UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

INSTITUTO DE FÍSICA

INSTITUTO DE QUÍMICA

INSTITUTO DE BIOCIÊNCIAS

FACULDADE DE EDUCAÇÃO

Bruna Graziela Garcia Potenza

Formação Inicial de Professores e a Física Moderna: articulações para um desempenho autônomo.

São Paulo

2011

Bruna Graziela Garcia Potenza

Formação Inicial de Professores e a Física Moderna: articulações para um desempenho autônomo.

Orientadora: Prof[a]. Dr[a]. Maria Regina Dubeux Kawamura

Dissertação de mestrado apresentada ao Instituto de Física, ao Instituto de Química, ao Instituto de Biociências e à Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências.

Área de Concentração: Ensino de Física.

São Paulo
2011

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

FICHA CATALOGRÁFICA
Preparada pelo Serviço de Biblioteca e Informação
do Instituto de Física da Universidade de São Paulo

Potenza, Bruna Graziela Garcia

Formação Inicial de Professores e a Física Moderna: articulações para um desempenho autônomo - São Paulo, 2011.

Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo. Instituto de Física – Depto. de Física Experimental

Orientador: Profa. Dra. Maria Regina Dubeux Kawamura

Área de Concentração: Ensino de Física

Unitermos: 1. Física – Estudo e Ensino; 2. Ensino Superior; 3. Física Moderna; 4. Formação de Professores.

USP/IF/SBI-045/2011

AGRADECIMENTOS

Nós simplesmente não somos ninguém sozinhos. E esse trabalho marca o fim de uma etapa de muitas, muitas transformações daquilo que eu era para aquilo que sou. Algumas pessoas ajudaram na substância, ou seja, interferiram exatamente na minha essência, na forma de pensar o mundo. Outras me deram amparo para que eu não perecesse nesse processo, ensinando formas de agir e de conviver.

Então como agradecer? Qual o critério para organizar esses agradecimentos que são inúmeros, de diferentes naturezas e se encontram emaranhados? Acho que há coisas que não precisamos racionalizar, apenas sentir.

Ao longo desse processo cheguei a um nível de desatenção às coisas que se não fosse por minha mãe e meu esposo, eu simplesmente não comeria. Trata-se do agradecimento mais profundo e basal porque se refere à manutenção da vida: “Obrigada, o apoio de vocês foi tamanho que, sem ele, não teria concluído essa etapa. Muitas vezes eu não teria nem o que comer, o que vestir ou não teria tempo para descansar.”.

Tem pessoas as quais você quer agradecer pela força, pela garra, pela personalidade. Nessa perspectiva eu agradeço a minha recém falecida vovó, por dela ter herdado a marra, o feminismo, a fé e o amor pela vida.

Além disso, nessa caminhada, foram importantes as parcerias intelectuais estabelecidas com dois docentes doutores de Instituições de Ensino Superior, preocupados com a escola básica e com a formação de professores, me auxiliando nas formas de pensar e de agir enquanto educadora que sou.

Há aqueles aos quais agradeço pelos momentos de farra, de descontração e de muita conversa, por propiciarem uma leveza indescritível em minha alma. Assim, tenho uma gratidão especial pelas educadoras do Corredor de Ensino, esse lugar que, como representa o nome, leva as pessoas por caminhos inimagináveis.

E há o agradecimento especial por quem me abriu a porta, ou melhor, por quem me mostrou a existência de uma porta e se ofereceu a me levar até ela, adiantou-me que apenas eu poderia abri-la. Também adiantou que por trás dela há inúmeros caminhos empoeirados, dentre os quais eu traçaria o meu percurso. E que somente no caminho descobriria aonde hoje quero chegar. E além de apresentar todo esse insano desafio, se prontificou a acompanhar a empreitada.

Muitas discussões, muitas conversas, muitos conselhos. Alguns empréstimos de guarda-chuva e de agasalhos azuis. Enfim, muito do que sou hoje, não apenas academicamente, mas como pessoa e educadora, devo a ela.

Nesse panorama, não teria como o trabalho se ausentar de desafios, da formação de professores e da ação autônoma. Tornou-se minha essência nesses últimos anos.

Obrigado a todos!

RESUMO

POTENZA, B. G. G. A **Formação de Professores e a Física Moderna: articulações para um desempenho autônomo.** Dissertação (Mestrado) apresentada ao Instituto de Física, ao Instituto de Química, ao Instituto de Biociências e à Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. 149 f.

É destacada a importância de uma atualização da Física abordada na escola média, através da inserção de temas de Física Moderna e Contemporânea. Toma-se como pressuposto que um dos principais fatores com potencial para promover essa inserção é a atenção à formação inicial de professores. Assim, pretende-se investigar como disciplinas de conhecimento científico específico, em cursos de licenciatura, estão ou poderiam estar contribuindo para a prática futura de seus alunos. Para essa análise, buscou-se partir de um diagnóstico concreto, levantando características, propostas e dificuldades de aprendizado, em uma disciplina de Física Moderna. Dessa abordagem, emergiu a percepção de que os problemas observados podem ser mais estruturais do que conjunturais. Isso conduziu as investigações para as questões relacionadas à própria organização e seleção de conteúdos, através da análise dos livros didáticos de física moderna no ensino superior e no ensino médio. O entendimento sobre tal estrutura e organização ultrapassa a natureza do conhecimento e revela a existência de relações implícitas com a dinâmica cultural nas instituições de ensino. O aprofundamento dessas questões nos levou a propor que grande parte das dificuldades tem origem no descompasso de finalidades formativas do ensino superior e médio, o que exigiria uma atenção especial à autonomia docente já nos cursos de formação. Dessa forma, uma ressignificação do aprendizado poderia vir a se estabelecer a partir da desnaturalização dos conteúdos apresentados e do reconhecimento da autonomia do professor. Isso implica ter presente o espaço de ação na futura atuação docente, no que diz respeito às formas pelas quais virá a contemplar e estruturar os conhecimentos de Física Moderna e Contemporânea.

Palavras-Chave: Ensino de Física, Física Moderna, Formação de Professores.

ABSTRACT

POTENZA, B. G. G. A **Teaching Education and Modern Physics: preparing students for autonomous performance.** Dissertação (Mestrado) apresentada ao Instituto de Física, ao Instituto de Química, ao Instituto de Biociências e à Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. 149 f.

The introduction of modern and contemporary Physics in high school curriculum requires these topics to be deeply considered in teachers' initial formation. In this way, we investigated how specific physics contents, in modern physics undergraduate classes, could be considered in the way of contributing to teachers' future professional action. We analyzed learning difficulties and students perceptions, as a case study, in a one semester modern physics class, in physics teaching courses at the University of São Paulo. Special attention was taken to wave-particle duality comprehension. Also, the selection and sequence of physics contents in modern physics undergraduate textbooks were analyzed, discussing history approaches and confronting them with high school textbooks. Our results indicated that the problems involved were mainly concerned to curriculum design. They seem to be more strictly related to the approaches and topics selected than only to learning difficulties. In this framework, our reflections suggest that the ideas about teaching formative aims need to be clear and well discussed with students, indicating and allowing their future choices in their high school classes. Topic sequence and choices presented in undergraduate courses must not be taken as natural and unique. In this way, teachers' autonomy is allowed to be practiced in their own initial formation, preparing them to exert it also in their professional action.

