

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MATO GROSSO DO SUL

Unidade Universitária de Dourados

Curso de Física

FLÁVIA ALMEIDA SILVA

**TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA: ANÁLISE INTRODUTÓRIA DA
INSERÇÃO DE ELEMENTOS DE UM ARTIGO CIENTÍFICO EM
LIVROS DO ENSINO SUPERIOR**

Dourados/MS

2015

FLÁVIA ALMEIDA SILVA

**TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA: ANÁLISE INTRODUTÓRIA DA
INSERÇÃO DE ELEMENTOS DE UM ARTIGO CIENTÍFICO EM
LIVROS DO ENSINO SUPERIOR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial para obtenção do título
de Licenciatura em Física pela Universidade
Estadual de Mato Grosso do Sul.

Professor Orientador Msc. Emerson Canato Vieira

Dourados/MS

2015

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus e a todas as energias positivas que compõem o universo, por se posicionarem a meu favor no período de duração da minha graduação. Agradeço de todo coração à minha família: a meu pai Adão e minha mãe Eliza por todo amor, dedicação e esforço em seu tempo de trabalho para me dar suporte durante todos os períodos de minha vida e a minha irmã Fernanda por todas as brincadeiras, companheirismo e amor mútuo.

Agradeço com muito carinho a meu namorado Yuri, por toda dedicação, amor, paciência e compreensão que tem comigo

Carinhosamente, agradeço a minha amiga e companheira Sayuri, por todos os momentos dedicados aos estudos que partilhamos juntas, as brincadeiras, dificuldades que enfrentou ao meu lado e pela paciência e amizade que pretendo levar por toda a vida. Agradeço a todos meus colegas e amigos tanto na graduação quanto no decorrer da minha vida de estudante, ressaltando minha amiga Mariane com quem sei que sempre posso contar.

Agradeço carinhosamente a todos os professores presentes na minha formação, em especial aos professores Sérgio Yamazaki e Cecília Nascimento por todo conhecimento e orientações que me ajudaram a ter a visão que possuo atualmente, além das conversas e comprometimento com as minhas expectativas quanto à carreira acadêmica que desejo seguir.

Agradeço ao meu orientador Emerson Canato pela paciência e orientação no percorrer desse trabalho.

Finalizando, agradeço a todos os momentos passados na universidade e a todas as pessoas que direta e indiretamente contribuíram para minha formação.

RESUMO

Os livros textos são amplamente utilizados tanto por professores como por acadêmicos no ensino superior. Para transposição didática, os mesmos são consequência do processo de transformação do “saber sábio” para o chamado “saber a ensinar” que segundo Chevallard é uma esfera onde se encontra o conhecimento científico original modificado para uma forma didática. Essa pesquisa teve como objetivo analisar, de forma introdutória, como termos encontrados em uma versão traduzida do artigo “Sobre a teoria quântica da radiação”, do autor Albert Einstein são inseridos nos seguintes livros textos: Curso de Física Básica, volume 4 de H. Moysés Nussenzveig; Física Quântica de Eisberg e Resnick e Física para Cientistas e Engenheiros volume 3 dos autores Tipler e Mosca. Foram avaliados como são feitas as inserções e se as mesmas correspondiam ao significado original do artigo. A metodologia do trabalho foi uma revisão e análise bibliográfica, tendo como fundamentação teórica principal Yves Chevallard, assim como outras inúmeras fundamentações de apoio como Daniel Kleppner. O trabalho foi dividido em três capítulos e considerações finais. Pode-se concluir que em nenhum dos três livros analisados, é feita uma referência direta ao artigo do Einstein. Assim como também, verificou-se que os elementos desse artigo, quando citados nos manuais em momentos aleatórios, apresentaram uma constante descontextualização em relação ao seu contexto original.

Palavras-chave: radiação; Albert Einstein; Transposição didática; Yves Chevallard; ensino; livro didático.

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 - Relação entre noosfera e seu contexto social	14
Figura 2 - Divisão da transposição didática no contexto interno e externo	16
Figura 3 - Interação dos componentes de uma onda eletromagnética (campo elétrico E, campo magnético B e direção de propagação com determinada velocidade v).....	20
Figura 4 - Espectro contínuo de uma onda eletromagnética.....	20
Figura 5 - Características de radiações ionizantes e não ionizante	21
Figura 6 - Processo realizado por uma radiação ionizante.....	22

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO.....	10
2 TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA.....	11
2.1 Contextualização histórica.....	12
2.2 Teoria da Transposição Didática.....	12
2.3 Etapas do saber.....	13
3 EINSTEIN E O CONCEITO DE RADIAÇÃO.....	20
3.1 Conceito físico de radiação.....	20
3.2 Artigo: Sobre a Teoria Quântica da Radiação.....	23
3.3 Breve análise do artigo.....	32
4 ANÁLISE DE LIVROS-TEXTO UTILIZADOS NO ENSINO SUPERIOR.....	37
4.1 Contextualização de utilização e estrutura de um Livro texto.....	37
4.2 Análise do livro 1.....	41
4.3 Análise do livro 2.....	46
4.4 Análise do livro 3.....	49
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	51
6 REFERÊNCIAS.....	55

1 INTRODUÇÃO

A ciência caminha entre a prática científica e a aprendizagem. O conhecimento científico é construído e disseminado num processo caracterizado por diferentes níveis e etapas, cada qual com seu nível de dificuldade. É comum encontrar no meio científico inúmeras publicações em artigos, assim como o conteúdo dos mesmos retratados simplifadamente em livros textos usados no âmbito escolar básico ou acadêmico.

O processo que abrange desde a construção até a aprendizagem do conhecimento científico, foi caracterizado em 1982 por Yves Chevallard como “transposição didática”. Esse termo nada mais é que a modificação do saber dividida em etapas, onde o conhecimento originalmente publicado deve ser transformado em conhecimento acessível e de eficaz compreensão para leigos e iniciantes no assunto. Assim afirma Filho, Pinheiro e Pietrecola (2001, p. 3):

Como elemento de análise do processo de transformação do saber, a *Transposição Didática*, estabelece a existência de três estatutos, patamares ou níveis para o saber: (a) o Saber Sábido (savoirsavant); (b) Saber a Ensinar (savoir à enseigner) e (c) Saber Ensinado (Savoirensigné)

O ensino superior é visto como o grau mais próximo do chamado “saber sábido”. Sendo assim, torna-se primeiro degrau a ser percorrido na carreira científica. Ainda de acordo com Filho, Pinheiro e Pietrecola (2001, p. 3) “O Saber Sábido é fruto do trabalho produtivo de uma esfera própria composta basicamente pelos intelectuais e cientistas que, constroem aquilo que também é denominado de conhecimento científico”.

Com essa proximidade, existe a necessidade de uma transição intelectual, ou seja, uma iniciação do aluno de ensino básico no mundo acadêmico. O mesmo anteriormente acostumado com uma linguagem puramente simplificada deve ser agora iniciado no, para ele, então complexo mundo científico onde o simbolismo matemático e os conceitos estabelecidos tomam caminhos diferentes dos que conheceu anteriormente.

Os livros textos são amplamente utilizados tanto por professores como por acadêmicos no ensino superior. O livro didático é segundo Silva et al. (2013, APUD BRUNO MENEZES, 2006) o saber manifestado em forma textual, atuante como uma ferramenta reguladora que representa instituições que geram o ensino.

O papel dos manuais é de ser um objeto didático completo que possibilite a

compreensão do aluno acerca de assuntos importantes a sua formação. Porém esse fato, não vem sendo detectado. De acordo com Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2003, p. 36) “Pesquisas realizadas sobre o LD (Livro Didático) desde a década de 70 têm, contudo, apontado para suas deficiências e limitações (...)”.

Para a transposição didática, livros textos são consequência do processo de transformação do “saber sábio” para o chamado “saber a ensinar” que segundo Chevallard é uma esfera onde se encontra o conhecimento científico original modificado para uma forma didática.

Nos livros textos verifica-se uma transmissão excessiva de informações onde o discente é tratado como um receptor de dados, uma espécie de máquina processual sem necessidade de reflexão e contextualização. Assim, logo se constata as limitações dos estudantes em relação ao formalismo utilizado no conteúdo científico proposto por livros didáticos.

A Física, assim como outras áreas da Ciência, tem os manuais como à maior fonte de pesquisa dos acadêmicos. Constantemente, os discentes os utilizam de forma própria para muitas vezes, além de estudar o conteúdo proposto em sala de aula pelo professor, sanar dificuldades decorrentes de um ensino básico de baixa qualidade.

Sendo assim considerando o contexto dos recém egressos à universidade, pode-se estabelecer a seguinte pergunta: como transpor o conhecimento científico no livro didático em nível de compreensão sem que se perca a essência do saber sábio?

Em uma reflexão a essa questão, entende-se que essência é referente a todo o contexto científico e histórico presentes no momento da construção do saber científico. Sobre isso, pode-se estabelecer a dúvida sobre o que está sendo ensinado nas instituições de ensino, os alunos estão tendo contato com um saber puramente objetivo ou um contexto científico que permite o aluno entender não só de problemas físicos, mas também de como é o caráter epistemológico da própria Ciência e do cientista nela inserido?

Uma proposta colocada como didática por manuais é a mera simplificação de termos que torna o formalismo matemático ainda muito mais complexo. É verificada sua incompletude quando comparado com o conhecimento original de que se derivou. Muitos termos de grande importância são menosprezados e deixam de ser inseridos, sendo assim feitos retalhos no assunto tratado. Tais retalhos podem gerar uma quebra de raciocínio no momento da aprendizagem, se tornando termos “avulsos”.

Outro problema encontrado nos livros textos é a falta de contextualização histórica e científica dos assuntos abordados. Encontram-se fórmulas e deduções matemáticas

que são deixadas para darem por si só significado ao tema estudado. De que forma é possível entender o conhecimento que está em constante transformação sem se atentar a sua dinâmica com o contexto em que se insere? É muito mais eficaz avaliar as questões envolvidas no problema principal para entendê-lo que apenas o próprio problema em uma linguagem matemática desconhecida ou mal compreendida pelos acadêmicos.

Partindo desses pressupostos este trabalho se propõe a discutir a problemática da transposição de um artigo científico em livros textos utilizados por acadêmicos de graduação para a aprendizagem de assuntos científicos abordados em sala de aula. O artigo em questão é uma versão traduzida, denominada “Sobre a teoria quântica da radiação”, do original “Zum Quantum Theorie der Strahlung”, publicado em *Physikalische Zeitschrift*, por Albert Einstein em 1917.

Ressalta-se que a tradução, por si só já é uma transposição e está sujeita a alterações de sentidos e significados do conteúdo científico original. Porém o tradutor do artigo deixa evidenciado em uma nota presente no rodapé do mesmo, que devido a várias correções e procedimentos é fiel ao conteúdo original. Essa tradução foi publicada pela conceituada Revista Brasileira do Ensino de Física, o que lhe confere uma maior confiabilidade quanto à sua validade.

Além dessa tradução, também será utilizado como base na análise desse trabalho o artigo “Relendo Einstein sobre a radiação”, tradução do artigo “Rereading Einstein on radiation”, publicado originalmente na revista *Physics Today* 58,30 (2005), por Daniel Kleppner.

Essa pesquisa tem como objetivo analisar introdutoriamente como termos encontrados no artigo “Sobre a teoria quântica da radiação”, são inseridos nos seguintes livros textos: Curso de Física Básica, volume 4 de H. Moysés Nussenzveig; Física Quântica de Eisberg e Resnick e Física para Cientistas e Engenheiros volume 3 dos autores Tipler e Mosca. Os termos em questão são: os conceitos de emissão espontânea, absorção e emissão estimulada; natureza do fóton; bases teóricas utilizadas por Einstein em seu artigo; relação entre Einstein e os estados estacionários; Einstein e sua negação quanto ao caráter probabilístico da mecânica quântica. Serão avaliados como são tais feitas as inserções sob o luz de elementos da transposição didática, sendo eles a dessincretização, despersonalização e descontextualização.

Esse trabalho tem como método de pesquisa a revisão e análise bibliográfica, tendo como fundamentação teórica principal Yves Chevallard, assim como outras inúmeras fundamentações de apoio como Daniel Kleppner.

2 TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA

2.1 Contextualização histórica

Em 1975, surge o contexto conceitual de Transposição Didática em uma proposta de estudo do sociólogo Michel Verret em sua tese de doutorado “Le tempsdesétudes”. Tentando verificar as funções sociais dos estudantes, Verret se propõe a fazer um estudo sociológico da contribuição na sociedade do tempo escolar dos mesmos (Chevallard, 1991 apud Leite 2004).

Verrat se depara então com a circulação dos saberes restringidos na prática escolar e propõe que esse tempo se dividiria em esferas internas do conhecimento e prática. De acordo com Leite (2004, p. 47), para Verrat, “haveria o tempo do conhecimento, regulado pelo próprio objeto de estudo, mas haveria também o tempo da didática, definido em função das condições de “transmissão” desse conhecimento”.

Para Verrat, didática nada mais era que a própria transmissão do saber. Nessa prática, a didática se dividiria em prática do saber e prática da transmissão. Na última, o saber inicial deveria sofrer modificações para se agregar aos limites institucionais e temporais escolares, sendo assim, passaria por alguns processos. Ainda segundo os mesmos autores, para Verrat o saber:

(...) deve tornar-se “programável”, isto é, deve ser passível de recortes que possibilitem sequências aceitáveis, tanto por critérios pedagógicos como institucionais; passa também por um processo de “dessincretização”, na medida em que as especializações da prática da criação teórica são substituídas por especializações pertinentes às práticas da aprendizagem; desliga-se dos vínculos autorais, apresentando-se como um saber “despersonalizado”; organiza-se de modo a permitir o “controle social das aprendizagens”, expresso nas práticas de avaliação para certificações; precisa ser um conhecimento com um grau de “publicidade” que viabilize sua apropriação pelos que deverão transmiti-lo e recebê-lo. (CHEVALLARD, 1991 apud LEITE 2004, p. 48).

Sendo assim, o conteúdo a ser ministrado em sala de aula é selecionado em delimitações temporais e burocráticas escolares, tirando sua própria autonomia quanto objeto de saber. São selecionados apenas os escolarizáveis, reformulando o conteúdo inicial a um caráter mais pragmático e rotineiro. De acordo com Verrat, existe uma manipulação do saber no ensino.

Nesse contexto é publicado em 1985 o trabalho “La Transposition Didactique” de

Yves Chevallard, um didata francês conhecido principalmente por suas obras na transposição didática. Em muitas obras se baseou em Michel Verret. Se tratando da mesma essência o que diferenciava ambos era a especificação de Chevallard para o campo da matemática, que lhe gerava novos problemas e novas fundamentações teóricas para seus estudos.

Em 1991 Chevallard em parceria com Marie-Alberte Joshua, desenvolve um estudo de caso intitulado “Um exemplo de análise de transposição didática”, no qual se pesquisa o percurso do conceito matemático de distância desde sua inserção no meio científico em 1906 pelo matemático francês Maurice Fréchet até a sua incorporação, em 1971 no ensino fundamental francês.

As influências que Verrat tem sobre a primeira obra de Chevallard são notáveis tanto em suas citações como em sua abordagem epistemológica, trata-se também das mudanças sujeitas ao saber durante o processo de sua transposição. Porém Chevallard se posiciona contra a concepção de “transmissão” inicialmente proposta. Para ele esta terminologia sugere uma superficialidade do conhecimento. O autor defende uma “transformação adaptativa” ao contexto em que se insere (ibid. p. 50).

