem-ordenada de tudo o que existe; mas não acredito num Deus que se ocupe com o destino e as ações da humanidade. 4. Eu sou determinista. Para mim, os seres humanos (e na verdade qualquer objeto) não são livres, mas estão presos pela causalidade do mesmo modo que as estrelas em seus movimentos. Deus não joga dados! 5. Minha esposa Mileva providenciou uma ajuda crucial em todos os cálculos sobre Relatividade. Após nosso divórcio, enviei a ela todo o dinheiro do prêmio Nobel. 6. Fugindo das perseguições nazistas, me mudei para os EUA, onde fiquei até o fim de minha vida. <p style="text-align: right;"><i>Maria Fernanda, Mariana</i></p>
Bohr	Dirac
<p style="text-align: center;">QUEM EU SOU? <i>ELIEZER, EDUARDO G</i></p> <p><i>BOHR</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Nasci em Copenhague, em 1885, em uma família que incentivava o estudo acadêmico, uma vez que meu pai fora professor na Universidade de Copenhague. 2. Fiquei mais conhecido pela minha contribuição no entendimento da estrutura atômica, o que me rendeu o prêmio Nobel em Física. Certamente você já ouviu falar no modelo atômico que leva meu nome. 3. Fui grande amigo de um famoso físico judeu alemão, que andava sempre descabelado. Com ele tive um intenso debate filosófico, uma vez que meu amigo era determinista e eu era indeterminista. 4. Dentro da Física comecei uma importante escola de pensamento filosófico: a escola de Copenhague, onde privilegiávamos a visão positivista dentro da ciência. 5. Para mim, qualquer um que não se choque com a Mecânica Quântica é porque não a entendeu. 6. Muitas pessoas me definem como ateu, mas prefiro o termo agnóstico. 	<p style="text-align: center;">QUEM EU SOU? <i>ELIEZER, EDUARDO G</i></p> <p><i>DIRAC</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Nasci em 1902, em Bristol, na Inglaterra, dois anos após o nascimento da Física Quântica. Me formei em engenharia elétrica, depois em Matemática e por fim em Física. 2. Fui eu quem propus a ideia de que existe antimatéria no universo. A antimatéria é o oposto da matéria normal (como nossos corpos), e a antimatéria ao se encontrar com a matéria faz com que ambas se anulem e virem energia. Felizmente não há muita antimatéria no universo, caso contrário tudo deixaria de existir. Por causa da concepção de antimatéria recebi o prêmio Nobel em Física. 3. Os mitos religiosos me desagradam por princípio, nem que seja pelo fato de os mitos das diferentes religiões contradizerem uns aos outros. Na verdade, eu não entendo por que falamos sobre religião. Se formos honestos, e os cientistas têm que sê-lo, teremos de admitir que a religião é uma miscelânea de asserções falsas, sem base na realidade. O próprio conceito de Deus é produto da fantasia humana.