Keywords: Physics Teaching, Modern Physics, Teaching Education.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO 8
CAPÍTULO 1. Uma disciplina de Física Moderna na formação inicial de professores 20

1.1. O contexto da disciplina: temas, abordagens, expectativas e avaliação 23
1.2. O aprendizado dos temas 33
1.3. Síntese 39

CAPÍTULO 2. A Física Moderna através dos livros didáticos de Ensino Superior 43

2.1 Marcos históricos de referência 45
2.2 Os livros didáticos de Ensino Superior 62
2.3. A Dualidade Onda-Partícula nos textos 69
2.4. Síntese 74

CAPÍTULO 3. A análise de inserções da Dualidade Onda-Partícula no Ensino Médio 79

3.1. Livros didáticos. 80
3.2. Propostas acadêmicas. 86
3.3. Síntese 92

CAPÍTULO 4. A Seleção de conteúdos e abordagens a partir das finalidades 97

4.1. A cultura escolar, seus saberes e finalidades. 99
4.2. A autonomia docente através das escolhas 108
4.3. Síntese 111

CAPÍTULO 5. A Autonomia Docente e as Finalidades Formativas como elementos de articulação na disciplina de Física Moderna. 117

5.1.Os elementos na formação inicial 118
5.2. Os elementos em articulação na disciplina de Física Moderna – diagnóstico e proposições 121

CONSIDERAÇÕES FINAIS 131
BIBLIOGRAFIA 134
ANEXOS 141

INTRODUÇÃO

A partir da década de setenta, vem se acentuando a preocupação da área de Ensino de Física quanto à inserção, no Ensino Médio, dos conhecimentos da Física produzidos a partir do século XX.

Debruçamo-nos sobre os problemas relacionados à essa inserção da Física Moderna no Ensino Médio, por meio de uma investigação sobre a formação inicial de professores.

A origem do interesse por essa questão se deu ao longo do ano de 2007, tendo início em um projeto de iniciação científica, desenvolvido com a intenção de elaborar materiais didáticos para uma disciplina que aborda temas da Física Moderna em um Curso de Licenciatura.

Com a maior aproximação desse contexto específico de formação, novas questões surgiram sobre o aprendizado efetivo dos futuros professores na disciplina, das quais resultou uma monografia de final de curso e alguns trabalhos apresentados em Encontros e Simpósios da área (Potenza, Siguematsu, Kawamura e Bechara, 2008; Potenza, Kawamura, Bechara, 2009).

Esses trabalhos serviram como primeiras aproximações da problemática da inserção da Física Moderna no Ensino Médio, na perspectiva da formação inicial de professores.

Para investigarmos mais profundamente a problemática e para definirmos nossa perspectiva, relacionamos as preocupações surgidas nesses trabalhos com as questões investigadas pela área de pesquisa em Ensino de Física.

Foram analisadas as publicações apresentadas em encontros e periódicos da área por cerca dos últimos dez anos, dentre as quais foram selecionadas aquelas relacionadas à temática da *Inserção da Física Moderna e Contemporânea,* sendo posteriormente agrupadas por semelhança de perspectivas adotadas.

Nessa análise, foi possível identificar preocupações/objetivos de quatro perspectivas não excludentes:

- **As justificativas:** discussão sobre os motivos pelos quais deve ocorrer a atualização curricular da Física presente na escola básica;
- **As dificuldades:** levantamento de impasses que se apresentam para a inserção da Física Moderna no Ensino Médio;

- **As concepções alternativas:** compreensão dos conceitos prévios ou alternativos dos alunos em relação aos conteúdos modernos;
- **Os currículos:** seleção e organização dos conhecimentos da Física Moderna que devem integrar o conteúdo do Ensino Médio.

Ainda que bem demarcadas, cada um desses aspecto sofre influências determinantes dos demais, de modo que não podemos tratar da seleção dos conteúdos, por exemplo, sem refletir sobre quais são as justificativas ou dificuldades relacionadas.

Enquanto **justificativa**, a inserção dos conteúdos da Física Moderna traz, para alguns autores, o sentido da atualização curricular, que se faz útil pela influência desses conceitos no cotidiano contemporâneo, através de suas aplicações tecnológicas - o que inclui as dimensões sociais e éticas resultantes, e reflete uma perspectiva de formação do cidadão crítico.

> a física desenvolvida na escola média deve permitir aos estudantes pensar e interpretar o mundo que o cerca (...) nesse nível de escolaridade devemos estar formando um jovem, cidadão pleno, consciente e, sobretudo capaz de participação na sociedade. Sua formação deve ser o mais global possível, pois sua capacidade de intervenção na realidade em que está imerso tem relação direta com sua capacidade de leitura, de compreensão, de construção dessa mesma realidade (Terrazan, 1994 apud Sonza & Fagan, 2007, p. 02).

Por outro lado, outros autores (Aubrecht, 1989; Kalmus, 1992; Stannard, 1990; Wilson, 1992 apud Ostermann & Moreira, 2000) inferem que o interesse por parte dos alunos nos assuntos da Física Moderna os inclina para as carreiras científicas, processo importante para a manutenção da área.

Além das justificativas acima arroladas, exteriores à Física, temos a necessidade da inserção dos novos conceitos pela sua relevância histórico-filosófica interna. Nesse caso, o próprio processo de desenvolvimento do pensamento científico e das novas formas de compreender o universo físico (Kragh, 1992 apud Greca & Moreira, 2001) são considerados fundamentais por aqueles que acreditam que o ensino de ciências não se restringe apenas ao ensino de seus conceitos, sendo também um ensino *sobre* a ciência.

> a introdução de conceitos atuais de Física pode contribuir para dar uma imagem mais correta desta ciência e da própria natureza do trabalho científico. Esta imagem deve superar a visão linear, puramente cumulativa do desenvolvimento científico. (Gil et al., 1987 apud Ostermann & Moreira, 2000, p. 03)

Apesar da destacada importância, essa atualização vem sendo vagarosamente implementada, devido a **dificuldades** extrínsecas e intrínsecas. Dentre o primeiro grupo de dificuldades, temos aspectos da organização da escola básica, enquanto o segundo grupo está relacionado ao conteúdo propriamente dito dos conhecimentos envolvidos.

Enquanto dificuldades extrínsecas para a implementação dos conteúdos modernos na escola básica têm-se o pouco tempo destinado ao Ensino de Física no Ensino Médio; a seqüência programática e a quantidade excessiva de assuntos de física clássica incluídos no atual currículo; as pressões dos vestibulares - sendo que alguns não exigem conhecimentos da Física Moderna; a raridade de livros texto disponíveis abordando adequadamente os temas contemporâneos; e a formação do professor que oferece poucas condições para o ensino do assunto (Lima & Moreira 2007; Oliveira & Santos, 2011; Silva, Barros e Laburú, 2011).

Dessa maneira, a formação dos professores aparece como uma dificuldade para a inserção dos novos conceitos. Considerando a relevância da formação docente no processo de ensino-aprendizado, alguns autores delimitaram a temática correlacionando-a com o ensino da Física Moderna.

> há freqüentemente (na abordagem tradicional) uma ênfase no emprego do formalismo matemático como principal recurso ou mesmo única ferramenta - principalmente em cursos de graduação – e na resolução de extensas listas de problemas. Uma outra premissa básica, assumida no âmbito da formação inicial e continuada de professores, é a de que uma abordagem mais conceitual e qualitativa da FQ é mais adequada além de mais efetiva.

No texto acima, Ostermann e Prado (2006, p.01) apontam a destacada ênfase na abordagem operacional da Física Moderna nos cursos de graduação e sugerem, juntamente com outros autores (Barbosa jr & Jesuína, 2007; Silva & Terrazan, 2007; Ostermann & Ricci, 2005), que uma combinação entre o aspecto formal e o conceitual é a abordagem ideal.