2.2 Teoria da Transposição Didática

Chevallard tem como objetivo problematizar o saber escolarizado. Para ele esse assunto é visto como secundário no ensino, sendo as reflexões restritas apenas à relação professor-aluno. O autor defende que para os que se situam nas relações pedagógicas ocorre uma naturalização dos saberes escolares, sendo que os mesmos acabam por se caracterizarem como não problemáticos e equivocadamente coerentes às práticas inseridas no ambiente escolar.

Dentro de suas análises, apoia uma especificidade epistemológica para suprir o necessário distanciamento entre o saber produzido pelos cientistas, ao qual denomina saber sábio e o saber encontrado na prática didática escolar, o chamado saber ensinado. Para ele não se pode tratar o saber das relações didáticas como igual ao saber científico inicial, pois está inserido em um contexto diferente, o que sugere novas necessidades a serem supridas.

Ocorre uma resistência, principalmente por parte dos professores, a questão epistemológica inserida na problematização curricular como fundamento para o ensino. É necessário considerar que os aspectos presentes na mesma devem se sobressair a uma abordagem epistemológica puramente instrumental, de cunho lógico tradicional. Assim, tal

abordagem necessita ser:

(...) uma abordagem epistemológica crítica, o que não nega a historicidade e o conteúdo social do saber, isto é, não nega à dinâmica conflitiva das relações sociais de poder que perpassam a criação e distribuição do conhecimento. (LEITE, 2004, p. 52)

Em sua tese, Verrat estabelece uma abordagem sociológica dando espaço para a incorporação de cunho epistemológico. Porém, é Chevallard quem vai aderir à questão pedagógica em sua obra.

Para Chevallard, a Ciência perdeu seu caráter e a questão epistemológica vem com a intenção de resguardar essa essência. Decorrendo de sua preocupação com o estatuto da matemática como ciência, afirma que como condição inicial de existência de uma ciência deve-se o fato de que esta “deve ocupar-se de um objeto real, que existe independentemente do olhar que a transformará em objeto de conhecimento” (CHEVALLARD, 1997 apud LEITE, 2004, p. 53).

Existem então, segundo o autor, processos necessários para se introduzir um conceito científico em sala de aula. Passando por três etapas de caracterização, se diferem de acordo com seu entorno. O saber científico passa assim, por diversas modificações.

Partindo desses pressupostos, Chevallard traz em suas obras uma visão revolucionária sobre como o conhecimento interage com o meio em que se encontra. Trata-se de uma reformulação no ensino vigente de sua época, da visão até então distorcida sobre como ensinar. Essa análise conceitual estabelece novos horizontes para o ensino, atendendo também o próprio ato da aprendizagem, sem que haja uma reprodução equivocada de suficiência em apenas transmitir conceitos, como se os mesmos, independente de suas complexidades, fossem objetos de inteira responsabilidade do estudante no ato da aprendizagem, perdendo assim seu caráter formativo e integralista, no aspecto de adaptação ao contexto em que se insere.

2.3 Etapas do saber

O saber produzido numa esfera científica, ou seja, em um contexto de formulações teóricas e práticas experimentais que geram contribuições para a comunidade científica, é denominado segundo Chevallard por “savoirs savants” ou saber sábio. Esse fazer científico, geralmente ocorre em centros ou institutos de pesquisas como, por exemplo, a universidade. O produto desse fazer, se constrói com uma linguagem específica universal para os atuantes da

área. Após sua “finalização”, ocorre a divulgação para a sociedade por meio de revistas científicas, teses ou dissertações, livros, dentre outros materiais de cunho acadêmico.

Nesse momento, o conhecimento tem sua forma inicial, composta por problemas científicos e contextuais que são inibidos no saber científico elaborado. No primeiro, pode-se considerar um conhecimento gerado por inúmeras especulações iniciais e aprimoramentos, no qual o cientista se depara com obstáculos teóricos e práticos, recorrendo à lógica e a outros conhecimentos anteriores ao seu, para se aperfeiçoar. No segundo e não menos importante, encontram-se os contextos econômicos, sociais e culturais, que se inserem indiretamente na elaboração do conhecimento. Apesar do saber sábio apresentar-se limpo, sem conflitos e em uma linguagem impessoal, o cientista não perde seu caráter humano, o que interfere na produção científica.

Esse perfil errôneo do cientista, onde o mesmo é visto como um gênio que trabalha de forma individual em seu laboratório e comumente promove descobertas científicas, é amplamente difundido tanto em livros usados em sala de aula, quanto por muitos professores, no momento em que apresentam introdutoriamente o conteúdo em sala de aula. Com isso, é reforçado um caráter neutro e objetivo da ciência entre os estudantes, caracterizando erroneamente o contexto do cientista e assim como afirma Zanon e Machado (2013, p. 51) “(...) ignorando-se o papel do trabalho coletivo e cooperativo, reforçando, assim, a ideia de que os resultados obtidos são méritos de um só cientista e que o acesso e o caráter humano inexistem.”.

Ainda no processo de adaptação que passa o saber, encontra-se o “savoirs à enseigner” ou saber a ensinar. Essa é uma etapa muito importante tanto para o estudante, quanto para o professor. O conhecimento agora se depara com inúmeras intervenções, de pessoas responsáveis pela esfera da divulgação científica. O saber sábio é adaptado ao ensino, sendo reconfigurado de acordo com as necessidades vigentes.

Nesse momento, o saber a ensinar está presente nos livros didáticos, nos programas curriculares e demais materiais da área de ensino. Agora o conhecimento deve ser acessível tanto aos professores que o vai ensinar, quanto para os alunos que o vai aprender.

O “savoir enseignés” ou saber ensinado é o resultado das etapas anteriores, agora em sala de aula. Nessa esfera, o professor utiliza dos manuais, ou seja, do saber a ensinar, de forma direta ao elaborar sua aula ou até mesmo no momento da aplicação da mesma. Aqui, o saber encontra sua prática pedagógica, onde está sujeito às inúmeras situações envolvendo a relação professor-conhecimento-aluno.

Assim, de acordo com Chevallard (1991), o conhecimento é manipulado e

alterado para ser ensinado, de acordo com as necessidades presentes na sociedade. Existem também interesses políticos e culturais, presentes no processo de alteração do saber. Logo, o conhecimento não pode ser considerado uma verdade absoluta, pois está diretamente dependente do entorno em que insere, não sendo assim apenas dados coletados, analisados pela lógica humana e repassados sem interesses ou intenções.

Chevallard defende a ideia de uma nova conjuntura para o saber sábio, quando o mesmo tiver se inserindo no contexto da educação. Para ele, é necessário que se filtre apenas os saberes relevantes para a prática, ou seja, seria um ajuste de conhecimento onde é importante que o saber perca suas características referentes ao saber sábio e se enquadre em um novo ambiente com novas possibilidades, se tornando relevante para o projeto de ensino.

Nesse contexto encontra-se a chamada noosfera, que de acordo com ERROBIDART (2010), seria uma esfera transformadora que engloba o entorno educacional, ou seja, os papéis da sociedade direcionados ao ambiente escolar, tais como: professores, técnicos do governo das esferas municipais, estaduais e federais. Essa esfera está sujeita a interesses também externos à educação devido à composição de seus representantes e isso influencia no momento da escolha e da manipulação dos conhecimentos iniciais, presentes no saber sábio, para fins educacionais.

A figura 1 a seguir representa como se encontra a posição da noosfera dentro de seu contexto, na divisão entre as linhas da sociedade e do sistema de ensino:

Figura 1: Relação entre noosfera e seu contexto social.



A noosfera faz assim, a ponte entre a sociedade e o sistema de ensino. Sofre com pressões vindas das demandas sociais, que pedem por processos significativos para uma futura produção. Isso exige não somente a manipulação nos manuais, mas também novas sugestões para as abordagens metodológicas dos professores para que se consiga atender a essas demandas. Assim como sofre com pressões vindas de fins educativos, quando ,por exemplo, algum saber científico é visto como inerente ao contexto escolar deve ser retirado dos livros didáticos ou manipulado de forma que atenda as necessidades ali presentes.

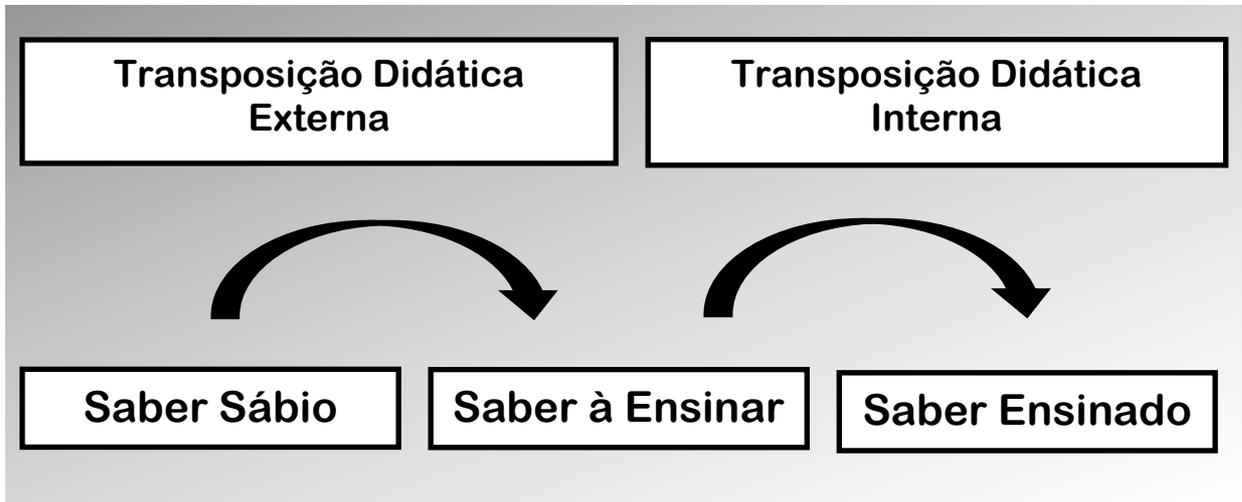
No momento da textualização do conhecimento no saber a ensinar, a noosfera sujeita o saber científico a algumas etapas para que possa atender a todas as pressões citadas anteriormente, assim como, satisfazer os interesses próprios de seus representantes. No momento dessa textualização, o saber sábio é fragmentado e selecionam-se apenas os saberes parciais, que vão atender as demandas exigidas. Nessa etapa, ocorre a chamada dessincretização. Como consequência desse processo de fragmentação, o conhecimento sofre uma descontextualização, perdendo suas características e especificidades contextuais de formulação inicial, para que possa posteriormente ser generalizado. Para que o conhecimento se desprenda de qualquer motivação pessoal ou ideológica de seus formuladores, ocorre a etapa de despersonalização, possibilitando-se assim que o mesmo se encaixe agora em um contexto escolar.

Após passar por essas etapas, o conhecimento agora passa por outras de recontextualização, onde perde seu caráter inicial e adquire um caráter escolar direcionado. O primeiro elemento a ser inserido nesse novo processo é a programabilidade. Nesse, é pensado e formulado uma sequência lógica do discurso, em forma textual com caráter temporal e racional. Forma-se com início, meio e fim para que se tenha uma forma mais acessível dentro da aprendizagem. É pensada assim, uma aquisição progressiva do saber. Outro elemento desse contexto é a publicidade. Após definidos os objetivos da transposição didática, os mesmos são evidenciados e expandidos para que se viabilizem a quem irá adquiri-los em sua aprendizagem. Agora, tem-se uma forma de controle social da aprendizagem.

Esses processos pelos quais passam o saber, (saber sábio, saber a ensinar e saber ensinado) tendem a se dividir em duas esferas, de acordo com Chevallard (1991, apud ERROBIDART, 2010): transposição didática externa e transposição didática interna (figura 2). A primeira engloba o saber sábio e o saber a ensinar. Seria então a textualização ou materialização do saber juntamente com suas transformações. Na segunda já se tem o saber sábio, onde o conhecimento já transformado anteriormente pela outra etapa é agora utilizado

na ação do professor em sala de aula.

Figura 2: Divisão da transposição didática no contexto interno e externo.



Fonte: “do autor”

A transposição externa contém os elementos externos ao contexto escolar. Nela ocorre a transformação do conhecimento em nível textual decorrente do conhecimento primeiro elaborado pelos cientistas e sucessivamente sua linguagem didática que deverá facilitar a compreensão de seu conteúdo. Assim, são elaboradas leis e diretrizes, manuais de ensino, programas curriculares, dentre outros, pelos representantes situados na noosfera.

Dentro da transposição didática interna, o professor é o maior agente das transformações ocorridas no âmbito escolar. Com base nos materiais gerados pela etapa anterior (programas curriculares, manuais, etc.) ele se orienta elaborando o plano da aula que irá ministrar em sala e posteriormente, apresenta os conhecimentos transformados e adquiridos anteriormente aos seus alunos, fazendo assim uma nova transformação.

O próprio ato de transpor está sujeito a uma relevância contextual do momento em que se é executado. É necessário que essas transformações geradas pela transposição didática em seu processo interno ou externo, estejam de acordo com os interesses da sociedade situados além do sistema didático. Por isso, para compreender o interior desse sistema, precisa-se conhecer a noosfera e a sociedade em que está inserido. Deve-se estar em constante atualização com o projeto social em que se encontra. (CHEVALLARD, 1991 apud ERROBIDART, 2010).

Deve-se assim, ocorrer uma compatibilização, que nada mais é que a noosfera

atendendo as demandas sociais do meio em que se insere, fazendo o intermédio entre sociedade e sistema didático. É necessário que haja interesse da sociedade para promover ao conhecimento um caráter didático, direcionado ao ensino. Esse processo de construção social não ocorre naturalmente, exige-se uma atualização nas esferas transformadoras do saber, um exemplo seria nos manuais decorrentes do saber a ensinar e do processo de transposição didática externa.

Um saber científico para ser delimitado e selecionado, deve apresentar relevância para a sociedade e também veracidade a mesma. Precisa ser assim, um saber consensual, onde o conjunto social que circunda a noosfera, pais, professores e alunos, o tome como verdade no momento em que for ensinado. Assim, os conteúdos mais recentes, sofrem um maior preconceito quanto a sua legitimidade, quando comparado com os conteúdos tradicionais ou mais antigos.

Ao selecionar o saber que sofrerá as etapas da transposição, a noosfera deve levar em consideração os aspectos moral e biológico do mesmo. O primeiro pode ser considerado um desgaste quando encontrado no saber a ensinar e distanciado das expectativas da sociedade a seu respeito. Já o aspecto biológico é visto como insuficiente, quando o saber se torna ultrapassado em relação ao conhecimento que o iniciou, não acompanhando o desenvolvimento científico que é muito mais ligeiro que o saber a ensinar ou que o saber ensinado. Assim deve ocorrer a chamada atualidade biológica e atualidade moral, para que o conhecimento em questão seja transformado em um saber a ensinar e posteriormente se encontre na esfera do saber ensinado, acompanhando os desenvolvimentos sociais e científicos.

De acordo com Chevallard, o saber ainda deve ter a característica de operacionalidade, ou seja, deve ser de utilidade para o professor em sala de aula, contendo exercícios e problemas que possibilite ao mesmo desenvolver o conteúdo e avaliar a aprendizagem de seus alunos. Permite-se assim, a criatividade didática de exclusivo uso escolar com a intenção de melhorar-se o ensino. Em maior parte das vezes, não se tem nenhuma ligação com o contexto científico original.

Depois de inserido no saber a ensinar, segundo Chevallard deve haver uma terapêutica, ou seja, uma avaliação do conhecimento transformado e inserido no ambiente escolar em sua respectiva adaptação. Essa avaliação vai definir as possibilidades e limitações desse conhecimento e decidir sua permanência ou exclusão tanto dos programas curriculares, quanto dos manuais ou livros didáticos inseridos na escola, através de um acompanhamento e verificação dos resultados obtidos.