Schroedinger	De Broglie
<p style="text-align: center;">QUEM EU SOU? <i>Schroedinger</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Nasci em 1887, em Viena, na Austria. Meu pai era católico e minha mãe era luterana, mas eu não segui as crenças dos meus pais. Me tornei ateu quando cresci, mas sempre achei interessante a ideia do panteísmo. 2. Eu tenho um dos sobrenomes mais difícil de dizer e escrever entre todos os cientistas do mundo. 3. Eu recebi o prêmio Nobel em Física pela contribuição na parte matemática da Física Quântica, relacionando minhas contas com o caráter ondulatório da Física Quântica. 4. Fiquei mais conhecido pelas pessoas em geral por um paradoxo que elaborei com meu gato. O gato estaria morto e vivo ao mesmo tempo. Esse paradoxo não é mais levado muito à sério, mas nos faz refletir sobre o caráter duplo da quântica, como a dualidade onda-partícula e a importância de se falar em probabilidade em quântica. 	<p style="text-align: center;">QUEM EU SOU? <i>Louis DE BROGLIE</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Nasci em 1892 na cidade francesa de Dieppe, na Normandia. Minha família era da nobreza francesa, tanto que quando mais velho recebi o título de duque. Apesar de minha família ser religiosa, optei quando mais velho, depois de ter estudado, pelo ateísmo. 2. Quando jovem eu não sabia o que estudar, comecei optando por História, mas depois me encantei com a matemática e por fim com a física. Com a Física pude contribuir na área da Quântica, com a explicação do efeito de difração de elétrons. Por essa explicação recebi o prêmio Nobel. 3. Assim como o físico que explicou o efeito fotoelétrico, eu nunca fui adepto do indeterminismo e do livre-arbítrio, mas fui um defensor da causalidade e do determinismo. 4. Eu me alistei no exército francês na primeira guerra mundial, sendo encarregado da comunicação via rádio entre os oficiais. 5. Sou considerado por muitos como um dos principais cientistas da França de todos os tempos, ao lado de Pasteur, o casal Curie, Lavoisier e tantos outros.
Feynman	Dr Manhattan
<p style="text-align: center;">QUEM EU SOU? <i>RICHARD Feynman</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Nasci em 1918 na cidade de Nova Iorque. Minha mãe era empregada doméstica e meu pai era um gerente de vendas. Meu pai sempre me encorajou a fazer perguntas para desafiar o pensamento ortodoxo. Isso foi importante para eu me tornar um grande cientista. 2. Fui o cientista mais novo a trabalhar no projeto Manhattan, em Los Alamos. O projeto foi liderado pelo físico Openheimer e o resultado foi a criação das primeiras bombas atômicas, que foram lançadas no Japão. Ganhei o prêmio Nobel em Física alguns anos depois do projeto Manhattan. 3. Aprendi português para minha visita ao Brasil. No Brasil fui professor por alguns meses no Rio de Janeiro. Me apaixonei pelo samba e pelo povo brasileiro. 4. Eu sempre fui um ateu declarado, porém eu não acredito que a ciência possa refutar a existência de Deus. Na verdade, acho que isso é impossível. E já que é impossível, a crença em alguma divindade é algo totalmente consistente. Não há nada de errado em querer acreditar nisso, mas com certeza é errado pensar num Deus comum da religião. 5. Algumas pessoas me conhecem por uma frase que disse: "Se você acha que entendeu a física quântica, é porque você não entendeu". 6. Eu trabalhei no CALTECH, instituto científico onde se passa a série de televisão "The Big Bang Theory". 	<p style="text-align: center;">QUEM EU SOU? <i>Dr Manhattan</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Nasci nos EUA em 1929, porém minha família é de origem alemã. Meu pai era relojoeiro, e eu também pretendia ser, porém, após as bombas nucleares lançadas no Japão, meu pai me incentivou a estudar física nuclear. Mesmo assim, nunca perdi o gosto pelo trabalho de relojoeiro. 2. Os amigos mais próximos me chamam de Jon, mas hoje esse não é mais o meu verdadeiro nome. 3. Eu lutei na linha de frente da guerra do Vietnã, ao lado de um amigo que era comediante. 4. Assim como outros físicos famosos, eu não sou um defensor do indeterminismo e do livre arbítrio. Acredito que todas as nossas ações já estão determinadas. Assim eu diria que sou um determinista. 5. Deve haver algo ou alguém superior ao próprio tempo, para o qual não há diferença entre passado, presente e futuro. Tudo já está lá, por isso sou determinista. 6. Trabalhei em um laboratório de "campos intrínsecos", sendo que dentro de um laboratório desse tipo sofri um grave acidente. O acidente não me matou, mas mudou minha vida para sempre. 7. Sou conhecido por ter uma tatuagem de um modelo de átomo de Hidrogênio.

Apêndice K: Avaliações

Atividades de avaliação realizadas com os alunos do Módulo Didático.