A abordagem conceitual é apontada como saída ao argumento a favor da não inserção, pelo motivo que a base matemática é complicada e não há requisitos por parte dos alunos do Ensino Médio. *"Um dos fortes argumentos, encontrados ainda hoje, para não se discutir assuntos de FMC na escola média centra-se na questão dos pré-requisitos matemáticos necessários para a abordagem dos mesmos."* Silva & Terrazan (2007, p.02).

Dentre as dificuldades intrínsecas, temos uma Física em aparente desacordo com o senso comum, que trata do mundo microscópico com representações que não podem ser imaginadas por não possuírem análogos clássicos (Bastos Filho, 2004). É apontado, também, que requisitam daqueles que a estudam o desenvolvimento de uma nova percepção ou apenas a compreensão do formalismo matemático coerente e auto-contido, capaz de descrever os resultados experimentais (Siqueira & Pietrocola, 2005).

Uma maneira de buscar a superação das dificuldades intrínsecas, destacada pela área, consiste no levantamento de **concepções alternativas** elaboradas pelos estudantes. Os estudos de concepções alternativas são poucos (Ostermann & Moreira, 2000; Greca & Moreira, 2001) e referem-se a concepções de livros didáticos, de alunos e de professores, tendo como tópicos centrais o modelo atômico, a luz, a radioatividade e a relatividade (Ostermann & Moreira, 2001). Quanto aos conceitos apreendidos, são encontradas concepções errôneas como, por exemplo, ao conceber os entes quânticos com trajetórias e localizações definidas na tentativa de lhes atribuir realidade.

> Os resultados, por sua vez, parecem mostrar que os distintos conceitos quânticos abordados dificilmente são compreendidos pelos estudantes pesquisados, estudantes estes, ademais, pertencentes a distintos níveis e modalidades e também a diferentes comunidades. (Greca & Moreira, 2001, p. 08).

Uma variação atual desta tendência baseia-se em concepções expressas por alunos após o processo de ensino-aprendizado. Nessa linha, temos Singh (2008), que sinaliza limites na aprendizagem conceitual da Equação de Schroedinger nas graduações das universidades norte-americanas, apontando dificuldades de interpretar, explicar e realizar inferências ao responder questões em variados contextos. Dificuldades em discernir superposição de estados quânticos com estados mistos por alunos de mestrado profissionalizante são apontados por Vertchenko & Werkhaezer (2007).

Além disso, uma alternativa fornecida pela área às dificuldades de inserção consiste no questionamento sobre o **currículo** da Física Moderna no Ensino Médio.

Em relação aos conceitos a serem ensinados, de acordo com Siqueira e Pietrocola (2006), define-se um saber a ser ensinado através de negociações a partir do saber sábio. De acordo com estes autores, os conceitos de Física Moderna podem ser ensinados se seguirem as “regras da transposição didática”. Nessa

perspectiva, os conceitos devem ser “consensuais” (ter status de verdade), buscar uma “atualização” (que seja da própria área do conhecimento e reconhecida pela sociedade), ser “operacional” (ser contemplado por exercícios, atividades, entre outros) permitindo a “criatividade didática” e sendo “terapêutico” ao ensino (se adaptar ao sistema didático).

Por outra via, há autores que são contra o ensino de determinados assuntos da Física Moderna, principalmente da denominada Velha Mecânica Quântica (Ostermann e Ricci, 2005), que por ser uma física semi-clássica (conceitos físicos criados durante a transição entre a física clássica e a moderna), requisita o uso de intuições e representações clássicas aos objetos físicos quânticos, considerado como entraves ao aprendizado da intuição quântica. Dessa maneira, exclui-se a abordagem histórica que apresenta a construção da nova física, pois os conceitos da velha mecânica quântica representam as tentativas históricas de estruturação do novo conhecimento.

> Em cursos introdutórios menos formalistas, comuns ao longo da formação de professores de Física de ensino médio, por exemplo, costuma-se encontrar abordagens semiclássicas nas quais a Mecânica Quântica é introduzida de maneira fortemente correlacionada com a Mecânica Clássica, seja em seus fundamentos e pressupostos mais básicos, seja em sua evolução histórica. Esse tipo de abordagem acaba relegando a um segundo plano questões cruciais, como a de que os objetos quânticos são de uma natureza muito diversa dos objetos clássicos. (Ostermann & Ricci, 2005, p. 03)

Anteriormente aos autores acima citados, Fischler e Lichtfeldt (1992 apud Ostermann e Moreira, 2000) também defenderam a não utilização dos modelos clássicos, mas com recortes diferenciados, sem discussões epistemológicas e o uso de concepções dualistas.

> Segundo Jones (1991, p. 93) os estudantes não passam da Mecânica Clássica à Quântica, senão que são obrigados a aprender ‘um híbrido, composto basicamente por idéias e imagens desenvolvidas no período de 1900-1920... que produz modelos conceituais incorretos, retardando a compreensão e o interesse’. Segundo ele, isto se deve a que a Física Moderna é ensinada desde uma perspectiva histórica, em vez de lógica, como aconteceria em outras áreas da Física. (Greca & Moreira, 2001, p.08).

Portanto, salientadas as diferenças, os autores acima citados recorrem a uma construção lógica da Mecânica Quântica partindo da Física Ondulatória Clássica, através da abordagem de situações analógicas e pela exploração de semelhanças formais entre as teorias (Ostemann & Ricci, 2005).

O uso exclusivo das características ondulatórias é criticado por outros autores (García-Castañeda, 1985; Nussenzveig, 1998 apud Greca & Moreira, 2001), porque confere *" 'a ilusão de que basta estender um pouco as idéias sobre ondas clássicas' para entender os princípios quânticos."* (Nussenzveig, 1998 apud Greca & Moreira, 2001, p.08).

Contrariamente a essa tendência, temos a defesa de Bastos Filho (2004) ao colocar o problema da "incompreensibilidade" da velha mecânica quântica, apontada por Feynman, que aparece como principal argumento para que não se aborde seus conteúdos. O autor contra argumenta que esta deve ser abordada pela importância do seu legado e da construção de novas intuições, de modo a não recair no que denominou de "paternalismo epistemológico".

> Não há o que se duvidar da capacidade dos estudantes para que venham a confrontar tanto os paradoxos quanto as diferentes soluções desses paradoxos. Não devemos tratar os estudantes com o paternalismo epistemológico que seria incompatível com a procura de autonomia de seu pensamento e, mais geralmente, e como extensão política, de seu próprio exercício de cidadania. (...) No entanto, a solução, certamente, não seria a de infantilizar os estudantes. Acreditamos que escolhas metodológicas de ensino, que pressupõem evitar a velha mecânica quântica a fim de não levar os estudantes a intuições e imagens distorcidas, são tais que evitam o conflito cognitivo que é fundamental para qualquer progresso genuíno. (Bastos Filho, 2004, p.06).

Bastos Filho, ao defender a Velha Mecânica Quântica, não dissocia os aspectos históricos dos filosóficos (epistemológicos) que se feita possui possíveis efeitos danosos, conforme apontam outros autores:

Kragh (apud Greca & Moreira, 2001, p.09) aponta que muitas vezes aparecem perspectivas históricas em determinadas disciplinas ou livros com a finalidade de doutrinação, *"a convencer os estudantes de que a conclusão à qual chegaram os físicos no passado é a única racional e a única que os estudantes modernos devem aceitar"*. Essa abordagem histórica é denominada "quase-histórica", estudada por autores que buscam inserir filosofia e história da ciência no seu ensino.

Quanto à abordagem filosófica, vários autores criticam o ensino da interpretação "oficial", também chamada de ortodoxa ou da complementaridade de Bohr.