A transposição didática não pode promover um afastamento entre saber sábio e saber a ensinar, ela deve ser objeto transformador e adaptador e isso não lhe dá direito de anular a essência científica do conhecimento processado. Para não correr esse risco, Chevallard propõe que é dever da noosfera fazer uma vigilância epistemológica constante, para impossibilitar aberturas e incoerências entre as duas esferas transformadoras do saber: saber sábio e saber a ensinar.

Considerando assim os aspectos citados anteriormente, a noosfera precisa estar constantemente atenta e atualizada para que se conseguir atingir os objetivos intencionados com os saberes brevemente selecionados. Necessita acompanhar os resultados obtidos para verificar se de fato o propósito estabelecido com a transposição didática está sendo alcançado e impedir um afastamento entre os saberes que o cientista produz em seu âmbito e os saberes que estão sendo ensinados por livros ou por professores, em sala de aula.

3 EINSTEIN E O CONCEITO DE RADIAÇÃO

3.1 Conceito físico de radiação

A radiação não é um conceito fácil de tratar no ato da aprendizagem, devido ao alto grau de complexidade que traz em suas definições. Quantitativamente, quando aprofundada em um curso de física básica de nível acadêmico, exige um grau mais elevado de cálculo e compreensão de conceitos muitas vezes abstratos.

Essa complexidade retrata também que a teoria não está desconectada das fórmulas trazidas tanto por artigos de cunho científico, quanto por manuais utilizados dentro e fora de sala de aula. Sendo assim, o conceito se torna ainda mais difícil de compreender, pois exige um alto grau de articulação e imaginação do aluno, por não estar diretamente exposto ao sensível do ser humano.

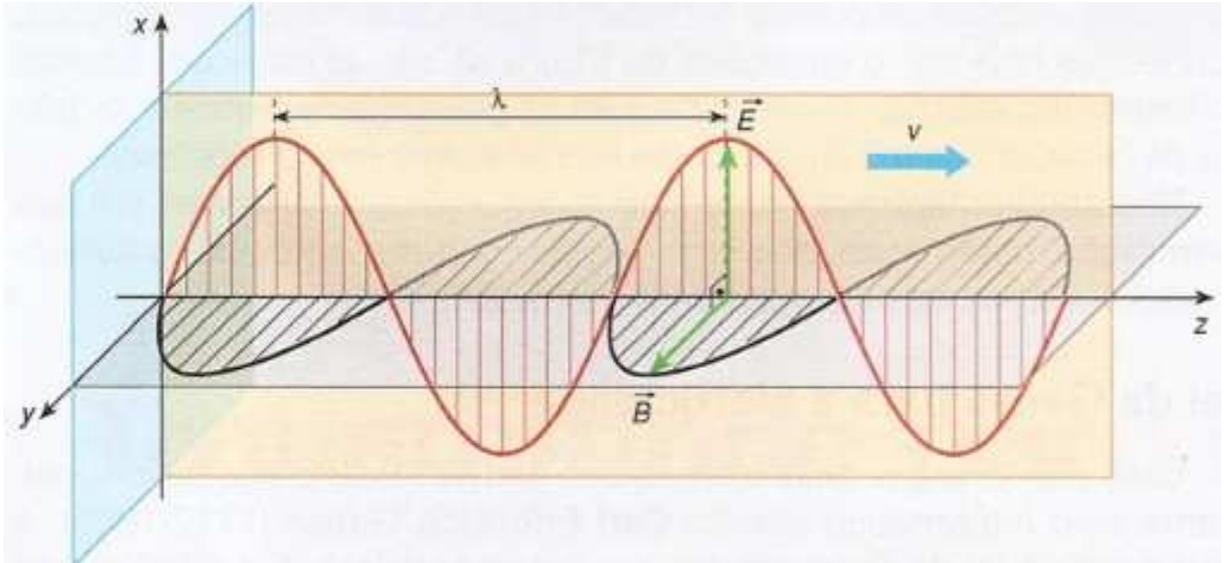
Assim, surge a necessidade de um leque de opções auxiliando o momento da aprendizagem. A teoria deve ser muito bem desenvolvida e coerente, para que não se perca a essência do conceito e suas possibilidades de aprofundamento no assunto.

O conceito de radiação está presente no cotidiano do ser humano. No senso comum, essa palavra retrata a ideia de “perigo”. Porém o conceito apresenta muitos aspectos importantes para a ciência. Inicialmente, é necessária uma breve apresentação ao termo.

A radiação, atualmente, é entendida como a emissão e propagação de energia em forma de ondas eletromagnéticas ou em forma corpuscular. A primeira se compreende em uma determinada área e significa na literatura como sendo a própria onda eletromagnética. Já a segunda são partículas subatômicas que detém massa e uma alta energia cinética, sendo emitidas por núcleos de átomos instáveis.

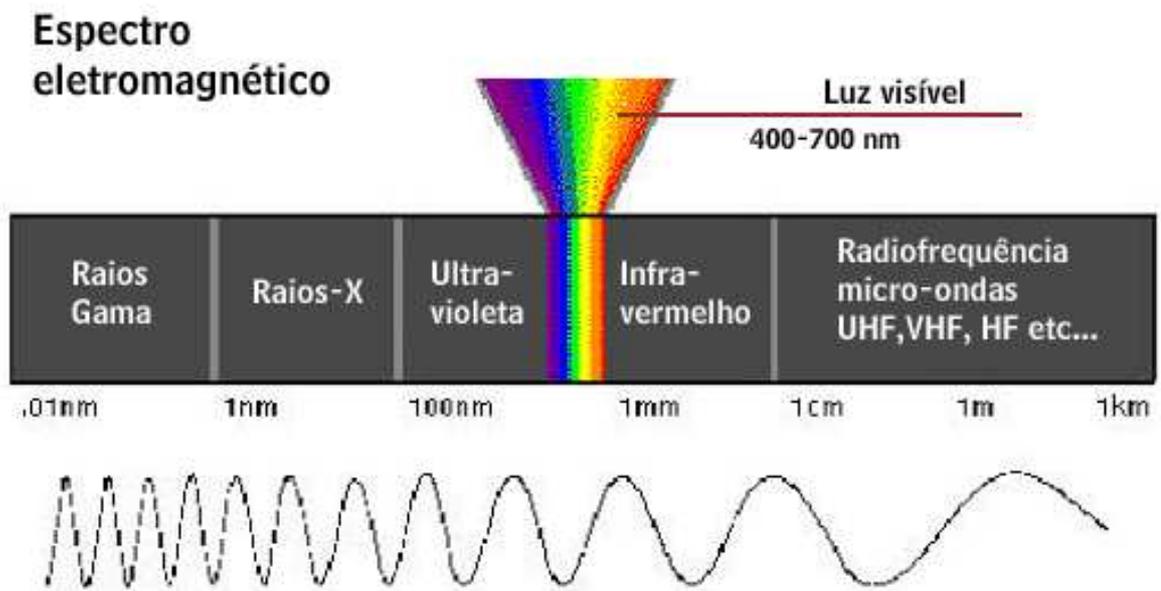
A onda eletromagnética apresenta campos elétricos e magnéticos oscilantes, assim como uma direção de propagação, sendo que todos os três são perpendiculares entre si (figura 3). Seu espectro (figura 4), é dito como contínuo, sendo que cada intervalo de comprimento de onda recebe um nome específico: raios gama, raios x, ultravioleta, luz visível, infravermelho, microondas, TV e ondas de rádio FM, ondas curtas, AM e ondas longas. Ela pode se propagar no vácuo ou em meios materiais.

Figura 3: Interação dos componentes de uma onda eletromagnética (campo elétrico E , campo magnético B e direção de propagação com determinada velocidade v).



Fonte: http://asondaseletromag.blogspot.com.br/2012_11_01_archive.html

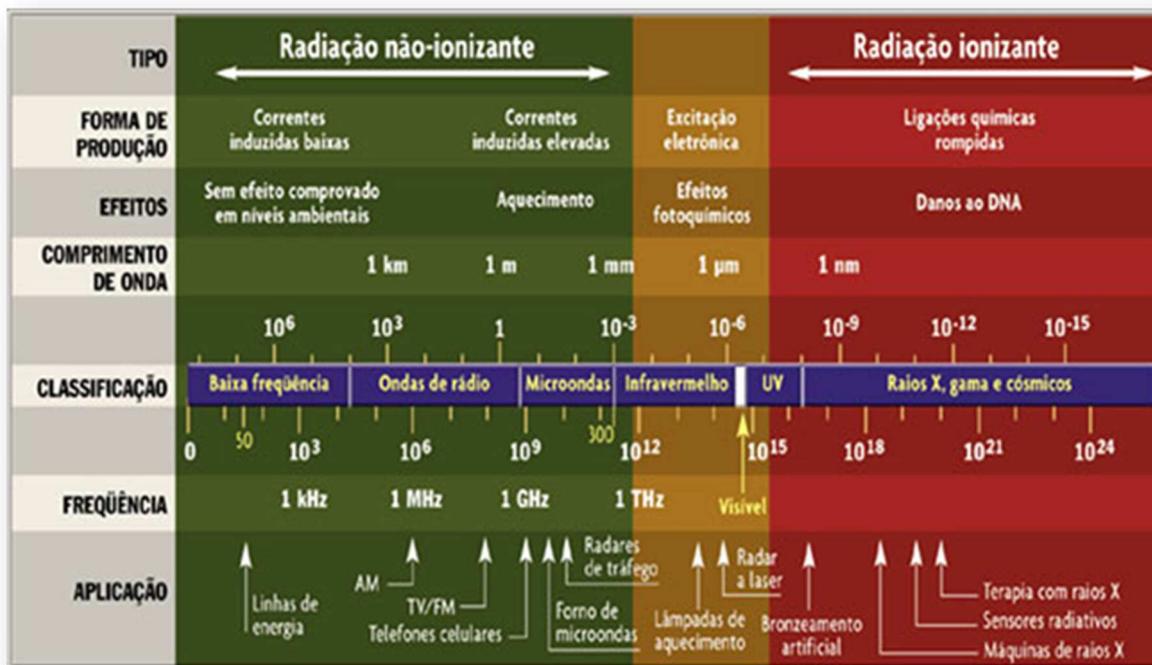
Figura 4: Espectro contínuo de uma onda eletromagnética.



Fonte: <http://www2.ufpa.br/ensinofts/radiologia.html>

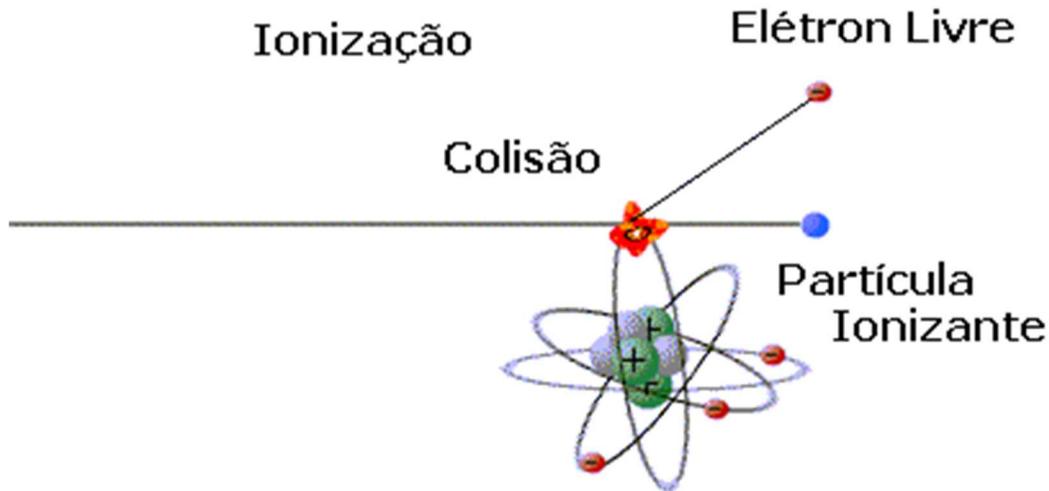
Na interação com a matéria, a radiação pode se dividir em duas vertentes (figura 5): ionizante e não ionizante. A primeira designa qualquer radiação, que contenha ou não massa de repouso, podendo remover elétrons de átomos e moléculas (figura 6). A segunda, ao contrário da primeira, não consegue ionizar átomos ou moléculas, porém cede parte ou toda sua energia, configurando uma excitação, ou seja, aumentando a energia interna dos elétrons com que interagiu, causando então modificações em seus movimentos.

Figura 5: Características de radiações ionizantes e não ionizantes.



Fonte: <http://slideplayer.com.br/slide/1353701/>

Figura 6: Processo realizado por uma radiação ionizante.



Fonte: <http://www.radiacao.com.br/radiacaoionizante.html>

A radiação eletromagnética ionizante pode ser designada como um conjunto de várias partículas, denominado como fóton. Um fóton possui energia e momento, sendo que devido à presença do último, podem ocorrer ‘colisões’ onde o fóton transfere energia e momento para outras partículas.

Existem radiações distintas na natureza. A diferença entre esses tipos de radiações não se dá em termos físicos, mas sim na origem de cada radiação. Dentre as radiações existentes, os principais tipos são designados como radiação α , β e γ . A radiação α se forma a partir da constituição de um núcleo atômico de hélio formado por dois prótons e dois nêutrons, a radiação β é formada por elétrons e pósitrons e a radiação γ forma-se por ondas eletromagnéticas que penetram a matéria de forma profunda.

De acordo com Yoshimura (2009), as principais interações existentes entre matéria e fótons de energias na faixa de poucos keV até dezenas de MeV são: espalhamento coerente (ou efeito Rayleigh), efeito fotoelétrico, efeito Compton (ou espalhamento inelástico), produção de pares elétron-pósitron e reações fotonucleares.

3.2 Artigo: Sobre a teoria quântica da radiação

Albert Einstein sempre deixou evidenciada sua vontade de criar teorias simples e

elegantes, independente do grau de complexidade que o assunto tratasse. Fosse no ramo da teoria quântica ou da relatividade, ele se sobressaía com suas ideias inovadoras, revolucionando conceitos e leis até então considerados invioláveis. O mais notório é que Einstein partia de simples definições para extrair grandes ideias. Kleppner (2004), afirma que:

Albert Einstein tinha um talento genial para extrair teoria revolucionária de simples considerações: do postulado de uma velocidade universal, ele criou a relatividade especial; do princípio da equivalência, ele criou a relatividade geral; de argumentos elementares baseados em estatística, ele descobriu os quanta de energia. (KLEPPNER, 2004, p.1)

Em 1905 e em alguns anos posteriores, Einstein voltou seu interesse a problemas envolvendo estatística e flutuações térmicas, ou seja, flutuações de energia da luz emitida por um corpo negro. Dentro desse período, desenvolveu trabalhos como “a quantização do campo de radiação”, comumente citado como o artigo do efeito fotoelétrico, e introduziu o que mais tarde seria chamado por Niels Bohr de “princípio da complementaridade”, que trata de flutuações estatísticas exibindo um comportamento dual (onda e partícula) nos campo de radiação térmica. Davidovich (2006, p. 3), afirma essa possível introdução de Einstein, dizendo que “(...) muitos anos antes da introdução do conceito de complementaridade por Niels Bohr, Einstein aponta para a dualidade onda-corpúsculo da luz”.