Escola Estadual de Ensino Médio Heitor Villa-Lobos. Data: 29/10/2019

AVALIAÇÃO DE FÍSICA – CONTEÚDO: FÍSICA QUÂNTICA

Professor: André Felipe Hoernig – Instrumento de avaliação na finalização do
Módulo Didático

NOME: _____ NOTA: _____

1. Na coluna da esquerda, estão listados eventos ou situações físicas; na da direita, grandes áreas das teorias físicas.

- | | |
|---|---------------------------|
| 1. Descrição de sistemas que envolvam objetos que se movam com velocidades próximas da velocidade da luz. | (a) Física Quântica; |
| 2. Descrição de fenômenos que ocorrem em dimensões muito pequenas, como as de um átomo. | (b) Física Relativística; |
| 3. Unificação da Eletricidade e Magnetismo, conforme realizada por Maxwell. | (c) Física Clássica. |

A alternativa que relaciona corretamente o evento ou situação com a área usada para descrevê-lo é

- (A) 1(a), 2(b) e 3(c).
- (B) 1(b), 2(a) e 3(c).
- (C) 1(b), 2(c) e 3(a).
- (D) 1(c), 2(a) e 3(b).
- (E) 1(c), 2(b) e 3(a).

2. Um trecho da música “Quanta”, de Gilberto Gil, é reproduzido no destaque a seguir.

Fragmento infinitésimo,
Quase que apenas mental,
Quantum granulado no mel,
Quantum ondulado do sal,
Mel de urânio, sal de rádio
Qualquer coisa quase ideal.

As frases “Quantum granulado no mel” e “Quantum ondulado do sal” relacionam-se, na Física, com

- a) Conservação de Energia.
- b) Conservação do giro em movimentos circulares.
- c) Dualidade Partícula-onda.
- d) Princípio da Causalidade entre dois eventos.
- e) Princípio do Irineu: você não sabe nem eu.

3. Assinale V para as afirmativas verdadeiras e F para as falsas.

- () Max Planck é o pai da Física Quântica. Ele começou a Física Quântica ao explicar a radiação térmica de corpo negro.
- () Albert Einstein acreditava no panteísmo de Espinoza. Panteísmo significa a crença em muitos deuses diferentes.
- () O físico Schroedinger ficou conhecido pelo paradoxo do gato de Schroedinger. O gato estaria morto e vivo ao mesmo tempo. Esse paradoxo nos faz refletir sobre o caráter duplo da quântica, como a dualidade onda-partícula e a importância de se falar em probabilidade em quântica.
- () O raio-X é mais nocivo à saúde humana por ter maior energia do que os raios UV. Ter maior energia significa que a onda tem maior frequência, portanto o Raio-X é uma onda que tem maior vibração que o UV.
- () A estrela Betelgueuse é a maior que o ser humano conhece da constelação de Órion. Ela possui temperatura mais elevada que a estrela Sirius, que possui uma coloração azul claro.
- () O Efeito Fotoelétrico, explicado pelo Marlon, consiste em arrancar elétrons de uma dada superfície com a incidência de radiação.

4. Calcule a velocidade de uma onda de Raio-X, no SI. A frequência desta onda é de aproximadamente $10^{18} Hz$ e o comprimento de onda do Raio-X no ar é de aproximadamente 3 \AA .

5. É comum quando se discute ou se estuda sobre Física Quântica, escutarmos as seguintes frases:

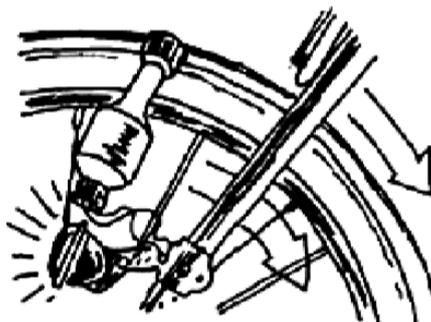
“É possível usar a Física Quântica para achar sua alma gêmea, com a técnica da ativação quântica é possível atrair ou tornar os relacionamentos mais felizes.”