Um trabalho anterior de Bastos Filho (apud Greca & Moreira, 2001, p. 10) aponta que *"os estudantes ainda aprendem que o que Bohr escreveu em 1927 é a*

última palavra sobre a questão. Aparentemente, não há oposição. Mas se prosseguimos sem apresentar aos estudantes os dois lados da moeda, continuarão incapacitados para qualquer discussão conceitual sobre a Mecânica Quântica".

Nessa mesma linha, inclusive, Silveira (apud Greca & Moreira, 2001) associa essa abordagem epistemológica à forma matematizada que vem sendo adotada nos cursos de Mecânica Quântica nas graduações, posto que a abordagem é calcada no positivismo lógico, dentro do qual não faz sentido a compreensão da teoria, valendo apenas o domínio do formalismo.

Uma resposta a essa ênfase é conferida por Montenegro & Pessoa Jr. (2002), que trabalham o aprendizado da Mecânica Quântica através de suas várias interpretações (ondulatória, dualista realista, dualista positivista – ortodoxa, corpuscular), colocando os problemas filosóficos cruciais no desenvolvimento da Mecânica Quântica.

Acima tratamos de uma discussão metodológica, como aponta Ostermann e Moreira (2000, p.08) *"Em particular, o papel das analogias clássicas para o entendimento dos conceitos modernos, a ênfase ou não em pré-requisitos, a abordagem histórica ou "lógica" são pontos que geram muitas discordâncias"*.

Analisando os materiais existentes para o ensino da nova física no ensino médio, Valente, Barcellos, Salém & Kawamura (2007) apontam duas tendências na forma como as propostas estão sendo concretizadas. Na primeira, os assuntos de Física Moderna compõem uma unidade temática estanque, ou seja, são separados das outras grandes áreas da Física e são abordados de maneira mais abrangente. Na segunda, a Física Moderna pode ser inserida em cada área da física como "atualidade", complementando temas específicos de modo a apresentar os conceitos associados às tecnologias contemporâneas.

De maneira geral, a primeira tendência é aquela visível nos cursos de formação de professores, assim como nas carreiras científicas (Ostermann & Rici, 2005; Ostermann, Prado e Ricci, 2006; Vertchenko & Werkhaezer, 2007), aparecendo de maneira parcial no Ensino Médio (Brockginton & Pietrocola, 2005; Siqueira & Pietrocola, 2006; Lochi & Garcia, 2009), ou como, por exemplo, em alguns livros didáticos (Ugo Amaldi – Imagens da Física, 1995 apud Ostermann & Moreira, 2000; Carron & Guimarães, 1997; Ramalho, Nicolau, Toledo, 2003; Nicolau, Penteado, Toledo e Torres, 2001 apud Sonza & Fagan, 2005).

A segunda aparece exclusivamente no Ensino Médio e tem como principal objetivo a formação do cidadão pelo conhecimento dos conceitos associados aos artefatos tecnológicos. Vários são os autores a trabalhar dessa forma (Alvetti e Delizoicov, 1998; Pereira, 1997; Camargo, 1996; Paulo, 1997 apud Ostermann & Moreira, 2000; Merzbacher, 1990 apud Greca & Moreira, 2001; Valente, Barcelos, Salém e Kawamura, 2007; Barbosa Jr e Pacca, 2007; Silva & Terrazan, 2007). Apesar do objetivo em comum, estes trabalhos diferem quanto aos tópicos selecionados, metodologia e estratégias didáticas. Há propostas de livros didáticos que também apresentam os conceitos da Física Moderna de acordo com essa segunda tendência: Alvarenga & Máximo, 1997 e GREF (1993a, 1993b, 1995) apud Ostermann & Moreira, 2000; Alberto Gaspar, 2000; e Alvarenga & Máximo, 2000 apud Immich, Terrazan e Nascimento, 2005.

A partir desse levantamento podemos procurar definir as perspectivas do presente trabalho. Consideramos plausíveis as justificativas para a inserção da Física Moderna no Ensino Médio, ressaltando especialmente aquelas que defendem a necessidade de, através desses conhecimentos, proporcionar uma visão mais atualizada da própria física e de sua construção de mundo.

No entanto, reconhecemos que essa tarefa não tem atingido os resultados esperados. Dentre as inúmeras dificuldades associadas a esse processo, consideramos como fundamental, em nossa perspectiva, aquelas relacionadas à formação inicial de professores. Consideramos, portanto, como hipótese, que grande parte dos problemas relacionados à inserção no ensino médio decorre das dificuldades enfrentadas pelos próprios professores com esses conhecimentos.

Debruçando-se sobre essa perspectiva, interessa-nos centrar nossa investigação menos nos aspectos específicos relacionados às dificuldades de aprendizado, de construção conceitual ou das concepções alternativas dos licenciandos. Ao contrário, é nosso interesse buscar indagar sobre a possibilidade da existência de razões ou dificuldades mais intrínsecas. Nesse sentido, pretendemos verificar em que medida podem ser identificadas relações entre o aprendizado e o currículo, ou seja, em eventuais dificuldades que decorram da maneira como os conteúdos apresentados aos licenciandos estão selecionados, organizados ou são abordados. Ainda no âmbito do currículo, reconhecendo a importância da Dualidade Onda-Partícula dentre os conceitos presentes na seleção

e organização dos temas da Física Moderna, sempre que necessário, focalizaremos nossas análises de forma especial na construção desse conhecimento.

Assim, diante desse quadro, nosso objetivo é investigar quais elementos podem tornar a formação inicial de professores mais significativa, especialmente no que diz respeito aos conhecimentos de Física Moderna.

Consideramos que uma formação inicial de professores *significativa*, no que se refere ao aprendizado dos conceitos da Física Moderna, seria aquela que habilita ou capacita o profissional para sua prática futura, incluindo sua competência para propor e tratar desses conhecimentos no Ensino Médio.

No entanto, e diante das inúmeras possibilidades para isso, considerando inclusive as diferentes justificativas defendidas pelas pesquisas da Área de Ensino de Física, reconhecemos que essa não é uma questão simples. Como ponto de partida, consideramos como hipótese, que o professor deve possuir uma autonomia relevante nessa inserção e que os conteúdos modernos podem resumir diferentes objetivos formativos, de acordo com o nível de escolaridade e o contexto escolar no qual é ensinado. Em outras palavras, pressupomos que uma formação mais significativa seja aquela que permita a inserção da Física Moderna no Ensino Médio de maneira autônoma pelo professor, por meio da atribuição de finalidades formativas aos conteúdos.

Para desenvolvermos essa idéia, a formação inicial tomada como ponto de partida é a desenvolvida na disciplina Física Moderna I, ministrada no curso de Licenciatura em Física oferecido pelo Instituto de Física da Universidade de São Paulo. De uma forma geral, entendemos que disciplinas dessa natureza são razoavelmente equivalentes nas diversas instituições. E tratar dessa, em particular, não restringe nossa análise, mas possibilita estabelecer uma base real e concreta de questionamentos e necessidades.

Além disso, pretendemos investigar a estruturação dos conteúdos da Física Moderna abordada na disciplina, o que nos remete às dificuldades intrínsecas (relacionadas ao conteúdo) levantadas pela área.

Com a dimensão curricular inserida no trabalho, foi investigada a estruturação dos conhecimentos da Física Moderna presente nos livros didáticos de Ensino Superior e Médio, os quais foram olhados a partir de marcos históricos elaborados através do estudo de textos originais e de pesquisadores de Filosofia e História da Ciência.

Um livro didático possui uma natureza que abarca o conhecimento físico, mas por possuir objetivos pedagógicos, os conteúdos são passíveis de seleções e adaptações. Os textos originais, por outro lado, apresentam em sua maioria, um conhecimento incompleto e passível de reformulações pela comunidade científica. Portanto, as obras selecionadas terão o caráter de apresentar as formulações mais atualizadas do assunto e comprometidas com o desenvolvimento da física em detrimento de adaptações didáticas.