De acordo com Kleppner (2004), no período de 1907 a 1915, Einstein se voltou inteiramente a problemas envolvendo a gravidade, formulando sua teoria da relatividade geral. Em 1916, seu interesse volta-se para explicar a relação entre matéria e radiação, criando então uma teoria quântica da radiação onde descreve processos fundamentais que permitiram avanços na Ciência. Atualmente, esses processos fundamentais, possibilitaram a formação de imagens, partindo da radiação do espectro eletromagnético, tornando-se então, fundamentais para a atual compreensão do universo, além de terem possibilitado várias criações, como os lasers e os masers. No mesmo ano, Einstein volta-se ao problema de como é atingido o equilíbrio térmico na radiação, e escreve mais três artigos sobre tal assunto.

Em 1917, Einstein publica o mais famoso desses três artigos: “Sobre a teoria quântica da radiação”. Nesse, faz várias suposições partindo de ideias da teoria clássica, por ele consideradas simples, que em sua opinião, caíram no esquecimento após o desenvolvimento da teoria quântica. O decorrer desse capítulo será totalmente baseado no artigo citado anteriormente.

Em seu artigo, Einstein relata grande apreciação pela similaridade entre a curva de distribuição cromática da radiação de corpo negro e a distribuição de velocidades de Maxwell.

São citados vários acontecimentos da física teórica e mostrado uma relação consistente entre eles e o desenvolvimento da Ciência. Para ele, Wilhelm Carl Werner Otto Fritz Franz Wien baseado na similaridade citada anteriormente, foi conduzido a determinar sua lei do deslocamento e posteriormente, uma fórmula geral para a radiação, conhecida como correta para valores de altas frequências.

A teoria clássica, para Einstein, teria conduzido à fórmula de Rayleigh, referente à baixas frequências e não se podia por ela, fornecer então uma formula utilizável para a radiação. Assim, não se poderiam obter contribuições da mecânica, nem da eletrodinâmica, nessa nova fase em que se encontrava a física.

Após o desenvolvimento da fórmula da radiação proposta por Planck para elementos discretos de energia, ocorre segundo Einstein, um avanço na teoria quântica e isso ocasionou que a ideia proposta por Wien fosse levada ao abandono pelos físicos da época.

Partindo dessas considerações, Einstein interessado na interação entre matéria e radiação, propõe uma dedução para a fórmula da radiação de Planck, fazendo uma relação entre a mesma e as possibilidades sugeridas por Wien, baseando-se nos pressupostos básicos da teoria quântica.

Em seu trabalho, foi relevada ainda a similaridade entre a distribuição de velocidades de Maxwell e a curva de distribuição cromática da radiação de corpo negro. De acordo com Einstein (1917, p. 93): “Esta dedução é interessante não apenas porque é simples, mas especialmente porque parece que ela elucida fenômenos até então inexplicáveis de emissão e absorção da radiação pela matéria.”

Einstein deduz a fórmula de Planck, partindo do fato de que a distribuição de moléculas em estados de equilíbrio térmico compatíveis com a teoria quântica encontra-se em equilíbrio dinâmico com a radiação de Planck, baseando-se na condição da teoria quântica que exige que a distribuição das moléculas entre seus estados de energia interna deve ser estabelecida pela absorção e emissão da radiação.

Einstein supõe que caso sejam corretas as hipóteses sobre a interação entre radiação e matéria elas deveriam fornecer além do que a correta distribuição das energias internas das moléculas. Ainda de acordo com o autor:

De fato, na absorção e emissão de radiação, transfere-se momento para as moléculas; isto implica que através da mera interação de radiação com moléculas, estas adquirem certa distribuição de velocidades. Claramente, esta distribuição deve ser igual àquela adquirida pelas moléculas através de suas interações mutuas, isto é, ela deve ser igual à distribuição de Maxwell. Deve-se exigir que a energia cinética média (por grau de liberdade) adquirida por

uma molécula no campo de radiação de Planck a uma temperatura T , seja igual à $kT/2$; isto deve ser verdadeiro independentemente da natureza das moléculas consideradas e independentemente das frequências por elas emitidas ou absorvidas. (EINSTEIN, 1917, p. 93)

Einstein relata que para obter os resultados desejados, seria necessário que suas hipóteses sobre troca de energia, apresentadas em seus trabalhos anteriores devessem ser completadas. Assim, propõe uma questão: uma molécula adquire impulso no momento em que absorve ou no momento em que emite energia ?

Respondendo a sua própria pergunta, parte de um exemplo da eletrodinâmica clássica, referente à emissão. No mesmo, se toda radiação for emitida em uma mesma direção, por um corpo, o corpo recebe um recuo (momento). Porém se essa energia for emitida em um espaço simétrico, não haveria recuo, um exemplo citado foi às ondas esféricas.

O exemplo anterior está relacionado com a teoria quântica, afirmando-se que no momento em que uma partícula, durante uma transição quântica (de um estado para outro), absorve ou emite energia na forma de radiação, um processo elementar deve ser parcial ou completamente direcionado no espaço para se conseguir atingir uma teoria válida, não podendo então ser não-direcional (simétrico).

Adentrando no conteúdo físico de seu artigo, Einstein introdutoriamente descreve que na teoria quântica, o estado de uma molécula independe de sua direção e de seu movimento translacional. Essa molécula, pode apenas assumir um conjunto discreto de estados contendo energias internas. Um conjunto dessas moléculas formaria um gás com determinada temperatura e quantidade relativa de estados. Esses aspectos poderiam ser descritos por uma fórmula de distribuição canônica da mecânica estatística.

Einstein sugere que tal fórmula pode ser deduzida partindo do princípio de Boltzmann ou por meio de técnicas termodinâmicas. Ela seria uma generalização da lei da distribuição de velocidades de Maxwell. Mesmo situando que a determinação teórica dos estados quânticos e seus pesos estatísticos estão entre os últimos progressos da teoria quântica, revela que não seria necessário para o seu trabalho, uma determinação aprofundada desses estados.

Foi sugerido que uma molécula de um gás estivesse em condições de passar de um estado quântico energético para outro mais energético que o primeiro, quando exposta à condição de absorção ou emissão da diferença dessas duas energias radiantes. Na radiação emitida ou absorvida pela molécula, encontrar-se-ia uma frequência característica para a combinação de dois índices em questão (m, n).

Ao formular suas hipóteses sobre as leis que determinavam a anterior transição de estados quânticos, Einstein propõe uma introdução das relações, baseadas na teoria clássica, de um ressonador de Planck, nas então, por ele denominada, “desconhecidas relações” baseadas na teoria quântica.

Baseando-se no fato introduzido por Hertz anteriormente, de que um ressonador de Planck emite energia, sendo ele excitado ou não externamente por um campo, Einstein coloca a situação em que mesmo sem estímulo externo, uma molécula apresenta uma transição, ocorrendo um decaimento em seu estado quântico, saindo do maior para o menor e emitindo energia radiante, com determinada frequência, evidenciando uma probabilidade de essa transição ocorrer em um determinado intervalo de tempo. Esse acontecimento foi denominado por ele como *emissão espontânea*.

É evidenciado que a lei estatística ali presente se refere a uma reação radioativa, onde são emitidos apenas raios γ , e o tempo do processo elementar não necessariamente deve ser instantâneo, mas deve ser desprezível quando comparado com o tempo de permanência da molécula em seu estado quântico.

Einstein propõe em seu artigo, o termo *processos de radiação induzida*, onde supõe uma hipótese quântica, de que quando excitada na presença de uma densidade de radiação que contém uma determinada frequência, uma molécula pode “pular” de um estado quântico menor para um estado quântico maior ou o inverso, no momento em que, nas duas opções, absorvem energia radiativa baseando-se na lei da probabilidade.

Essas duas possibilidades são denominadas por ele como “mudança de estado induzida por radiação”. Einstein se baseia na ideia de que se ocorresse de um ressonador de Planck se encontrar em um campo de radiação, ocorreria uma troca de energia entre o ressonador e o campo eletromagnético e por consequência, a energia do ressonador seria alterada sendo positiva ou negativa dependendo das fases do ressonador e de aspectos referentes ao campo oscilante.

Ao se questionar sobre o momento transferido para a molécula no ato em que ocorre a transição de um estado quântico para outro, Einstein considera seu princípio de emissão induzida e se baseia na suposição de que ao executar trabalho em um ressonador de Planck, um feixe de radiação bem direcionado tem extraído de si, uma energia correspondente. Considerando a lei de conservação do momento, é entendido que além da energia, o momento é transferido do feixe para o ressonador, sendo que o mesmo submete-se a uma força atuante na direção do feixe quando positiva e se negativa, a ação da força também ocorrerá na direção contrária.

Na hipótese quântica é sugerido que quando exposta à um feixe de luz irradiante, a molécula adquire uma transferência de momento na mesma direção de propagação do feixe, e quando a transição induzida ocorre de um estado quântico maior para um estado quântico menor, o momento é transferido em mesmo módulo, porém com direção contrária. Se a molécula for submetida a diferentes direções de feixes incidentes de forma simultânea, a energia total é absorvida ou adicionada a um desses feixes e o momento é transferido para a molécula.

Segundo Einstein, a teoria clássica afirma que um ressonador de Planck não poderia ter momento transferido para si quando a energia fosse emitida por um processo de emissão espontânea, pois essa emissão deveria se dar de forma simétrica, como ondas esféricas. Porém Einstein confirma que também ocorre a natureza direcional do processo de emissão espontânea, possibilitando a molécula receber momento transferido.

Sendo a molécula isotrópica, todas as direções de emissão podem ser consideradas prováveis de forma igual, caso não seja, ainda pode-se considerar tal aspecto, porém sob a condição de que a variação temporal seja aleatória. Essa consideração também pode ser aplicada aos processos induzidos, isso faz com que as constantes ali presentes, não dependam da direção caso a molécula também seja de natureza isotrópica, ou pseudo-isotrópica.

Em sua dedução da lei de radiação de Planck, Einstein afirma que a densidade de radiação citada anteriormente, não pode alterar a configuração da troca de energia entre moléculas e radiação, de forma que permita que as leis estatísticas perturbem a distribuição de estados das moléculas. Para validar essa condição, é necessário que quando influenciada por uma densidade de radiação, o número de vezes que a molécula transita de seu estado quântico menor para o seu estado quântico maior, no momento em que recebe energia radiativa dentro de uma determinada probabilidade, seja igual ao número de vezes que a molécula transita de seu estado quântico maior para seu estado quântico menor, liberando energia radiativa, somado com o número de vezes que ocorra o processo de emissão espontânea de forma combinada, assim, pode-se combinar ambos os índices (m, n).

Estabelecendo a condição de que a densidade de radiação da lei de Planck cresce infinitamente com a temperatura de forma dependente, em sua dedução Einstein obtém uma condição para o equilíbrio dinâmico. Posteriormente, parte da lei de Wien para a obtenção da razão entre duas constantes presentes na relação anterior. Nesse momento, surgem duas constantes universais (h e α), que só podem ter seus valores numéricos definidos se houvesse uma teoria consistente dos processos eletrodinâmicos e mecânicos, porém Einstein se limita ao limite de alta temperatura de Rayleigh, onde afirma ser válida a teoria clássica.

Em um dos resultados de suas deduções, é afirmado por Einstein que nele, ocorre à retratação de uma hipótese já existente na teoria de Bohr para os espectros, a qual já se fazia consistente na Ciência da época. Nesse mesmo resultado, de forma implícita se encontra a lei da equivalência fotoquímica, já demonstrada por Einstein.

Partindo da condição de que o movimento executado pelas moléculas parte de uma única direção no sistema de coordenadas, Einstein investiga por meio de um método já conhecido, tanto em sua utilização na teoria do movimento Browniano quanto em seus próprios cálculos no estudo de movimentos em campos de radiação, a natureza dos movimentos executados pelas moléculas influenciadas pela radiação. Ao invés de comprovar a distribuição das velocidades conforme a lei de Maxwell, o autor se restringe a calcular o valor médio da energia cinética do movimento progressivo.

É proposta a aplicação da mecânica ordinária à molécula, desde que a massa da mesma seja relevantemente grande para permitir que altas potências de v/c sejam desprezadas em relação à potências menores. Einstein destaca que é possível realizar os cálculos considerando a hipótese de que os índices m e n sejam os únicos possíveis para a molécula, pois isso não acarretaria perdas na teoria.

É dissertado que existem duas possíveis variações do momento da molécula em um curto intervalo de tempo, sendo isso confirmado pelo fato de que devido à ação de uma força na direção contrária a do movimento, provocada pela radiação, a molécula seria levada ao repouso caso essa irregularidade da ação da radiação não fornecesse em um determinado período de tempo, um momento transferido para a molécula, sendo que o mesmo possui direção e módulos variáveis.

Sendo que a velocidade influencia sistematicamente a molécula, sua média quadrática é causada pela radiação de temperatura, no momento de sua interação com as moléculas. Essa média deve ser igual ao valor médio quadrático da velocidade elucidada pela molécula de um gás submetido à determinada temperatura, concordando com a teoria cinética dos gases. Assim, a molécula em questão não perturbaria o equilíbrio térmico entre a radiação de corpo negro e um dado gás à mesma temperatura.

Desejando encontrar o momento médio por unidade de tempo transferido da radiação para uma molécula que se move uniformemente com determinada velocidade, de forma unidirecional em X no sistema de coordenadas K , Einstein comenta que é necessário avaliar a radiação a partir de outro sistema de referência K' que se encontra em repouso em relação à molécula. Essa hipótese é estabelecida, devido ao fato de que as considerações propostas pelo autor, na relação entre radiação e matéria no aspecto de emissão e absorção, se

deram para moléculas encontradas em repouso. Einstein se baseia na literatura da época, para determinar essa transformação no sistema de coordenadas.

Em sua dedução, Einstein se baseia no princípio de que em relação a K , a radiação é isotrópica, onde em determinada faixa de frequência sua propagação ocorre em uma direção dentro de um ângulo sólido infinitesimal e sua densidade de radiação, se torna dependente apenas da frequência e não da direção. Partindo desses pressupostos, encontra a densidade volumétrica de radiação referente ao sistema referencial K' , e adiciona contribuições da teoria da relatividade chegando a um resultado que junto às hipóteses sobre a emissão espontânea e os processos induzidos da molécula, fornece de acordo com Einstein (1917, p. 97): “(...) facilmente o momento transferido para a molécula por unidade de tempo”.

O autor justifica que na escolha do caminho utilizado para sua dedução, algumas de suas equações se baseiam na teoria eletromagnética de Maxwell, porém é ressaltado que mesmo ela não se verificando na teoria quântica, não se apresenta como incoerente para os resultados obtidos devido à seguinte afirmação de Einstein (1917, p. 97) “(...) esta objeção atinge a forma e não a essência da questão”. De acordo com essa afirmação, o princípio de Doppler e a lei da aberração, permanecem válidos.

Einstein coloca que uma de suas equações referente à relação de energia, ultrapassa os limites da teoria ondulatória e da teoria da relatividade. A referida lei de transformação também abrange a densidade de energia de um corpo com massa de repouso infinitesimal, movendo-se a uma velocidade próxima da luz. Assim o resultado de tal dedução se torna válido para qualquer teoria da radiação.

De acordo com Einstein em cada processo elementar, devido ao fato da radiação por segundo corresponder a um determinado ângulo espacial em que a molécula transita de seu estado quântico menor para um estado quântico maior sob a condição de que retorne ao primeiro imediatamente após transitar, o momento é transferido para o átomo na direção positiva do eixo X' . E partindo da mesma suposição, Einstein encontra um número correspondente aos processos elementares induzidos, transitando de um estado quântico maior para um estado quântico menor, por segundo, onde o momento é transferido para a molécula. É ressaltado pelo autor, que processos elementares de emissão espontânea, não têm uma direção preferencial quando olhados pelo sistema K' , acarretando que os mesmos não podem transferir momento para a molécula.