*“O pensamento impregnado de emoções positivas, sob a motivação da vontade e da determinação, produz o reajustamento dos elétrons no alinhamento de maior potencial, promovendo a saúde, o bem-estar, o sucesso e a cura quântica ou cura espiritual”.*⁵⁷

⁵⁷ Fragmentos retirados de <<https://www.eusemfronteiras.com.br/ativacao-quantica-para-atrair-ou-tornar-os-relacionamentos-mais-felizes/>> e <<https://www.jrmcoaching.com.br/blog/cura-quantica/>>, em 27 de outubro.

Explique da maneira mais clara possível porque é um equívoco utilizar a Física Quântica em questões do cotidiano, como a vida amorosa e sucesso no trabalho:

- 6.** (Enem – 2010 - modificada) Os dínamos são geradores de energia elétrica utilizados em bicicletas para acender uma pequena lâmpada. Para isso, é necessário que a parte móvel esteja em contato com o pneu da bicicleta e, quando ela entra em movimento, é gerada energia elétrica para acender a lâmpada. Dentro desse gerador, encontram-se um ímã e uma bobina.



O princípio de funcionamento desse equipamento é explicado pelo fato de que a

- a) corrente elétrica gera um campo magnético nessa região.
- b) bobina imersa no campo magnético constante gera uma corrente elétrica.
- c) corrente elétrica é gerada quando há variação do campo magnético.
- d) corrente elétrica é gerada por causa da presença de um campo magnético que não varia.
- e) bobina em atrito com o campo magnético gera uma corrente elétrica.

Escola Estadual de Ensino Médio Heitor Villa-Lobos. Data: 31/10/2019
AVALIAÇÃO DE FÍSICA – CONTEÚDO: FÍSICA QUÂNTICA
Professor: André Felipe Hoernig – Instrumento de avaliação na finalização do
Módulo Didático

NOME: _____ NOTA: _____

1. Assinale a alternativa que preenche corretamente as lacunas do enunciado abaixo, na ordem em que aparecem.

Uma característica importante das radiações diz respeito ao seu poder de penetração na matéria. Chama-se alcance a distância que uma partícula percorre até parar. Para partículas α e β de mesma energia, o alcance da partícula α é da partícula β . Raios X e raios γ são radiações de mesma natureza, mas enquanto os raios X se originam, os raios γ têm origem do átomo.

- (A) maior que o - na eletrosfera - no núcleo
- (B) maior que o - no núcleo - na eletrosfera
- (C) igual ao - no núcleo - na eletrosfera
- (D) menor que o - no núcleo - na eletrosfera
- (E) menor que o - na eletrosfera - no núcleo

2. Um trecho da música “Quanta”, de Gilberto Gil, é reproduzido no destaque a seguir.

Fragmento infinitésimo,
Quase que apenas mental,
Quantum granulado no mel,
Quantum ondulado do sal,
Mel de urânio, sal de rádio
Qualquer coisa quase ideal.

As frases “Quantum granulado no mel” e “Quantum ondulado do sal” relacionam-se, na Física, com

- (A) Conservação de Energia.
- (B) Conservação da quantidade de movimento angular.
- (C) Dualidade Partícula-onda.
- (D) Princípio da Causalidade entre dois eventos.
- (E) Princípio do Irineu: você não sabe nem eu.

3. Calcule a frequência de uma onda de Raio-X, no SI, sabendo que seu comprimento de onda é de 3 \AA . Lembre que o Raio-X é uma onda eletromagnética.

4. Assinale V para as afirmativas verdadeiras e F para as falsas.

() Max Planck é o pai da Física Quântica. Ele começou a Física Quântica ao explicar a radiação térmica de corpo negro.

() Albert Einstein acreditava no panteísmo de Espinoza. Panteísmo significa a crença em um Deus único que é tudo, no sentido que Deus é o cosmos, ou seja, todo o universo.