Apesar de versar sobre a formação inicial de professores, essa investigação também é orientada pelo conhecimento esperado dos alunos do Ensino Médio, e por isso é incluída, também, a análise dos materiais destinados a esse nível de escolaridade.

Sob outra perspectiva, a reflexão sobre as propostas e materiais existentes considera as produções da área sobre a transposição didática, a ênfase na abordagem conceitual, assim como as propostas que evitam os conceitos semi-clássicos ou as perspectivas históricas, ou seja, algumas maneiras para selecionar e organizar os conteúdos da Física Moderna no Ensino Médio.

Reconhecendo a existência do processo de transposição na inserção dos conteúdos modernos no Ensino Médio, partimos de suas limitações e buscamos investigar essa questão sob outra perspectiva que não apenas de uma adequação didática. Assim, nos interessa compreender e aprofundar a construção dos saberes escolares sob uma perspectiva cultural, mais ampla, incluindo uma reflexão sobre possíveis pressupostos implícitos nos currículos. A cultura escolar é considerada como produtora criativa de conhecimentos autênticos a partir de dinâmicas específicas de significados e práticas (Forquin, 1992), sendo que os saberes produzidos não se restringem à mera transposição da produção acadêmica.

Inserido nessa dinâmica de produção de saberes encontra-se o professor, como aquele que pode autonomamente selecionar as finalidades formativas (Chervel, 1990) daquilo que ensina, ou seja, dos temas da Física Moderna.

Assim, e compartilhando a perspectiva de uma autonomia docente, tal como discutida por Contreras (2002), e que será aprofundada mais adiante, não se pretende que essa investigação conduza a propostas didáticas organizadas. Não se trata de buscar definir, em nosso trabalho, uma proposta fixa para o ensino da Física Moderna, seja para a formação inicial de professores ou para o Ensino Médio, mas em oferecer elementos que permitam aos professores formadores e

licenciandos um transitar entre os conhecimentos modernos, de maneira que possam vir a estruturar a Física Moderna a ser ensinada de acordo com diferentes finalidades.

No que se refere aos conceitos da Física Moderna, é perceptível que a Dualidade Onda-Partícula constitui um conceito controverso, no sentido de que há pesquisas que defendem o seu tratamento, enquanto outras propõem o contrário. Nesse debate, consideramos que cada lado possui justificativas plausíveis e de diversas naturezas sobre seu posicionamento.

Inserido nessa problemática, e diante da grande extensão dos conteúdos da Física Moderna, sempre que se fizer necessário uma investigação mais aprofundada, o presente trabalho focaliza seu olhar sobre a Dualidade Onda-Partícula, considerando as discussões da área sobre as ênfases, abordagens e usos do conceito.

Optamos por investigar a Dualidade Onda-Partícula tendo presente tanto a sua importância na construção da Física do século XX, como o contexto de seu desenvolvimento em uma disciplina introdutória de Física Moderna, considerando as dificuldades e compreensões dos alunos.

Considerando nossos objetivos e a partir dessas considerações, e para que a reflexão possa desenvolver-se em uma perspectiva da cultura escolar ampla, buscamos subsídios em autores que se debruçaram sobre os processos internos que transformam os conteúdos em saberes escolares.

Assim, consideramos os trabalhos de Forquin e Chervel sobre as relações que se materializam nas disciplinas escolares, as finalidades formativas e as práticas institucionalizadas, e de como esses elementos configuram-se em imperativos didáticos, aspectos determinantes na introdução de novos conteúdos ou na reformulação do processo de ensino-aprendizado.

A dimensão dos saberes escolares e as finalidades formativas surgem como elementos cruciais para a articulação entre a formação de professores e a atuação docente autônoma.

Pretende-se, com este trabalho, contribuir para o desenvolvimento da área, retomando algumas das discussões em curso, através de um estudo acerca da Dualidade Onda-Partícula, das relações entre a Física Moderna e a natureza dos conhecimentos do Ensino Médio, assim como sobre a formação inicial de

professores, em seu caráter geral e em determinadas condições de ensino-aprendizagem.

Portanto, o objetivo é caracterizar elementos que, ao serem inseridos na formação inicial docente, propiciem a construção de um espaço de diálogo e antecipe dimensões de ação autônoma, fornecendo elementos para a melhoria da formação de professores e conseguinte inserção da Física Moderna no Ensino Médio.

Ao início, em *Uma disciplina de Física Moderna na formação inicial de professores*, apresentaremos o contexto da formação atual em temas da Física Moderna de licenciandos do IFUSP.

A Física Moderna através dos livros didáticos de Ensino Superior trará um aprofundamento conceitual sobre os temas da Física Moderna por meio da análise dos livros didáticos usados na formação inicial, assim como uma reconstrução histórica do desenvolvimento desses temas.

No terceiro capítulo: *A análise de inserções da Dualidade Onda-Partícula no Ensino Médio,* a Física Moderna presente na escola básica será abordada através da análise de propostas de ensino.

Em seguida, a partir de uma perspectiva cultural para olhar a escola e o professor, desenvolveremos as idéias de saberes escolares, autonomia docente e finalidades formativas ao longo do capítulo denominado *A seleção de conteúdos e abordagens a partir das finalidades.*

Ao fim, apresentaremos em *A Autonomia Docente e as Finalidades Formativas como elementos de articulação na disciplina de Física Moderna* o desenvolvimento de elementos de articulação para que o professor possa realizar de maneira autônoma a inserção da Física Moderna no Ensino Médio.

CAPÍTULO 1. Uma disciplina de Física Moderna na formação inicial de professores

Iniciamos nossa investigação buscando identificar como a Física Moderna é apresentada na formação dos futuros professores, ou seja, através de um diagnóstico de uma disciplina que aborda esse tema em um curso de Licenciatura. Esse ponto de partida é relevante, pois permite uma base concreta para nossa reflexão. Representa, assim, um possível conjunto de condições reais a serem consideradas na discussão que pretendemos desenvolver sobre a articulação entre a formação docente e a inserção de Física Moderna no Ensino Médio.

A análise apresentada nesse capítulo baseia-se numa formação inicial específica, que é a oferecida pelo Curso de Licenciatura em Física da Universidade de São Paulo. Para ela dirigimos as seguintes questões, referentes ao ensino da Física Moderna : “O que a disciplina ensina?” “Como ensina?” e “Como está o aprendizado de seus alunos?”. Acreditamos que muitos dos resultados possam ter uma abrangência mais geral, embora estejamos analisando um curso específico que contém uma disciplina oferecida por um docente também específico, características representadas na figura a seguir:

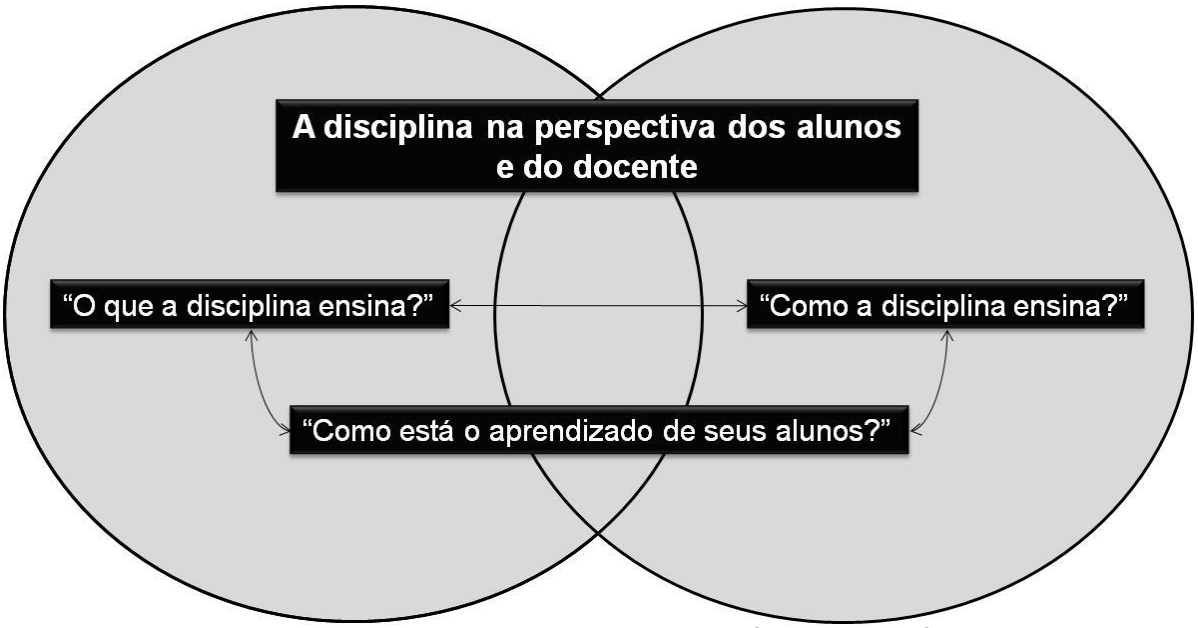


Figura 1.1: Os aspectos analisados da disciplina através da resposta às questões.

As questões levantadas procuram caracterizar alguns elementos em relação a quais são os conteúdos ensinados, que abordagens são conferidas e de que forma está ocorrendo o aprendizado.

A caracterização da disciplina Física Moderna I vem da resposta às três questões presentes na figura acima. Para isso são consideradas duas esferas, que consistem nas perspectivas dos alunos e do docente da disciplina.

As questões nos remetem a dois aspectos necessários para a nossa análise, que são a compreensão do contexto da disciplina e do aprendizado dos conceitos.

O primeiro aspecto, referente ao contexto, procura levantar os temas trabalhados na disciplina e descrever as práticas desenvolvidas segundo a perspectiva dos licenciandos e do docente. Busca, também, explicitar através das expectativas e da avaliação em relação à disciplina, considerações sobre conteúdos, abordagens e possíveis dificuldades. Esses aspectos não incluem a aprendizagem propriamente dita.

Em seguida, para investigar o entendimento dos alunos, restringimo-nos na temática da Dualidade Onda-Partícula e buscamos verificar sua compreensão do ponto de vista clássico e moderno, diagnosticando aspectos de seu ensino-aprendizado.

Por meio dessa investigação, procuramos responder às questões inicialmente propostas e, através da relação entre as respostas, compreender quais são os aspectos do conhecimento ou específicos do contexto da disciplina que merecem maior atenção, considerando a forma pela qual afetam o aprendizado dos licenciandos.

A diversidade dos conteúdos pertencentes à denominada Física Moderna dificulta uma investigação mais aprofundada do aprendizado e das questões referentes ao seu ensino, o que nos obrigou a, em determinados momentos, focalizar o conceito da Dualidade Onda-Partícula. Esse tema foi, escolhido pela característica de síntese que possui e, concomitantemente, pela relevância histórica e filosófica.

Para a caracterização da disciplina, foram utilizadas informações institucionais, elementos fornecidos pelo docente por meio de uma entrevista semi-estruturada e, em relação aos licenciandos, utilizamo-nos de dois questionários.

Assim, o diagnóstico que logo será apresentado traz aspectos institucionais da disciplina e do curso, que se fazem relevantes por influenciarem o aprendizado.

Não apresentaremos uma análise de todos os resultados que obtivemos com os questionários e com a entrevista, mas focalizaremos nossa atenção apenas nos aspectos anteriormente destacados[1].

Um dos questionários abordou conceitos da física clássica, expectativas e demais aspectos relacionados à disciplina, sendo aplicado aos alunos nas primeiras semanas da disciplina. Já o outro trouxe questões sobre os conceitos da Física Moderna e permitiu a avaliação da disciplina, assim como uma auto avaliação pelos alunos recém aprovados, quando estavam no início de uma disciplina subseqüente. Em síntese, um questionário foi aplicado antes dos alunos cursarem a disciplina Física Moderna I e o outro foi aplicado após o término da disciplina.

O primeiro instrumento utilizado foi um questionário destinado àqueles estudantes que já haviam cursado as disciplinas. Este questionário, em anexo, denominado "*Questionário 1: acerca da aprendizagem da dualidade*" foi proposto no 1º semestre de 2007, tendo sido respondido por 36 alunos oriundos da disciplina de Física Moderna I (oferecida no semestre anterior), sendo 15 do período diurno e 21 do noturno. Os alunos responderam ao questionário utilizando 10 minutos finais das aulas de Física Moderna II (períodos diurno e noturno), disciplina subseqüente.

O outro questionário, denominado "*Questionário 2: acerca dos pré-requisitos"* (em anexo), foi respondido nos 10 minutos finais de aula da própria disciplina de Física Moderna I, no segundo semestre de 2007. O grupo é composto de 38 alunos de Física Moderna I do diurno e 49 do noturno.

Os alunos que responderam ao segundo questionário não são os mesmos que responderam ao questionário 1. Entendemos que diante da boa amostragem (número de estudantes) e da proximidade temporal entre as turmas, é válido analisar conjuntamente as respostas como originadas do mesmo contexto de ensino-aprendizagem.

As respostas aos questionários foram analisadas de modo qualitativo, buscando-se padrões e agrupando-se em categorias, que nos explicitaram a diversidade das respostas, e/ou quantitativo, quando além da diversidade buscou-se evidenciar a quantidade de respostas para cada categoria, com o objetivo de compreender uma representatividade.

[1] Para mais detalhes em relação aos resultados do questionário aplicado aos alunos recém aprovados, ver Potenza, Siguematsu, Kawamura e Bechara (2008).

Em relação à entrevista realizada com o docente, despendemos uma análise qualitativa buscando compreender aspectos relacionados à elaboração e avaliação da disciplina, assim como elementos a respeito do ensino-aprendizado dos licenciandos.

As dimensões institucionais, dos alunos e do professor são relacionadas para a caracterização da disciplina em relação às expectativas e avaliação por parte dos alunos, e quanto à relevância e aprendizado dos temas abordados na disciplina.

1.1. O contexto da disciplina: temas, abordagens, expectativas e avaliação

A disciplina Física Moderna I possui carga horária semanal de quatro horas, em sala de aula, e é oferecida pelo Instituto de Física da Universidade de São Paulo ao curso de Licenciatura em Física. A estrutura curricular desse curso está organizada em oito semestres, para o período diurno, e em dez semestres, para o período noturno. Em ambos os períodos, a disciplina é disposta mais ao final do curso[2]. Essa disciplina, juntamente com outra obrigatória subseqüente - Física Moderna II, concentram todos os temas ensinados aos licenciandos na grade de disciplinas obrigatórias. Paralelamente, há também algumas disciplinas optativas que também abordam temas correlatos.

A ementa oficial da disciplina, bem como a bibliografia, estão expostas a seguir:

Bibliografia

1) Física Quântica de Eisberg e Resnick; 2) Modern Physics for scientists and engineers de T. Thornton e Andrew Rex (copyright 2000); 3) Modern Physics de Serway, Moses e Moyer (copyright 2000); 4) Física Moderna de Paul A. Tipler e Ralph A. Liewellyn.