Na questão da média quadrática do momento sobre a molécula em repouso,

Einstein descreve como simples o cálculo da influência da irregularidade dos processos elementares sobre o comportamento mecânico, dado pelo fato da molécula em questão encontrar-se estática.

Einstein conclui seu trabalho, demonstrado a partir das hipóteses sugeridas anteriormente, que os momentos transferidos pela radiação para as moléculas, não perturbam em nenhum momento o equilíbrio termodinâmico. Assim, relata que suas considerações finais, dão apoio às hipóteses acerca da interação entre radiação e matéria, nos processos radiativos espontâneos e induzidos.

Em seu comentário final, Einstein relata que foi conduzido a tais hipóteses por meio de tentativas de postular, segundo ele da forma mais simples possível, um comportamento quântico das moléculas analogamente ao comportamento de um ressonador de Planck na teoria clássica.

É afirmado que seria difícil uma mudança acerca das considerações propostas em seu trabalho sobre a transferência de momento à molécula por processos radiativos espontâneos ou induzidos, devido ao fato de que ocorreria uma violação na relação exigida pela teoria do calor. Assim, Einstein (1917), relata como provadas e conseqüentemente válidas suas hipóteses anteriores:

Se ao interagir com uma molécula, um raio de luz provocar absorção ou emissão de uma quantidade de energia $h\nu$ (processo de radiação induzido), o momento $h\nu/c$ é sempre transferido para a molécula, e de tal modo que o momento tem a direção de propagação do raio se há absorção de energia, e a direção oposta se há emissão de energia.

Se a molécula é sujeita à ação de raios de luz em diferentes direções, somente um deles participará em um processo induzido elementar; apenas este raio define então a direção do momento transferido para a molécula. Se a molécula sofre uma perda de energia $h\nu$ sem influência externa, emitindo esta energia na forma de radiação (emissão espontânea), este processo também é direcional. Não existe emissão em ondas esféricas. Durante o processo espontâneo, a molécula apresenta um recuo igual $h\nu/c$, em uma direção, a qual no presente estágio da teoria é unicamente determinada pelo “acaso”. (EINSTEIN, 1917, p.99)

Einstein afirma ter completa confiança no caminho utilizado em seu artigo, porém admite que a teoria da radiação se mostra essencialmente quântica quando relevadas as propriedades dos processos elementares ali presentes, mostrando-se frágil devido ao

distanciamento entre ela e a teoria ondulatória e devido ao fato de que o tempo e a direção dos processos elementares são atribuídos pelo “acaso”.

O trabalho de Einstein é finalizado com o comentário do autor sobre o fato de que mesmo sendo quase todas as teorias da radiação de corpo negro baseadas na interação entre moléculas e radiação, somente são consideradas as trocas de energia e não o momento, devido ao fato do último apresentar-se de forma desprezível na comparação com outros processos causadores de mudança do movimento. Porém, segundo Einstein, qualquer fenômeno por menor que seja, tem contribuições a oferecer a discussão teórica, e nesse caso, o momento e a energia são fortemente conectados, não podendo assim, ser desprezado. Assim, o autor considera que a teoria só se justifica, quando demonstrado que segundo ela, a influência do momento transferido pela radiação para a matéria leve a movimentos, assim como exige a teoria do calor.

3.3 Breve análise do artigo

Um artigo científico traz para a ciência inovações e novas interpretações de realidade. Quando é aceito pelos pares, perpetua contribuições ou questionamentos inerentes a realidade científica da época. De acordo com Almeida e Miranda:

Devido aos seus objetivos de registrar e divulgar descobertas científicas entre pares, o artigo científico apresenta um alto grau de convencionalização. O conhecimento compartilhado pelos membros desse grupo inclui a construção impessoal do texto (...). (ALMEIDA, MIRANDA, 2009, p. 69)

Em seu artigo, Einstein introduziu vários conceitos inovadores para a época em sua teoria da radiação assim como deu uma descrição completa sobre a natureza do fóton, até então, considerada incompleta. Além da parte física do conteúdo de seu trabalho, é notória a relação que Einstein tem com outros problemas da física clássica, mostrando que a história da física não progride de forma linear.

Algumas das considerações teóricas presentes nessa seção, são fomentadas com base no artigo “Relendo Einstein sobre radiação” (2004), uma versão traduzida onde o autor Daniel Kleppner situa as contribuições do artigo de Einstein para a comunidade científica,

assim como as idéias revolucionárias inseridas em seu trabalho, segundo Kleppner, de forma simples e elegante.

Ao demonstrar admiração e utilizar em sua dedução a similaridade apresentada entre curva de distribuição cromática da radiação de corpo negro e a distribuição de velocidades de Maxwell, Einstein demonstra que utiliza de conceitos propostos pela física clássica em seu trabalho, assim como se baseia no pressuposto da física quântica. Fica evidente que não é seguida uma linearidade, conforme se verifica nos livros didáticos ou na forma de ensinar da maioria dos professores de Física, mas sim, uma junção de idéias e problemas de diferentes épocas. O conhecimento não se dá necessariamente de forma contínua.

Einstein afirma que os conceitos clássicos nos quais se baseia, são importantes para o desenvolvimento do saber científico, porém quando utilizados unicamente, são designados como insuficientes para resolver os novos problemas da física vigente na época. Um exemplo desses conceitos, seria a fórmula geral para a radiação obtida por Wien, que segundo ele, já havia caído no esquecimento após o surgimento da teoria quântica.

Partindo dessa questão, torna-se evidente que uma única teoria quase sempre não é suficiente para responder a problemas de cunho físico. É necessário conhecer outras leis, que se inserem no contexto do assunto. Fazendo um paralelo com o ensino, percebe-se que a fragmentação encontrada em diferentes âmbitos do mesmo, torna incompleta a compreensão de problemas físicos. Como é possível fazer associações entre teorias, sem se quer saber que elas estão relacionadas? Esse é um aspecto que pode ser suprido pela História da Ciência, no momento em que ocorre uma contextualização histórica e científica de um problema físico ou de leis presentes na aprendizagem do aluno.

Einstein empregou em seu artigo um novo conceito que designou por estados estacionários, introduzido anteriormente em 1913 por Niels Bohr, em seu artigo referente à natureza do hidrogênio. Nesse momento, a idéia clássica de que ao se chocar ao núcleo o elétron irradia energia é contestada pela hipótese de estados não radioativos desse elétron orbitando o mesmo núcleo. O modelo de Bohr tinha em suas hipóteses respaldo na teoria clássica e mesmo Einstein considerando tal teoria como limitada, de forma direta e indireta, também partiu de suas suposições para encontrar respostas aos problemas que agora exigiam um grau de entendimento quântico para serem solucionados.

É possível perceber que na inserção de uma nova hipótese, a física muda sua forma de pensar a natureza e isso gera conflitos entre a nova e a antiga verdade que

predominara até então no cenário da ciência. O fato de Einstein já ter uma base teórica como a de Bohr, demonstra que não existem gênios da ciência, mas sim pessoas que trabalham muitas vezes exaustivamente, partindo de problemas e leis já existentes e pensando por meios lógicos formas melhores de descrever o universo físico.

Em sua lei, Planck já havia deduzido um campo para a radiação térmica. Porém Einstein não partiu dessa dedução já pronta. Partindo de uma nova possibilidade, a de átomos estarem em equilíbrio térmico, deduziu as propriedades do campo de radiação necessárias para que houvesse esse equilíbrio, chegando à lei de radiação formulada por Planck. Assim como disserta em seu artigo: “(...) mostrei que moléculas que são distribuídas em estados de equilíbrio térmico compatíveis com a teoria quântica, encontram-se em equilíbrio dinâmico com a radiação de Planck.” (EINSTEIN, 1917, p.93).

Isso implica que Einstein utilizava de hipóteses novas para desenvolver suas teorias, porém baseado em leis já existentes que não eram por sinal, anuladas, mas sim complementadas. Assim como ele mesmo coloca em seu trabalho “Para obter o resultado mencionado acima devemos, contudo, completar as hipóteses sobre as quais nosso trabalho anterior foi baseado, visto que as hipóteses anteriores foram concebidas somente com a troca de energia.” (EINSTEIN, 1917, p.94). Logo, pode-se desmistificar a visão do empirista ingênuo (CHALMERS, 1993), que propõe que o conhecimento não tem relação com uma teoria já conhecida, mas que provém apenas da observação.

Com o intuito de descrever como ocorre a interação entre radiação e matéria, Einstein sugere um equilíbrio entre ambos, inicializando as hipóteses de emissão espontânea e emissão estimulada em complemento à lei de deslocamento de Wien. Fundamentalmente, é considerado que átomos possuam dois estados quânticos, sendo que o nível de energia de um é maior que o outro. A probabilidade de ocupação desses estados, se dá sob a consideração dos mesmos estarem ocupados segundo a distribuição de Boltzmann. Esses átomos também estão inseridos em uma densidade espectral com determinada frequência e temperatura, que ainda não fora definida.

Para Einstein, o processo de emissão espontânea não tinha uma explicação de porque ocorrer, parecia acontecer sem causa. Isso era um *nonsense* para a época e para o próprio Einstein, que acabou inserindo uma descrição sobre a taxa de variação da probabilidade ao invés de uma taxa de radiação. O fato da molécula isoladamente decair, se situando no vazio, trazia certo grau de desconfiança quanto à validade de sua hipótese, por ser

algo novo e isolado das teorias vigentes na época.

Einstein definiu que a taxa entre a absorção feita pela radiação de uma energia advinda de um campo de força com determinado espectro é proporcional à densidade espectral desse campo. Logo, foi considerada novamente a probabilidade, agora de uma transição entre um estado quântico de mais baixa energia para um de mais alta, em um período probabilístico de tempo. Para explicar tal fato e a hipótese de uma emissão estimulada, Einstein utilizava como analogia o comportamento dos ressonadores de Planck, partindo da aplicação da estatística de Boltzmann a suas moléculas contendo dois estados quânticos, ou seja, aplicava a uma suposição quântica leis referentes à estatística clássica.

Baseando-se na natureza de um oscilador clássico, Einstein desenvolve sua ideia de emissão estimulada sugerindo que uma molécula em seu estado de energia superior quando submetida a um campo de radiação, acaba tendo de transitar para um estado quântico menos energético com uma taxa proporcional à densidade de radiação. Essa transição também é prevista de forma probabilística, em um determinado instante de tempo.

Assim, Einstein supõe que ao fazer uma transição, a molécula emite uma radiação monocromática com frequência determinada pela condição de Bohr, tendo a mesma direção do pacote incidente. O equilíbrio térmico só é atingido pela molécula, se estiver de acordo com a lei de radiação de Planck.

Einstein relata que sua teoria tem pontos de fragilidade, sendo um deles o fato da mesma não se relacionar com a teoria ondulatória e o outro a questão da probabilidade inserida em seu trabalho. Para ele o aspecto referente à incerteza era um ponto fraco de sua teoria “(...) ela delega ao “acaso” o tempo e a direção dos processos elementares” (EINSTEIN, 1917, p. 99), porém garantia que seu método utilizado era certamente válido. A partir desse momento, ocorre o início da negação de Einstein quanto ao caráter probabilístico da teoria quântica:

Em janeiro de 1920, escreve uma carta a Max Born, na qual revela sua preocupação com os aspectos probabilísticos da teoria da radiação: “Poderão a absorção e emissão quânticas da luz jamais serem entendidas no sentido do requisito de causalidade completa, ou um resíduo estatístico permanecerá? Devo admitir que me falte nesse ponto a coragem de uma convicção. Todavia, eu ficaria muito infeliz de renunciar à causalidade completa”. (EINSTEIN 1920 apud DAVIDOVICH, p.3)

Ao sugerir que o quantum de luz carrega não só energia, mas também momento

em sua definição, Einstein descreve a natureza do fóton. O termo “fóton” foi inventado posteriormente ao seu artigo, mas as descrições presentes no mesmo mostram que Einstein já havia introduzido tal conceito, porém não em termos de nomenclatura.

Para o físico, a cada processo de interação entre a radiação e a matéria, ocorre uma transferência de momento. Porém, em contrapartida a esse fenômeno, surge uma força de direção contrária, gerada pela radiação térmica devido ao movimento do átomo no campo de radiação isotrópico. Para anular essa força, existe um efeito de flutuações no campo de radiação, tendendo a aumentar o momento e isso gera uma influência na transferência desse momento para a molécula, sendo que o mesmo sofre uma variação em sua intensidade e sentido. Após descrever todas as informações necessárias sobre esse campo requerido para que ocorra o equilíbrio térmico, é obtida novamente a lei da radiação de Planck.

Logo, o artigo aqui avaliado, tem importantes propriedades referentes à relação radiação e matéria, tais como: os conceitos de emissão espontânea, absorção e emissão estimulada, a natureza do fóton e os estados estacionários. Tais propriedades necessitam estar explanadas de forma clara e contextualizadas nos livros referentes a tal assunto. Porém, sabe-se que a fragmentação encontrada nos mesmos, impossibilita uma real compreensão dos termos aqui dissertados. Talvez tal fato se justifique em termos de transposição didática. Mas será isso suficiente para promover uma aprendizagem eficaz?

4 ANÁLISE DE LIVROS-TEXTO DE ENSINO SUPERIOR

4.1 Contextualização de utilização e estrutura de um Livro texto

No ensino superior, no ato da escolha da bibliografia a ser utilizada como referencial teórico durante a duração do curso a ser ofertado, o professor da área de Ciências define quais são os melhores manuais a serem utilizados como auxílio na aprendizagem. Porém, encontra-se um grande problema: os manuais, na grande maioria das vezes, não são auxílio, mas sim a única ferramenta utilizada para ensinar os pressupostos científicos necessários para a formação de cientistas, engenheiros e futuros professores da área científica. Devido a insuficiências de fontes teórica direcionadas ao estudo dos livros de ensino superior, este trabalho dialoga com referências sobre o ensino básico, como Moreira e Axt (1986, p. 34), que afirmam que “(...) muitos de nossos professores, em muitas de nossas escolas, se apegam ferrenhamente a um único livro texto, a tal ponto que a aula é uma simples repetição do que nele está escrito.”

Vale ressaltar que essa questão não se aplica a todos os professores, alguns modificam sua prática pedagógica pensando em acordo com os estudos do ensino atual, que apontam para a deficiência existente na prática tradicional que submete os alunos a uma única forma de ensinar, na qual se impossibilita desenvolver e abranger as potencialidades da turma que se compõe caracteristicamente de forma heterogênea. A insuficiência desse ensino mecânico é confirmada sendo:

Uma das decorrências do ensino tradicional, já que a aprendizagem consiste em aquisição de informações e demonstrações transmitidas, é a que propicia a formação de reações estereotipadas, de automatismos denominados hábitos, geralmente isolados uns dos outros e aplicáveis, quase sempre, somente às situações idênticas em que foram adquiridos. O aluno que adquiriu o hábito ou que "aprendeu" apresenta, com frequência, compreensão apenas parcial. (MIZUKAMI, 2011, p.3)

Essa unicidade pode ser identificada quando o professor se mantém refém de uma única prática pedagógica. Alguns exemplos de aulas tradicionais seriam: os alunos

realizando uma cópia em seus cadernos do conteúdo (retirado do livro) exposto na lousa assim como da resolução de alguns exercícios feitos de exemplos pelo professor; recebimento dos discentes de inúmeras informações (muitas vezes sobre mais de um tema) dissertadas pelo professor em uma aula, seguindo-se de uma lista de exercícios (em maior parte retirada dos manuais escolhidos no início do curso como referencial teórico) para serem resolvidos em casa (onde o aluno consulta novamente o livro) e entregues na aula seguinte; utilização contínua e única de slides em sala de aula (com conteúdo retirado de livros ou materiais da internet) na tentativa de promover um ensino diferente da lousa e papel, porém não deixando de se caracterizar como um ensino tradicionalista; etc.