() O físico Schroedinger ficou conhecido pelo paradoxo do gato de Schroedinger. O gato estaria morto e vivo ao mesmo tempo. Esse paradoxo nos faz refletir sobre o caráter duplo da quântica, como a dualidade onda-partícula e a importância de se falar em probabilidade em quântica.

() O raio-X é mais nocivo à saúde humana por ter maior energia do que os raios UV. Ter maior energia significa que a onda tem maior frequência, portanto o Raio-X é uma onda que tem maior vibração que o UV.

() A estrela Betelgeuse é a maior que o ser humano conhece da constelação de Órion. Ela possui temperatura menos elevada que a estrela Sirius, que possui uma coloração azul claro.

() O Efeito Fotoelétrico, explicado pelo Marlon, consiste em arrancar elétrons de uma dada superfície com a incidência de radiação.

5. É comum quando se discute ou se estuda sobre Física Quântica, escutarmos as seguintes frases:

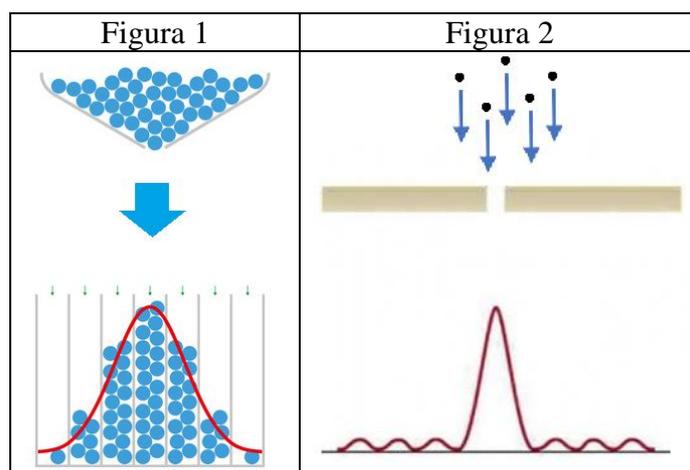
“É possível usar a Física Quântica para achar sua alma gêmea, com a técnica da ativação quântica é possível atrair ou tornar os relacionamentos mais felizes.”

*“O pensamento impregnado de emoções positivas, sob a motivação da vontade e da determinação, produz o reajustamento dos elétrons no alinhamento de maior potencial, promovendo a saúde, o bem-estar, o sucesso e a cura quântica ou cura espiritual”.*⁵⁸

Explique da maneira mais clara possível porque é um equívoco utilizar a Física Quântica em questões do cotidiano, como a vida amorosa e sucesso no trabalho:

⁵⁸ Fragmentos retirados de <<https://www.eusemfronteiras.com.br/ativacao-quantica-para-atrair-ou-tornar-os-relacionamentos-mais-felizes/>> e <<https://www.jrmcoaching.com.br/blog/cura-quantica/>>, em 27 de outubro.

6. Observe as figuras a seguir e complete as lacunas do texto abaixo:



Quando fazemos pequenas bolinhas (corpúsculos) atravessarem uma fenda ou obstáculo, como ilustrado na Figura 1, esperamos que se forme uma figura semelhante a um morro, que recebe o nome de distribuição _____. Esse fenômeno acontece com a areia em uma ampulheta, ou como fizemos em aula, em um tabuleiro de _____. Como estamos lidando com corpúsculos macroscópicos (visíveis a olho nu) esse fenômeno é bem explicado pela Física _____. Porém, ao trabalharmos com corpúsculos cada vez menores, de dimensões inferiores à um _____ (10^{-9} metros), então precisamos utilizar os conceitos da Física _____. Nesse sentido, quando fazemos elétrons passar por uma fenda, como ilustrado na Figura 2, não teremos mais uma figura no formato de morro, mas sim uma figura que lembra o aspecto de onda ao passar por uma fenda. Como vimos para a água em uma bacia, uma onda ao passar por um obstáculo tende a se espalhar, no fenômeno que recebe o nome de _____. Sendo assim, os elétrons não podem ser definidos apenas como partículas, porque também apresentam comportamento ondulatório. Tal aspecto dual dos elétrons e também dos _____, as partículas que compõem a luz, ficou conhecido como _____. Esse comportamento foi bem explicado pelo físico francês _____, e mostrou definitivamente o quão diferente da Física do cotidiano a Física Quântica pode ser.