[2] A disciplina passou por duas reestruturações curriculares desde o levantamento abordado no presente capítulo, sendo uma para os alunos que ingressaram em 2006 e outra para os ingressantes de 2011. As principais alterações oriundas dessas reestruturações consistem na incorporação de duas horas semanais para atividades extra-classe relacionadas à docência; e no oferecimento da disciplina que passou a ser semestral, alternando-se os períodos. Entretanto, aspectos importantes considerados nesse diagnóstico não foram alterados como, por exemplo, a quantidade de horas-aula semanais e a ementa da disciplina.

Programa

Evidências químicas e físicas para uma descrição atômica da matéria. Uma descrição atômica da eletricidade. Carga e massa do elétron. Isótopos. A origem da quantização da radiação eletromagnética. A radiação eletromagnética numa cavidade. A hipótese de Planck e a constante h. Radiação do corpo negro. Calor específico dos sólidos (teoria de Einstein). Efeito fotoelétrico. Energia e momento do fóton. Interpretação estatística da intensidade da radiação. Raios X produzidos no freamento de elétrons. Efeito Compton. Difração de raios-X. Dualidade onda eletromagnética-fóton. O modelo atômico de Rutherford e o problema da estabilidade do átomo na física clássica. O modelo de Bohr. Partículas e ondas. A hipótese de de Broglie. A experiência de Davisson e Germer. Discussão da experiência da fenda dupla com fótons e elétrons. Pacotes de ondas. O princípio da incerteza. Interpretação probabilística de Born. Uma equação de onda para as "ondas de elétrons". A equação de Schroedinger dependente do tempo em uma dimensão. Soluções em ondas planas e princípio da superposição. Problemas unidimensionais estacionários: estados ligados e espalhamento. Valores esperados. A equação de Schroedinger em três dimensões. Partícula na caixa cúbica. Degenerescência. A mecânica quântica e o átomo de hidrogênio.

É possível perceber que a ementa da disciplina consiste em uma relação de temas, de conteúdos que devem ser abordados. Além da ementa, cada docente, ao ministrar a disciplina, deve elaborar seu programa.

O programa elaborado pelo docente das turmas acompanhadas, disposto como anexo, apresenta algumas modificações em conteúdos que são desdobramentos/ detalhamentos dos temas presentes na ementa da disciplina. Quanto à bibliografia indicada pelo docente, permanecem os materiais descritos institucionalmente e há inserções de outros livros didáticos e paradidáticos, o que é possível visualizar a seguir:

Referências:

Livros textos:

1. *Física quântica* - Eisberg e Resnick;
2. *Física Moderna* - Paul A. Tipler e Ralph A . Llewellyn;
3. *Notas de aulas* do Prof. Roberto Ribas (IFUSP);
4. *Modern Physics for Scientists and Engineers* - Stephen. T. Thornton e Andrew Rex (T-Rex) (copyright 2000);
5. *Introduction to Atomic Physics* - Enge, Wehr e Richards.

outras referências:

1. Física Moderna – Origens Clássicas e Fundamentos Quânticos – Francisco Caruso e Vitor Oguri;
2. Modern Physics - Serway, Moses e Moyer (copyright 2000);
3. A Matéria - uma aventura do espírito – Luis Carlos de Menezes.

As ênfases conferidas aos temas abordados na disciplina, tanto pela ementa institucional como pela programação docente, direcionaram a investigação à pergunta: “O que a disciplina ensina?”. Diante da quantidade elevada de temas

presentes nos programas, perguntou-se aos alunos quais os temas relevantes aprendidos na disciplina.

> *Enumere o que você aprendeu de mais relevante, em termos de conceitos, fenômenos, idéias, técnicas, etc.* (Questão 5 – Questionário 2)

Através dessa questão, respondida pelos alunos já aprovados na disciplina, objetivamos compreender os temas que ficaram mais evidentes para eles, como produto final de seu aprendizado na disciplina. Como a questão pede que cada aluno relacione os temas mais importantes, foi permitido que cada aluno indicasse mais de um tema. Assim, o gráfico a seguir, que sistematiza as respostas á essa questão, apresenta a quantidade de vezes que cada tema foi citado.

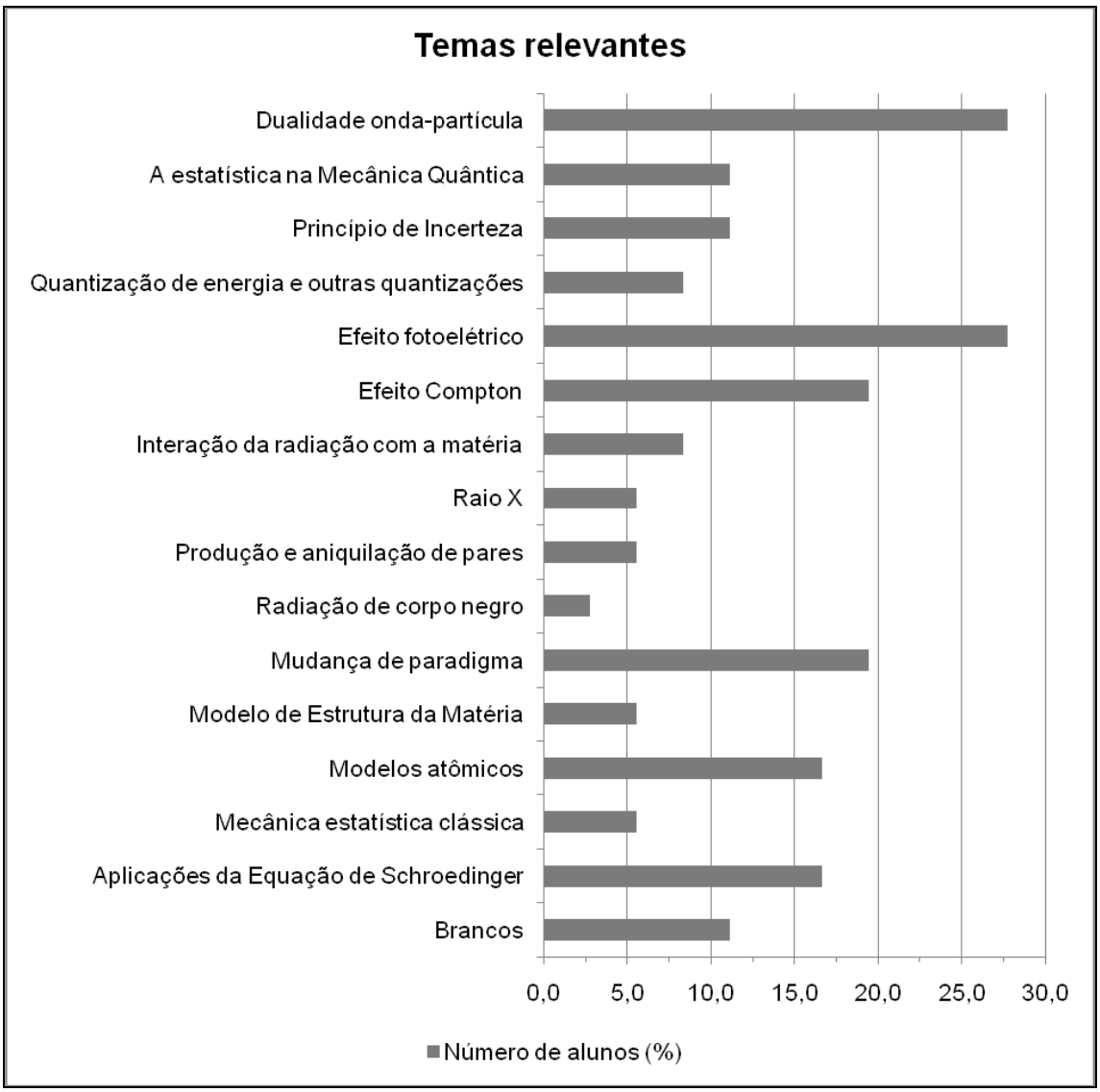


Figura 1.5: Gráfico dos temas da disciplina considerados relevantes pelos alunos.