Um fator em comum em todos os exemplos situados acima é a utilização acrítica do livro de ciências, que se torna uma fonte de consulta mecanizada, ou seja, um local designado a se retirar conceitos e fórmulas a serem utilizados em provas, trabalhos ou na própria aula do professor. Sendo assim, surge a indagação de como esse livro se encontra estruturado, ele por si só consegue munir o ensino de abordagens e meios para possibilitar de forma clara o aprendizado de quem o utiliza?

Desde os primórdios da humanidade, a escrita e a imprensa trazem consigo além do registro de conhecimento objetivo, um arcabouço contextual onde se encontra uma cultura implícita ou explícita, em que a humanidade insere suas perspectivas científicas, filosóficas, políticas e etc, caracterizando o período em que se encontra (CARVALHO, KANISKI, 2000). Esse reconhecimento de contexto nem sempre está exposto nos livros, principalmente na área das ciências exatas, ficando então a caráter dos historiadores da ciência, a responsabilidade de fazer tal identificação e resgate da forma em que o saber se apresenta em verdade, desmistificando mitos sobre a postura de cientistas e dos próprios problemas científicos. Porém deve-se ressaltar que devido às possíveis incoerências presentes nos livros, o professor no ato de elaborar sua aula, deve recorrer a outros artifícios, como artigos da área, por exemplo, para tornar o conteúdo conexo e contextualizado.

Os registros objetivos citados anteriormente, nem sempre são colocados diretamente em livros, na área da física. A maior parte do conhecimento científico é exposta pelos cientistas em revistas da área acadêmica de ciência por meio de artigos científicos ou por outros meios, que também possuem características formais, usados pela comunidade científica. Existem também os “livros científicos”, que não são pensados de forma a ter uma linguagem acessível a leigos. Em todos esses casos citados anteriormente, utiliza-se de uma

linguagem elaborada e impessoal, onde leigos no assunto ainda não têm muito domínio ou acesso. Ela é feita para ser entendida na maior parte das vezes, pelos pares da comunidade científica e não pela população em geral, com exceções dos livros de divulgação científica.

De qualquer modo, esse conhecimento inicial, passa por transformações para se tornar acessível aos estudantes. Assim como é descrito nesse estudo, Chevallard afirma que o saber textualizado (saber a ensinar) necessita se desvincular de seu contexto inicial (saber sábio) para corresponder aos problemas da esfera da aprendizagem (saber ensinado). Porém para passar por essa “desconfiguração”, é necessário que o assunto em questão seja reelaborado em uma forma didática. Essa etapa fica sob a responsabilidade da noosfera. Nesse momento, encontra-se a interferência de um conjunto de pessoas, com diferentes ideologias e perspectivas intervindas na reformulação do conteúdo a ser aprendido pelos alunos tanto em sala de aula, como fora dela no momento da aprendizagem individual.

Pensando na disciplina de física moderna, no objetivo desse estudo e partindo desses pressupostos, logo surgem questões como: o conteúdo encontrado nos livros de física moderna é coerente com a fonte científica de onde fora retirado? As questões presentes no contexto de elaboração desse saber estão situadas de forma coesa e entendíveis para que se possa haver uma compreensão do verdadeiro caráter científico da Ciência? Esse conteúdo está fragmentado ou está relacionado com os outros conteúdos presentes nos outros capítulos do livro? Como resposta a essas questões, ocorre à necessidade de analisar se o conhecimento presente em alguns livros de física moderna corresponde à ideia do artigo científico do qual transposto, e se a estrutura desses livros está construída de forma a promover um entendimento eficaz sobre as questões levantadas anteriormente.

A estrutura do currículo do ensino de física moderna, normalmente segue uma ordem de abordagem. Em alguns cursos a matéria se divide em dois semestres, em outros, decorre como anual. Porém o cronograma de conteúdos se aplica de forma quase igualitária para ambas. Assim, na primeira parte são estudados conceitos referentes à transição da física clássica para o início da física quântica tais como: Planck e a radiação de corpo negro, fótons e a interação da radiação com a matéria, natureza dual da radiação, etc. Já na segunda parte encontram-se o início de pressupostos quânticos: ondas de matéria, dualidade onda-partícula, modelos atômicos, equação de Schrodinger, etc.

No decorrer desse capítulo, será feita uma análise de como aspectos do artigo científico “sobre a teoria quântica da radiação”, explanados no capítulo anterior, estão

transpostos nos livros citados anteriormente, verificando se os elementos da transposição didática “dessincronização, despersonalização e descontextualização” são encontrados na então estrutura lógica em questão, que de acordo com Chevallard, deve propiciar a aprendizagem.

O artigo foi escolhido devido ao fato de apresentar a época em que foi publicado, uma nova forma de se entender a teoria quântica da radiação e sua interação com a matéria. Além da grande contribuição de Einstein para a Física com os conceitos de emissão espontânea e emissão estimulada e suas propriedades, ligadas aos estados quânticos em que se encontram as moléculas, existem também outros elementos inovadores em sua teoria, que dificilmente são apresentados nos livros didáticos. Kleppner (2004, p. 88), afirma que “Os coeficientes A e B são os únicos remanescentes desta teoria que aparecem em muitos livros-texto sobre a teoria quântica e a única parte do artigo com a qual me defrontei quando estudante.”

Os aspectos escolhidos para análise foram escolhidos com base na análise realizada na seção 3.3 do capítulo anterior. Tais aspectos são: os conceitos de emissão espontânea, absorção e emissão estimulada; natureza do fóton; bases teóricas utilizadas por Einstein em seu artigo; relação entre Einstein e os estados estacionários; Einstein e sua negação quanto ao caráter probabilístico da mecânica quântica. No livro 1, serão analisados os capítulos 1 e 2, no livro 2 os capítulos 34 e do livro 3, o capítulo 7. A escolha desses capítulos se deu sob o enfoque do conteúdo que abordam, devido ao fato de serem nos respectivos livros, os que mais se aproximam do conteúdo do artigo utilizado como base teórica para essa análise.

4.2 Análise do livro 1

O livro 1 a ser analisado, é “Física Quântica: Átomos, Moléculas, Sólidos Núcleos e Partículas”, dos autores Eisberg e Resnick. Divide-se nos seguintes capítulos: 1) radiação térmica e o Postulado de Planck; 2) fótons – propriedades corpusculares da radiação; 3) o Postulado de De-Broglie - propriedades ondulatórias das partículas; 4) o modelo de Bohr para o átomo; 5) a teoria de Schroedinger da mecânica quântica; 6) soluções da equação de Schroedinger independente do tempo; 7) átomos de um elétron; 8) momentos de dipolo magnético, spin e taxas de transição; 9) átomos multieletrônicos – estados

fundamentais e excitações óticas; 10) átomos multieletrônicos - excitações óticas; 11) estatística quântica; 12) moléculas; 13) sólidos - condutores e semicondutores; 14) sólidos - propriedades supercondutoras e magnéticas; 15) modelos nucleares; 16) decaimento nuclear e reações nucleares; 17) partículas elementares.

Iniciando o conteúdo do livro, ainda no prefácio, os autores deixam explícita sua posição epistemológica na abordagem decorrente do conteúdo ali encontrado. Eisberg e Resnick (1979) defendem que:

(...) preferimos enfatizar mais as aplicações da teoria do que a própria teoria. Ao fazer isto, esperamos que este livro se adapte bem às atitudes dos estudantes atuais em um curso final de fenômenos da física quântica. À medida que os estudantes obtêm uma compreensão do tremendo poder explanatório da mecânica quântica, eles se motivariam para aprender mais da teoria. Portanto esperamos que este livro também sirva a um curso que seja seguido por um curso mais avançado de mecânica quântica formal (EISBERG, RESNICK, 1979, p.7).

É possível entender que os autores colocam o livro como objeto de estímulo para uma posterior real aprendizagem das teorias quânticas. Assim, as aplicações se sobrepõem ao próprio embasamento teórico. Isso fica evidenciado também pelo fato de constantemente os mesmos partirem de evidências experimentais da área, para falar sobre dos conceitos ali presentes, conforme é dito na afirmação inserida na introdução do primeiro capítulo do livro:

Os fenômenos experimentais que vamos discutir em conexão com a antiga teoria quântica abrangem todas as disciplinas da física clássica [...]. Suas repetidas contradições com as leis clássicas, e a resolução desse conflito com base nas idéias quânticas, vão nos mostrar a necessidade da mecânica quântica. (EISBERG, RESNICK, 1979, p 19)

O fato de colocar primeiro a prática à frente da teoria, ou seja, os exemplos e aplicações à frente de uma profunda compreensão do conceito, mostra uma proposta de método empírico. Os alunos entram em um contato superficial com alguns conceitos necessários para a prática, para depois que perceberem que aquela prática realmente é eficaz para responder algumas perguntas em que a teoria da física clássica se mostra insuficiente, se adentrarem de fato a teoria quântica. Daí a sugestão dos escritores de o livro ser seguido de um curso mais avançado de mecânica quântica formal.

O problema dessa abordagem, é que se mostra um tanto quanto romântica em relação à realidade das universidades atuais. Os professores em maior parte das vezes, como dito anteriormente, se apegam unicamente ao livro para ministrar o curso de física moderna que nem sempre é seguido de um curso mais avançado de física quântica, e quando se tem essa possibilidade, muitas vezes o livro ainda continua sendo usado como única ferramenta de ensino, porém com outros capítulos em questão. Isso gera ao aluno uma compreensão superficial da física quântica e recai aquela prática mecânica de resolução de exercícios.

Mesmo com essa intenção, na introdução do capítulo os autores tentam fazer em vários momentos uma breve contextualização sobre os conteúdos que ali serão encontrados e os físicos relacionados a tais conteúdos, deixando em evidência o ano de descoberta da teoria, algumas vezes um pouco da história do físico (universidade em que se formou, prêmios que ganhou, etc.), um pequeno resumo sobre o que será dissertado durante o decorrer do capítulo e a importância e ganhos gerados pelo conteúdo ali presente. No início do primeiro capítulo, ao tratar do tema “Radiação Térmica”, encontra-se a seguinte passagem:

A radiação emitida por um corpo devido à sua temperatura é chamada *radiação térmica*. Todo corpo emite esse tipo de radiação para o meio que o cerca, e dele a absorve. Se um corpo está inicialmente mais quente do que o meio, ele irá esfriar, porque a sua taxa de emissão de energia excede à taxa de absorção. Quando o equilíbrio é atingido, as taxas de emissão e absorção são iguais. (EISBERG, RESNICK, 1979, p 20)

Nesse momento, podem se encontrar os elementos sugeridos por Chevallard como importantes na transposição de um saber sábio para o saber a ensinar. Baseando-se no artigo do capítulo anterior, é possível perceber várias falhas contextuais. Em nenhum momento os autores fazem menção a quem propôs os termos “taxa de emissão de energia” e “taxa de absorção” ou a condição de equilíbrio atingida quando ambas se tornam iguais. Logo já é constatada uma despersonalização.

É sabido que Albert Einstein foi quem inseriu os termos citados anteriormente, em seu artigo aqui já estudado. Em um aprofundamento do assunto, foi Einstein, baseando-se em Planck e em alguns pontos da teoria clássica, quem propôs que, ao fazer uma transição, a molécula deveria emitir uma radiação monocromática com frequência determinada pela condição de Bohr na mesma direção da radiação incidente, sendo que o equilíbrio térmico só poderia ser atingido pela molécula, se a mesma estivesse de acordo com a lei de radiação de Planck. Ou seja, nesse ponto Einstein deixa evidente a relação entre as taxas de emissão e

absorção e a temperatura. A dessincretização é verificada pelo fato de não haver nenhum indício do contexto científico de origem dos termos ali inseridos.

A descontextualização se verifica devido o fato de não haver nenhum tipo de relação entre a afirmação e seu contexto histórico. O entendimento seria mais eficaz se os problemas e o contexto que levaram Einstein a escrever seu artigo, fossem evidenciados. Percebe-se que os conceitos ficam encaixados de forma avulsa no assunto, na tentativa de uma explicação teórica recortada para dar sentido às fórmulas que se seguem.

No decorrer do capítulo, o livro fragmenta o assunto em seções referentes à radiação térmica onde se encontram explicações sobre alguns conceitos. Também estão presentes vários exemplos resolvidos assim como exemplos de experimentos do período da física clássica que, segundo o autor, se mostraram incoerentes, tendo Planck sido o solucionador de tais problemas, com a sua teoria da radiação de cavidade. A teoria de Planck é bastante trabalhada em aspectos físicos e são explicitamente relevados os problemas. No fim do capítulo, encontra-se o tópico “Um Pouco de História da Física Quântica”, onde basicamente tenta-se fazer uma contextualização, do trabalho e das idéias de Planck, referente a seus erros e acertos e a sua postura adotada. No fim desse tópico, encontra-se o seguinte trecho:

(...) Em 1905, ele recebeu o primeiro artigo de Einstein sobre relatividade, e defendeu vigorosamente esse trabalho. Depois disso, tornou-se um dos patronos do jovem Einstein em círculos científicos, mas resistiu durante algum tempo às idéias emitidas por Einstein sobre a teoria quântica da radiação, que mais tarde confirmaram e estenderam o próprio trabalho de Planck. Einstein cuja profunda visão do eletromagnetismo e da mecânica estatística talvez fosse inigualável nessa época, viu como resultado do trabalho de Planck a necessidade de uma reformulação completa na estatística e no eletromagnetismo clássicos. Ele formulou previsões e interpretações de muitos fenômenos físicos que foram mais tarde notavelmente confirmados pelas experiências. (EISBERG, RESNICK, 1979, p 42)

Nesse momento os autores citam o posicionamento de Planck sobre a teoria quântica da radiação de Einstein, seguindo de uma rápida explicação sobre essa teoria. Essa passagem rápida pelo contexto histórico, apesar de existir, não se mostra como um ponto válido em termos de contextualização, devido a sua superficialidade e ao fato de estar colocada como uma espécie de nota informativa, e não junto às formulas e conceitos referentes a ela. Ainda é possível notar, que os autores colocam a importância dos fenômenos e interpretações de Einstein sobre a teoria quântica, terem sido confirmados por experiências, ou seja, é relevado

novamente o caráter puramente experimental da física, reforçando a imagem do senso comum de que a física só tem importância devido a seus experimentos, sendo que isso é refutado pelo fato de o próprio Einstein, o qual deu grandes contribuições à física, se tratar de um físico teórico, mostrando a diversidade de abordagens que a física possibilita.

No início do capítulo 2, é introduzido que o mesmo tratará dos processos de interação entre radiação e matéria, sendo eles o efeito fotoelétrico, o efeito Compton e a produção de pares. Relata-se novamente sobre evidências experimentais serem obtidas, caindo outra vez no fato já discutido anteriormente em relação a esse assunto, e por último é apresentado que o capítulo em questão juntamente ao capítulo 3 podem ser uma “revisão” de tópicos já estudados pelo aluno. Isso pode gerar um questionamento sobre a posição dos autores, que deixam em evidência a garantia de que os alunos já possuem embasamento teórico consolidado para avançar pelo curso oferecido no livro. Mas em realidade isso não é verificado. Nem sempre o discente tem conhecimento suficiente para progredir sob esse avanço, que na verdade deveria ser bem elaborado em teoria e explicações minuciosas para garantir um respaldo à aprendizagem do aluno.