Apêndice L: Respostas à questão sobre misticismo nas avaliações.

As respostas foram colocadas de forma aleatória, no sentido de que a ordem escolhida não corresponde aos números da lista de chamada, conforme tabela a seguir. Algumas respostas estavam equivocadas e foram corrigidas na entrega aos alunos.

Aluno	Resposta
1	Porque a Física Quântica estuda coisas minimamente pequenas, ou seja, mesmo que a pessoa namore um micro anão, não tem como.
2	Porque a Física Quântica estuda tudo que é muito pequeno e uma pessoa “alma gêmea” está longe de ser pequena e a FQ não tem relação alguma com emoções.
3	Porque a física quântica é o estudo de coisas muito pequenas, não tem nada a ver com vida pessoal.
4	Porque a Física Quântica explica coisas muito pequenas.
5	Porque a Física Quântica estuda as coisas muito pequenas e não visíveis a olho nu.
6	Pois a Física Quântica é a ciência que estuda a natureza “quantum”, quantidade mínima indivisível. Não é visível ao olho nu.
7	Não respondeu.
8	Não respondeu.
9	É um equívoco pois a física quântica estuda a quantidade mínima das coisas e não as relações pessoais de uma pessoa.
10	Pois a física quântica estuda coisas extremamente pequenas, e a vida amorosa e sucesso no trabalho não são coisas pequenas.
11	Porque a física quântica estuda coisas muito pequenas e trabalho e vida amorosa são coisas grandes.
12	Porque a física quântica é uma ciência que estuda as coisas muito pequenas, sendo assim, estuda a menor parte da matéria, o que não se refere a pessoas e coisas do cotidiano.
13	A física quântica estuda as coisas muito pequenas, não se refere a pessoas e coisas do cotidiano.
14	A Física Quântica estuda o quantum das coisas, ou seja, coisas mínimas quase invisíveis, portanto seria impossível encontrar sua alma gêmea, ou sucesso no trabalho.
15	Pois a Física Quântica estuda as coisas extremamente pequenas e a vida amorosa e trabalho são coisas grandes.
16	É um equívoco, pois a FQ é um estudo de quantidades mínimas das coisas e não sobre as relações pessoais de um indivíduo.
17	A física quântica é o estudo das coisas muito pequenas, e questões da vida amorosa e sucesso no trabalho são coisas relativamente grandes.
18	Porque a física quântica estuda coisas muito pequenas.
19	A física quântica estuda coisas muito pequenas, tipo 1cm dividido por 1000.
20	A Física Quântica estuda o quantum dos objetos, portanto encontrar sua alma gêmea só seria possível se diminuíssemos um ser humano ao tamanho de um átomo.
21	A física quântica é o estudo das coisas muito pequenas e questões da vida amorosa e sucesso no trabalho são coisas relativamente grandes e não se deve misturar.

22	Porque a Física Quântica explica as coisas muito pequenas.
23	Pois a física quântica estuda partículas extremamente pequenas e seu uso está muito além de qualquer explicação de comportamento e saúde humana e espiritual.
24	Porque a Física Quântica estuda coisas pequenas, assim como as questões do cotidiano.
25	Porque a Física Quântica atrai boas energias.
26	Acredita-se na “lei da atração” podendo unir dois seres, coisas, o que for, como se fossem almas gêmeas.
27	A Física Quântica apenas estuda as coisas mais pequenas, isso não se atribui a sentimentos.
28	Porque a Física Quântica é usada para descrever fenômenos que ocorrem em dimensões muito pequenas como as de um átomo.
29	Quântica é quantidade mínima, que estuda a partir de 1 nanômetro.
30	Pois a física quântica é o estudo de coisas muito pequenas a partir de um nanômetro.