O capítulo decorre em uma fragmentação de assuntos citados anteriormente, nos quais não se tem nenhuma ligação mesmo sendo encontrados dentro de um mesmo capítulo. Isso promove um caráter desconstrutivo da ciência, onde faz parecer que a mesma se forma de maneira repentina e por problemas individuais, ao invés de uma construção conjunta de leis e problemas inerentes ao contexto da época em que se encontram. Ao terminar a seção referente ao efeito fotoelétrico, Eisberg e Resnick afirmam que:

Finalmente devemos enfatizar aqui que no modelo de Einstein um fóton de frequência ν tem exatamente a energia $h\nu$, e não múltiplos inteiros de $h\nu$. Evidentemente, pode haver n fótons de frequência ν de modo que a energia nessa frequência seja $nh\nu$. Ao tratar a radiação de uma cavidade de corpo negro com o modelo de Einstein, lidamos com um “gás de fótons”, pois a energia radiante está localizada no espaço em pacotes em vez de estar espalhada em ondas estacionárias. Anos depois de Planck ter deduzido sua fórmula para a radiação de cavidade, Bose e Einstein obtiveram a mesma fórmula em um gás de fótons. (EISBERG, RESNICK, 1979, p. 59)

Essa passagem faz referência novamente ao conteúdo do artigo aqui estudado. Nessa superficialidade, é perdida outra grande oportunidade de aprofundamento do assunto. Além da perda de conteúdos físicos, o elemento de dessincretização é verificado, pois em

nenhum momento é explicitado o contexto científico do mesmo e nem estudado a fundo como a questão do “gás de fótons” está relacionada à radiação de uma cavidade de corpo negro, assim se tem somente uma rápida explicação. Nesse momento, poderia ser inserido o fato de Einstein utilizar dos osciladores de Planck como analogia para realizar suas deduções, assim como também seria possível situar a natureza do fóton, assim como sua relação com os fenômenos de emissão e absorção. No final da citação, é possível reconhecer uma descontextualização, pois o fato dos autores citarem que Einstein e Bose obtiveram a mesma fórmula de Planck, não situa o estudante para a diversidade de acontecimentos, obstáculos e avanços teóricos que nortearam tal similaridade.

Na seção “A natureza da Radiação Eletromagnética”, os autores afirmam que:

Em seu artigo “Uma Teoria Quântica para o espalhamento de Raios X por Elementos Leves”, Compton escreveu: “A presente teoria depende essencialmente da suposição de que cada elétron que participa do processo espalha um quantum completo (fóton). Isto envolve também a hipótese de que os quanta de radiação vêm de direções definidas e são espalhados em direções definidas. O apoio experimental da teoria indica de forma bastante convincente que um quantum de radiação carrega consigo tanto momento quanto energia”. (EISBERG, RESNICK, 1979, p. 59)

Nesse trecho, é perceptível a forte presença do elemento de despersonalização. No momento em que os autores colocam alguns conceitos no livro na forma de uma citação de Compton, fica evidenciado que esses conceitos são de fato inseridos originalmente por ele em seu artigo. Essa evidência se torna confirmada, devido ao fato de que no conteúdo anterior a esse capítulo, não ocorre nenhuma explicação coerente sobre a inserção dessa afirmação no contexto da Ciência. Nesse caso, ocorre uma desapropriação de quem na verdade é o responsável por inserir a ideia de que o quanta de radiação vem de direções definidas e são espalhados também em direções definidas, assim como o fato de um quantum de radiação ter momento e energia inerente à sua natureza. O real autor dessas hipóteses, como já estudado no capítulo anterior, foi Albert Einstein, ao sugerir que o quantum de luz carrega não só energia, mas também momento em sua definição, descrevendo então a natureza do fóton e ao supor que ao fazer uma transição de um estado quântico para outro, a molécula emite uma radiação monocromática com frequência determinada pela condição de Bohr, tendo a mesma direção do pacote incidente. Devido a essa situação, é consequente que se tenha uma dessincretização e uma descontextualização, pois não é possível abranger o contexto histórico e científico dos

conceitos após a desapropriação de seu autor.

O restante do capítulo se dá sob explicações puramente físicas dos temas já citados, em forma de aplicações e exemplos a serem seguidos. Não foi verificado um aprofundamento no tema “fóton” tanto em termos físicos quanto histórico-científicos. Encontrou-se apenas um detalhamento sobre as suas possibilidades de interação com a matéria, em distintos momentos da ciência, sem que os mesmos tivessem ligação entre si, ou seja, foi identificada uma fragmentação. A abordagem do capítulo se tornou coerente com a proposta já elucidada no prefácio.

4.3 Análise do livro 2

A segunda análise, é feita sobre o volume 3 do livro (designado aqui como livro 2) “ Física para cientistas e engenheiros” dos autores Paul A. Tipler e Gene Mosca, onde tratam dos seguintes temas da Física Moderna: Mecânica Quântica, Relatividade e a Estrutura da Matéria. Nesse estudo, será analisado somente o tópico referente à Mecânica Quântica. O livro se divide nos capítulos: 34) Dualidade Onda- Partícula e a Física Quântica; 35) Aplicações da Equação de Schrödinger; 36) Átomos; 37) Moléculas; 38) Sólidos; 39) Relatividade; 40) Física Nuclear; 41) Partículas Elementares e a Origem do Universo.

O prefácio do livro 2, traz em destaque as novidades presentes em sua edição (sexta): intenção dos autores de utilizar de uma abordagem estratégica de solução de problemas; um tutorial matemático; e quadros de Física em foco, onde o estudante pode relacionar seu aprendizado com as tecnologias do mundo real. Todas essas novidades têm um formato publicitário, onde ao lado se tem um desenho com a palavra “novo” em destaque, o que sugere que o leitor tenha atenção aos elementos positivos do livro.

Nas estratégias para solução de problemas, é descrito que o estudante irá se deparar com exemplos sequenciados em: situação, solução e checagem. Além de seções que apresentam formas alternativas de resolver problemas, fatos de interesse ou informações adicionais aos conceitos apresentados e problemas práticos para análise do domínio do estudante sobre o conceito.

Os capítulos do livro são estruturados em curtas seções, na quais se tem explicações breves e objetivas sobre os temas abordados. Neles, são encontradas muitas

imagens ilustrativas e percebe-se que os textos estão situados como se estivessem sendo feitos recortes no assunto ali tratado, ou seja, ao se terminar um tema e começar outro no mesmo capítulo, a impressão que se tem é de uma quebra de contexto, onde o anterior não tem relação com o seguinte. Isso se verifica também em questão de conteúdo. Os autores tentam ser bem explicativos sobre os conceitos físicos e suas aplicações, dando pouco espaço para uma compreensão contextual dos mesmos. Na tentativa de inserir a história da ciência (em poucos momentos), os autores se restringem a nomes e datas, assim como um ou outro problema ocorrido na física relacionada àquele assunto, porém sendo os mesmos colocados de forma desconexa entre si.

Torna-se relevante esses apontamentos sobre o livro, devido ao fato de sua abordagem estar ligada com a real intenção do autor em sua produção. O objetivo do livro em questão mostra-se ser o de apoio ao domínio de conceitos, ou seja, é inserida uma abordagem mecanizada onde o aluno não tem necessariamente que entender a essência do assunto tratado, seu contexto científico ou histórico, mas sim dominar os conceitos e fórmulas necessários para o desenvolvimento de problemas e exercícios referentes ao tema.

Percebe-se no livro uma deficiência na estrutura de seu conteúdo. Os problemas da física moderna se iniciam já com o efeito fotoelétrico. Anterior a isso, os autores tentam fazer uma contextualização sobre ondas e partículas e a história da luz de Newton a Maxwell. No primeiro tópico, são feitas explicações e definições físicas, assim como a tentativa de uma distinção entre a natureza da onda e da partícula. Já no último tópico, os autores tentam introduzir a história da física, mas não se aprofundam na mesma. A tentativa de inserção da história da física, encontra-se nesse livro, estruturada em uma linearidade de fatos e datas, dando a impressão de uma física cumulativa, onde antigos conceitos são deixados de lado quando novos se “criam”, sendo que os últimos se dão à base de comprovações experimentais.

Não é evidenciado o período de transição entre a física clássica e a física quântica, o livro não supõe explicitamente a existência dessa fase. O único vestígio de Planck ali encontrado é sua constante h . No mais, em uma nota inserida no rodapé da página, é colocado que a radiação de corpo negro é discutida no capítulo 20, ou seja, em outro volume que trata dos conteúdos de Mecânica, Oscilações e Ondas e Termodinâmica, não contendo o conteúdo de física moderna. Quando esse outro livro é consultado, verifica-se que não há nem mesmo uma seção referente ao tema radiação de corpo negro, o mais próximo que se tem são explicações breves sobre o conceito de radiação, inseridas dentro da seção “A Transferência de Calor”. Nesse momento, é colocada a ideia de que todo objeto emite e absorve radiação

eletromagnética, mas não se tem um aprofundamento na teoria. A explicação fica restrita apenas a lei de Stefan-Boltzmann. Nem Planck e muito menos Einstein, são estudados quanto a essa questão.

Voltando ao livro 2, ao finalizar o “efeito fotoelétrico” os autores iniciam a seção “espalhamento de Compton”. A natureza do fóton é referenciada no primeiro, como sendo uma quantização de energia. O efeito fotoelétrico foi deduzido no capítulo, a partir de evidências experimentais, sendo citado só no final do tema um trecho esclarecendo a abordagem utilizada por Einstein e a qual período pertencia o experimento dissertado: “Esta previsão foi difícil de verificar experimentalmente, mas experiências cuidadosas feitas por R.A Millikan aproximadamente 10 anos mais tarde mostraram que a equação de Einstein estava correta.” (TIPLER, MOSCA, 2009, p.5)

Já no espalhamento Compton, inicia-se uma explicação sobre a interação entre fóton e matéria, onde é colocado que “[...] o elétron iria recuar e assim absorver energia” (TIPLER, MOSCA, 2009, p.6). Analisando essa afirmação, percebem-se os elementos de dessincronização, despersonalização e descontextualização, pois a questão da absorção de energia do elétron na interação com o fóton já havia sido elucidada anteriormente nas deduções do artigo de 1917 de Albert Einstein e em nenhum momento isso é citado ou aprofundado, gerando a impressão de ter sido Compton o autor de tal suposição.

Esses elementos também são verificados na seguinte afirmação: “O momento de um fóton está então relacionado ao seu comprimento de onda (...)” (TIPLER, MOSCA, 2009, P.6). Os autores em nenhum momento deixam realmente explícito como se dá a natureza do fóton, quem a descreveu e a partir de que questões isso ocorreu. É colocada no livro uma simples afirmação, sem estar relacionada com nenhum contexto. Isso talvez se explique pela abordagem de caráter mecânico que o manual possui. Ainda no mesmo capítulo, na seção “Quantização da Energia em Átomos”, encontra-se o seguinte trecho:

Em 1913, isto levou Niels Bohr a postular que a energia interna de um átomo pode ter somente um conjunto de valores discretos. Isto é, a energia interna de um átomo é quantizada. Se um átomo excitado irradia luz de frequência f , o átomo realiza uma transição de um nível permitido para outro nível permitido que tenha menor energia por quantidade $|\Delta E| = hf$. (TIPLER, MOSCA, 2009, p.8)

Esse trecho acima permite a possibilidade de uma inserção do conceito de estados

estacionários, introduzidos por Einstein em seu artigo. Como não foi verificada nenhuma seção no livro referente aos elementos que estão presentes no artigo (dissertados no capítulo 3), essa seria uma chance de contextualizar os problemas e conceitos referentes à transição em estados de energia por uma molécula. Porém, essa contextualização não é inserida e o tema não é aprofundado.

Ainda no mesmo assunto, encontra-se também a passagem: “(...) a *razão* para a quantização dos níveis de energia em átomos e outros sistemas permaneceu um mistério até a descoberta da natureza ondulatória dos elétrons uma década mais tarde.” (TIPLER, MOSCA, 2009, p.8). Nesse momento, poder-se-ia fazer uma ligação com os questionamentos posteriores de Einstein quanto ao tempo e a direção dos processos elementares e o fato dos mesmos não se relacionarem com a teoria ondulatória, além da inserção em seu artigo e negação do físico quanto à questão probabilística.

O restante do capítulo se dá de forma rápida ainda sobre a natureza de propagação e interação do fóton, assim como as ondas de matéria e em seguida já se inicia a teoria quântica com a equação de Schrödinger, o que finalizaria o período da física de transição entre a teoria clássica e a teoria quântica.

4.4 Análise do livro 3

No livro 3, a análise é realizada sobre o volume 4 “Curso de Física Básica” do autor H. Moysés Nussenzveig, que trás em seu conteúdo os temas: Ótica, Relatividade e Física Quântica, sendo que será analisado aqui somente o ultimo termo. A divisão de seus capítulos é feita da seguinte maneira: 1) Introdução; 2) Ótica Geométrica; 3) Interferência; 4) Difração; 5) Polarização; 6) Introdução à Relatividade; 7) Os primórdios da Teoria Quântica; 8) Princípios Básicos da Teoria Quântica; 9) Equação de Schrödinger; 10) Sistemas Quânticos Simples.

O prefácio do livro 3 traz que por se tratar de uma série referente à Física Básica, a obra continua a enfatizar ideias e princípios fundamentais. O autor situa que pretende finalizar a apresentação sobre a física clássica e abordar a física do século XX. Essa passagem possibilita expectativa quanto à possibilidade do autor trabalhar sobre os conceitos presentes na transição da teoria clássica para a teoria quântica.

Ao se falar do capítulo 7, é abordado que no mesmo, será revisto o desenvolvimento histórico que levou à formulação da mecânica quântica. É situado no livro que nesse momento, é importante que haja um paralelo acompanhamento laboratorial do estudante ao curso ali ofertado. Ao falar dos capítulos de 8 a 10, é deixado em evidência que não há uma pretensão de um tratamento da mecânica ondulatória como extensão das ideias sobre ondas clássicas, por, segundo o autor, se tratar de uma “ilusão”. No lugar dessa situação, o autor evidencia que colocará em enfoque o caráter radical das mudanças introduzidas pela quantização, para que o estudante possa obter princípios que possibilitem possíveis generalizações.

O prefácio traz muitas expectativas quanto a ser possível que, na abordagem dada pelo autor ao livro, ocorra de ter uma possível presença dos aspectos relevados no capítulo anterior sobre o artigo científico de Einstein. Ao falar de desenvolvimento histórico, fica evidente uma possível contextualização. Esse fato será verificado a seguir.

Ao introduzir o capítulo 7, o autor tenta fazer uma diferenciação entre características da física clássica e da física quântica. Segundo o mesmo: “(...) a física quântica não se parece com nada do que vimos até agora. Daqui por diante, entraremos em território realmente novo!” (NUSSENGZVEIG, 1998, p. 245). No decorrer do capítulo, se verifica que realmente o conteúdo do mesmo procura discorrer sob enfoque contextual histórico, onde são ligados os problemas da física de diferentes épocas. Porém, quanto o autor passa de uma seção para a outra, ocorre uma quebra na abordagem histórica que disserta.

Durante a seção “efeito fotoelétrico”, em determinado momento, o autor afirma que: “O nome “fóton” para um “quantum de luz” só apareceu em 1926, num trabalho de G. N. Lewis.” (NUSSENGZVEIG, 1998, p. 253) Essa passagem desmistifica a ideia de que fora Einstein, quem introduziu o conceito de Fóton, assim como pode ser verificado na História da Ciência, pois durante seu artigo “ Sobre a teoria quântica da radiação”, Einstein em nenhum momento utiliza de tal nomenclatura, apenas descreve as características pertencentes a termo fóton. Logo, verifica-se uma positiva contextualização histórica realizada pelo autor do livro.

Ao terminar a seção “efeito fotoelétrico”, o autor faz um salto histórico para a seção “O efeito Compton”. Logo, o período caracterizado pelos problemas e incoerências por Einstein resolvidos em 1917, é descartado pelo autor, nesse período histórico. Ao se adentrar no tópico “O efeito Compton”, Nussengzveig (1998) coloca que:

Para explicar esses resultados, Compton levou às últimas consequências a hipótese de Einstein, tratando os raios X em termos de fótons, ou seja, como partículas de energia dada pela relação de Einstein. (...) Além da energia, a radiação eletromagnética transporta momento. (NUSSENGZVEIG, 1998, p. 245).

Nesse momento do livro, pode-se verificar uma dessincretização, despersonalização e descontextualização. Na primeira afirmação, o autor coloca que Einstein evidenciou o fóton como tendo apenas a característica de possuir energia. Porém isso só está relacionado ao período de 1905, no artigo de 1917, Einstein já insere que o fóton além da energia, possui momento. Ao afirmar que a radiação eletromagnética transporta momento, o autor não situa o contexto original dessa passagem, ou seja, é feita uma desapropriação tanto do contexto quanto de quem inseriu essas afirmações científicas no cenário da Física. Pode-se ressaltar também que toda a referência feita a Einstein, está colocada como nota informativa para complementar o conteúdo da seção, isso gera uma grande perda conceitual, pois contrariamente a isso se deveria ter um aprofundamento nas hipóteses e na dedução que norteiam essa questão.

O capítulo decorre em sua característica histórica, com as mesmas falhas citadas anteriormente. Ao chegar à seção “O modelo de Bohr”, o autor disserta sobre a relação de perdas e ganhos entre os modelos atômicos de Rutherford, Thomson e Bohr, sendo citado que o último partiu do embasamento teórico das ideias de Planck e Einstein sobre a quantização. Nesse momento, é situado que:

Bohr, percebendo que a teoria clássica não poderia explicar a estabilidade do átomo em seu estado normal, com o elétron orbitando em torno do núcleo sem emitir radiação, resolveu simplesmente postulá-la, admitindo a existência de *estados estacionários* com estas características. (NUSSENGZVEIG, 1998, p. 263).

Partindo dessa afirmação, já é possível verificar um elemento de descontextualização, no momento em que o autor coloca que “simplesmente” devido à falta de evidências coerentes da teoria clássica, Bohr admite existir estados estacionários. Isso gera ao leitor, uma imagem distorcida da Ciência, na qual admite que a mesma se dá de forma simples e fácil, sem o esforço do cientista em deduzir e encontrar soluções conceituais para os problemas físicos em questão. Assim como emite a ideia de que o meio científico se dá por

meras suposições, sem ter por trás uma estrutura científica a respeitar.

Ainda é possível mostrar através desse trecho citado que ocorre uma dessincretização quanto ao conceito de “estados estacionários”. De acordo com Kleppner (2004, p. 88) “Ao desenvolver sua teoria da radiação, Einstein empregou um novo e crucial conceito: estados estacionários, introduzidos no artigo de Niels Bohr sobre o hidrogênio em 1913”. Partindo dessa afirmação, pode-se entender que as características do conceito de estados estacionários foram introduzidas por Bohr, mas de fato, foi Einstein quem as definiu completamente. Assim, pode-se entender que ocorre parcialmente uma despersonalização do termo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nas análises feitas no capítulo 4, pode-se concluir que em nenhum dos três livros estudados, é feita uma referência direta ao artigo do Einstein de 1917 aqui explanado. Assim como também, verifica-se que os elementos desse artigo, quando citados nos manuais em momentos aleatórios, apresentaram uma constante descontextualização em relação ao seu contexto original. Esses dois acontecimentos podem gerar muitos obstáculos a à aprendizagem dos discentes.

A despersonalização foi identificada de forma significativa na maior parte dos manuais analisados. Em muitos momentos esses livros não colocaram Albert Einstein como quem de fato introduziu uma descrição completa sobre a natureza dos fótons. Isso gera uma grande quebra de compreensão histórica da construção histórica deste conhecimento nos alunos, afinal o início da física quântica se deu por insuficiências da física clássica. Como é possível que o aluno passe superficialmente por um período transitório tão importante na Física?

Ao se adentrar no modelo atômico de Bohr, os autores dos livros didáticos deixam em evidência o conceito de estados estacionários. Porém, sabe-se que realmente esse conceito foi introduzido por Bohr, mas posteriormente, Einstein o relacionou de forma mais precisa à relação entre radiação e matéria. Isso gera no estudante a impressão de que a física se torna estática no momento que um problema científico é solucionado.

Os importantes conceitos de emissão espontânea e emissão estimulada são excluídos da seção que deveria ser anterior ao capítulo de modelos atômicos, onde se encontra o modelo de Bohr. Isso gera uma ruptura no entendimento da História da Ciência, e interfere no raciocínio do estudante quanto ao próprio desenvolvimento do conceito.

Com a ausência dos aspectos já citados, perde-se a oportunidade de mostrar como Einstein se baseava na teoria que o antecedia para propor suas hipóteses. O fato do físico se embasar tanto na teoria clássica quanto no pressuposto quântico, mostra que a física não progride de forma linear. Einstein em seu artigo cita que deve completar suas teorias anteriores que se mostram naquele momento, incompletas. Isso deixa explícito em palavras do próprio físico, de que a Física não é perfeita em sua evolução. Muitas vezes algumas hipóteses inseridas sobre o mesmo objeto, no caso de Einstein o objeto seria o fóton, só são realmente

precisas anos depois de serem sugeridas. Logo, os físicos também se mostram humanos e não gênios que dominam a física sem nenhuma dificuldade, como esta na imagem passada muitas vezes não só por livros do ensino médio, mas até pelos livros de ensino superior.

O fato de Einstein utilizar de analogias com os ressonadores de Planck para desenvolver sua dedução, demonstra que se necessita de uma teoria anterior a qualquer que seja a prática. Isso desmistifica o caráter empirista relevado nos livros, principalmente quando tratam (e sempre evidenciam) dos experimentos científicos.

A relação entre os assuntos inseridos no livro se mostrou fragmentada. As seções presentes em um mesmo capítulo pareceram não ter ligação entre si. O único fator que parecia mostrar algum tipo de união entre os temas era o período histórico em que se encontravam, no qual alguns livros situavam como se estivessem tratando da história da Ciência, por meio de nomes e datas. No mais, os autores não souberam relacionar os problemas científicos entre si

É comum que os professores ao falar de física moderna lembrem o fato de que Albert Einstein renegava o caráter probabilístico da mecânica quântica, porém, os livros não apresentam como essa importante informação se iniciou. Foi em sua própria dedução, que Einstein descreveu ser propriedade do acaso, a direção e o tempo dos processos elementares em seu artigo sugerido. Ao escrever uma carta a Max Born, deixa evidenciada sua preocupação quanto ao caráter probabilístico que sua teoria adquiriu e afirma tristeza, caso ela pertença de fato a essa natureza. (DAVIDOVICH, 2006)

Sabe-se que seria equivocada a inserção bruta de todos os elementos científicos presentes no artigo, em um livro direcionado a estudantes que estão se iniciando no assunto, sem haver um processo para torná-los didáticos. Mas nem os elementos e nem esse processo são devidamente respeitados, pois além de não serem colocados no livro, a didática do mesmo encontra-se como mera doutrinação na resolução de exercícios. Porém, a essência física dos problemas científicos ali retratados, deve ser relevada, afinal a mesma não se constrói apenas com leis e fórmulas prontas para serem entendidas e aplicadas em problemas, mas sim de forma contextual, onde também se apresentam expectativas e indagações humanas acerca da natureza e seus fenômenos.

Os livros em sua estrutura apresentaram seguir a ideia de Chevallard de que o conhecimento necessita ter logicidade e publicidade para corresponder às expectativas externas. Porém essa sequência não tem se tornado eficaz para suprir as necessidades dos discentes.

Assim como já debatido nesse trabalho, o aluno está sempre em contato individual com o livro e muitos professores fazem do manual a sua própria aula, sem fazer mediações, seguem fielmente o que no livro é proposto. Em ambos os casos não se tem uma utilização crítica do livro, daí a necessidade de o mesmo ter uma estrutura de boa qualidade em termos de aprendizagem. A abordagem tradicional do manual contradiz essa qualidade por justificativa de diversos fatores aqui já explanados.

No ato da descontextualização, o entendimento do saber científico se torna superficial. Logo, a ideia proposta por Chevallard de que o saber científico necessita passar por uma despersonalização, dessincretização e descontextualização para atender às necessidades da sociedade se mostra incoerente, ou mesmo insuficiente à real necessidade do aluno adquirir um conhecimento verídico.

Não é de hoje que se tem uma constante afirmação de um caráter puramente objetivo e calculista da física, como se a mesma se apresentasse apenas como uma técnica utilizada para domínio de problemas. Mesmo que isso corresponda à abordagem tradicional proposta pelo livro, apresenta aos alunos uma superficialidade que se torna na verdade uma barreira para o real conhecimento.

É necessário haver uma inversão nessa imagem errônea dissipada tanto por livros, quanto muitas vezes pelos próprios professores para seus alunos. A física em sua essência se apresenta de forma também filosófica. Atualmente o caráter físico fica restrito a ser apenas base para a geração de novas tecnologias, o que talvez promova um estímulo a uma aprendizagem mecanizada dos conceitos físicos, na intenção de se gerar cada vez mais produção ao invés de um real conhecimento que deve ser primeiramente compreendido e analisado para depois poder haver manipulação e aplicação do mesmo.

Logo, refletindo sobre a constituição do conteúdo no livro, pode-se verificar que a vigilância epistemológica sugerida por Chevallard tem se encontrado falha. A todo o momento houve brechas entre o saber sábio aqui proposto e o saber ensinado neste trabalho analisado. Conclui-se que com todas essas limitações, devem surgir possibilidades de uma reformulação no saber textualizado presente nos livros de ensino superior, sendo que os mesmos permitam uma verdadeira compreensão da física, e não se prendam a uma abordagem informativa em termos de objetividade.

REFERENCIAS

ALMEIDA, Janaína Rabelo Cunha Ferreira de; MIRANDA, Maíra Avelar. **O uso de pronomes de primeira pessoa em artigos acadêmicos: Uma abordagem baseada em corpus; veredas on-line – linguística de corpus e computacional – 2/2009**, p. 68-83 – PPG LINGUÍSTICA/UFJF – Juiz de Fora. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/revistaveredas/files/2009/11/ARTIGO-Maira-Avelar-e-Janaina-Rabelo.pdf>> Acesso em: 26/09/2015

CARVALHO, Isabel Cristina Louzada; KANISKI, Ana Lúcia. **A sociedade do conhecimento e o acesso à informação: para que e para quem**; Ci. Inf., Brasília, v. 29, n. 3, p. 33-39, set./dez. 2000. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ci/v29n3/a04v29n3.pdf>> Acesso em: 15/09/2015

CIVIERO, Paula Andrea Grawieski. **Transposição didática reflexiva: Um olhar voltado para a prática pedagógica**. 2009. 179 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Matemática) - Programa de Pós-graduação em Ensino de Matemática, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

CORDEIRO, Marinês Domingues; PEDUZZI, Luiz O. Q. **Consequências das descontextualizações em um livro didático: uma análise do tema radioatividade**; Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 35, n. 3, 2013. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/353602.pdf>> Acesso em 23/09/2015

DAVIDOVICH, Luiz. **Einstein e a Mecânica Quântica**. Disponível em: <<http://www.if.ufrj.br/~l david/arquivos/EinsteineaMecanicaQuantica-CienciaeMeioAmbiente.pdf> >. Acesso em: 06/08/2015

DELIZOICOV, Demétrio; ANGOTTI, José André; PERNAMBUCO, Marta Maria. **Ensino de Ciências: Fundamentos e métodos**. 2003, editora Cortez

EINSTEIN, A. **Sobre a teoria quântica da radiação**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 27, n.1, p. 93 – 9. 2005.

EISBERG, Robert; RESNICK, Robert. **Física Quântica: Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas**. 10 reimpressão. Rio de Janeiro: Campus, 1979

ERROBIDART, Nádia Cristina Guimarães. **O estudo qualitativo das transformações pelas quais passam os saberes até chegarem à sala de aula no conteúdo de física ondulatória**. 2010. 147 f. Tese (Doutorado em Educação) - Programa de Pós-Graduação em Educação, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande.

FILHO, José de Pinho Alves; PINHEIRO, Terezinha de Fátima; PIETRECOLA, Mauricio. **A Eletrostática como exemplo de transposição didática**. 2001, editora UFSC

KLEPPNER, Daniel. **Relendo Einstein sobre radiação**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 27, n. 1, p. 87 – 91. 2004

LEITE, Miriam Soares. **Contribuições de Basil Bernstein e Yves Chevallard para a discussão do conhecimento escolar**. 2004. 131 f. Dissertação (Mestrado em Educação) - Departamento de Educação, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

MIZUKAMI, Maria da Graça Nicoletti. Resumo. **Ensino: As abordagens do processo**. 2011. Disponível em: <
http://www.aedi.ufpa.br/parfor/letras/images/documentos/ativ1_2014/abaetetuba/tomeacu2011/ensino_as%20abordagens%20do%20processo.pdf> Acesso em: 27/10/2015

MOREIRA, Marco Antonio; AXT, Rolando. **O Livro didático como veículo de ênfases curriculares no ensino de física**. Revista de ensino de física. V. 8, n. 1, jun/1986. Disponível em: <
<http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/vol08a04.pdf>> Acesso em: 15/09/2015

NETO, Jader da Silva. **Curso técnico em radiologia médica – radiodiagnóstico**. Disponível em: <
<http://lief.if.ufrgs.br/~jader/radiacoes.pdf>> Acesso em: 16/09/2015

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Curso de Física Básica**, v. 4, 1º ed; Editora Blucher, 1998.

PEREIRA, Joaquim Gomes. **Radiações não ionizantes**. Disponível em: <
http://www.inpe.br/twiki/pub/Main/CarlosUeda/Aula_Rad_-_poli_2006.pdf> Acesso em: 20/09/2015

SILVA, Priscila do Nascimento; SOUZA, Larissa Oliveira de; CUSTÓDIO, Andreza Cristiane; SILVA, Flávia Cristiane Vieira da; NETO, José Euzébio Simões. **Análise da Transposição Didática para o Conteúdo de Reações Orgânicas: Primeiras Impressões**. 2013, Atas do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – IX ENPEC.

TIPLER, Paul Allen, 1933. **Física para cientistas e engenheiros**, volume 3, física moderna: mecânica quântica, relatividade e a estrutura da matéria / Paul A. Tipler, Gene Mosca; tradução e revisão técnica Marcia RussmanGallas – [Reimpr]. – Rio de Janeiro: LTC, 2011.

YOSHIMURA, Elisabeth Mateus. **Física das Radiações: interação da radiação com a matéria**; Revista Brasileira de Física Médica, v.3 n.1, p. 57-67, 2009. Disponível em:<
http://acervo.abfm.org.br/rbfm/publicado/RBFM_v3n1_57-67.pdf> Acesso em: 01/10/2015

ZANON, Dulcimeire Aparecida Volante; MACHADO, Adriana Teixeira. **A visão do cotidiano de um cientista retratada por estudantes iniciantes de licenciatura em química**. Disponível em:<
www.cienciasecognicao.org/revista/index.php/cec/article/download/.../pdf>. Acesso em: 23/06/2015.