Dessa forma, a soma de todas as categorias é maior que o número de alunos que respondeu ao questionário. Por outro lado, a totalidade de cada categoria, isoladamente, tem correspondência com as respostas dos 36 alunos, por exemplo, a percentagem relacionada à Dualidade onda-partícula significa que 27,5% (10 alunos) responderam que esse tema é relevante. As respostas são sistematizadas pelo quadro a seguir:

Como a questão pedia conceitos, fenômenos, idéias e técnicas, buscamos apresentar as categorias acima de acordo com esses grupos. Consideramos as quatro primeiras categorias como conceitos, seguidas por seis categorias de fenômenos de interação da radiação com a matéria. Os modelos e a noção de mudança de paradigma foram tomados como idéias e as duas categorias seguintes como técnicas, voltadas ao formalismo matemático da teoria.

Dentre as categorias elencadas, temos um destaque conferido ao Efeito fotoelétrico enquanto fenômeno e da Dualidade Onda-Partícula enquanto conceito. Entretanto, na questão foi solicitado o levantamento dos assuntos considerados relevantes e obtivemos uma vasta gama de conteúdos, cada qual com poucas respostas. Ou seja, além de aparecerem muitos temas, os considerados mais relevantes não superaram 30% das respostas. Tal característica nos revela que não está claro aos alunos o que é relevante na disciplina, ou não existem marcos claros de conceitos que poderiam ser centrais.

Pode-se também verificar, por meio da entrevista realizada com o docente, que existiam de fato temas considerados mais importantes dentre os que integram a disciplina:

> ... que ele (...) tome consciência do que são as bases da Física Clássica. (...). A idéia do que é onda e o que é partícula na Física Clássica. Eu acho que esse curso é a oportunidade para o aluno repensar o que é básico em idéia clássica, para ele poder fazer a transição para a idéia quântica. (...). A idéia, a imagem que se tem da matéria em nível atômico molecular, e obviamente, para explicar a matéria, como ela é e como ela interage, e a radiação eletromagnética, como ela é, como interage. Porque daí vem a idéia central, completamente conflitante com a Física Clássica, de que tudo é, ao mesmo tempo, onda e partícula.

Percebe-se, nesse aspecto, um aparente descompasso entre os temas que o docente considera relevantes para o ensino-aprendizado e os temas que são percebidos como importantes pelos alunos. Os elementos que contribuem para a

compreensão desse descompasso referem-se ao processo de ensino-aprendizado, às abordagens oferecidas pelo docente, às práticas realizadas em sala de aula; elementos que também são fundamentais para o entendimento da questão: “Como a disciplina ensina?”.

No que se refere ao processo de ensino-aprendizado, por meio da entrevista realizada com o docente e das respostas dos alunos aos questionários, pode-se destacar alguns aspectos: a abordagem, a prática em sala de aula, as expectativas e a avaliação dos alunos.

A abordagem conferida à disciplina é relatada pelo docente ao longo da entrevista:

> O entendimento, ele não tem que ser formal, mas ele tem que incluir uma certa quantificação. ...Minhas provas refletem um pouco isso: o aluno tem que quantificar, discernir um aspecto de outro do fenômeno,. Então, você tem um curso que é não muito formal, mas o formalismo dado é cobrado. Porque sem este formalismo, este mínimo, não há compreensão, não há a profundidade no aprendizado. que eu acho que tem que ter.

No excerto acima o docente destaca o tratamento qualitativo e quantitativo dos temas presentes na disciplina – trata-se de uma abordagem qualitativa que não exclui a quantificação, porque existe a necessidade de uma base mínima, formal, para o entendimento dos conceitos. Além disso, o docente aponta também que considera poucos “os cursos finais da física moderna”, ou seja, dentro da grade curricular do curso de licenciatura pouco espaço é destinado às disciplinas que abordam os temas modernos. Como decorrência da pequena quantidade de disciplinas, suas ementas são extensas, constituindo-se em um panorama da Física Moderna. Em outras palavras, existe uma incompatibilidade estrutural da disciplina representada pelo conflito entre a quantidade de temas e a carga horária, o que deve ser considerado no planejamento docente das aulas.

> Eu acho que a ementa é desproporcional em relação ao tempo do curso, (...) Para uma ementa ideal nesse tempo, acho que tiraria átomo de hidrogênio (...) Mas, por outro lado, incluir o átomo de hidrogênio é muito importante, para comparar com o modelo. Isso só seria possível com seis horas por semana; em quatro horas, é muito difícil.

Ao longo do processo de planejamento e execução de um programa de aulas várias adaptações ocorrem. Como relata o docente na entrevista, ao perceber as dificuldades dos alunos na compreensão de determinados conceitos ou em alguns

cálculos, existe a necessidade de modificar o planejamento anterior, destinando mais tempo em aula para auxiliar os alunos na superação de suas dificuldades. Ele se apresenta como um profissional preocupado com o aprendizado dos alunos, que possui clareza do que quer ensinar, da profundidade que pretende conferir ao conteúdo abordado considerando a carga horária da sua disciplina e procurando avaliar continuamente suas aulas.

> Eu não tenho dúvida nenhuma (...), Se a turma não acompanhou, eu volto em algumas coisas. (...). Agora eu adapto conforme a resposta da turma (...).
>
> Sem o diálogo, fico sozinha, e fico interpretando pelas carinhas (...). Então, eu sinto assim, as aulas não tem sido produtivas, ... Às vezes, surgem perguntas, mas tem que enfrentar algumas barreiras, tem que criar esse diálogo, né?
>
> (...)
>
> Então, a monitoria era um jeito deles começarem a trabalhar juntos, em algum tema. O pragmatismo de propor trabalhos extra-classe é porque essas atividades tinham elementos diferentes (...). E ao trabalharem juntos, o aprendizado se torna mais eficiente, porque um discute com o outro e o monitor coordena essas coisas.

Percebe-se, na fala do docente, que a abordagem e prática de sala de aula estão estritamente relacionadas. As provas expressam a relação entre o qualitativo e o quantitativo, assim como os trabalhos extra-classe – que além da abordagem foram pensados com o intuito de originar a discussão e o diálogo entre os alunos.

Além da maneira que os alunos são avaliados e das dinâmicas de trabalho que participam, os materiais utilizados também são elementos do cotidiano de sala de aula que expressam abordagens. Sobre os materiais didáticos utilizados, cabe reportar uma questão respondida pelos alunos:

Quanto aos materiais didáticos utilizados, assinale o que você de fato utilizou nessa disciplina? (Questão 2 – Questionário 1)

- □ *Lista de exercícios. Quantas?* □ *Todas* □*Mais de 50%* □*Menos de 50%*
- □ *Notas de aula. Quantas?* □*Todas* □*Mais de 50%* □*Menos de 50%*
- □ *Sites.Quais?* _____
- □ *Livros. Quais?* _____
- □ *Livros de divulgação científica. Quais?* _____
- □ *Outros materiais* _____

A questão objetiva levantar os tipos de materiais didáticos utilizados, a freqüência de utilização de cada material e dentro de cada tipo, os nomes dos mais

utilizados. A partir das respostas obtidas junto aos alunos, sintetizamos a freqüência de uso ou não uso de cada tipo de material didático na figura a seguir:

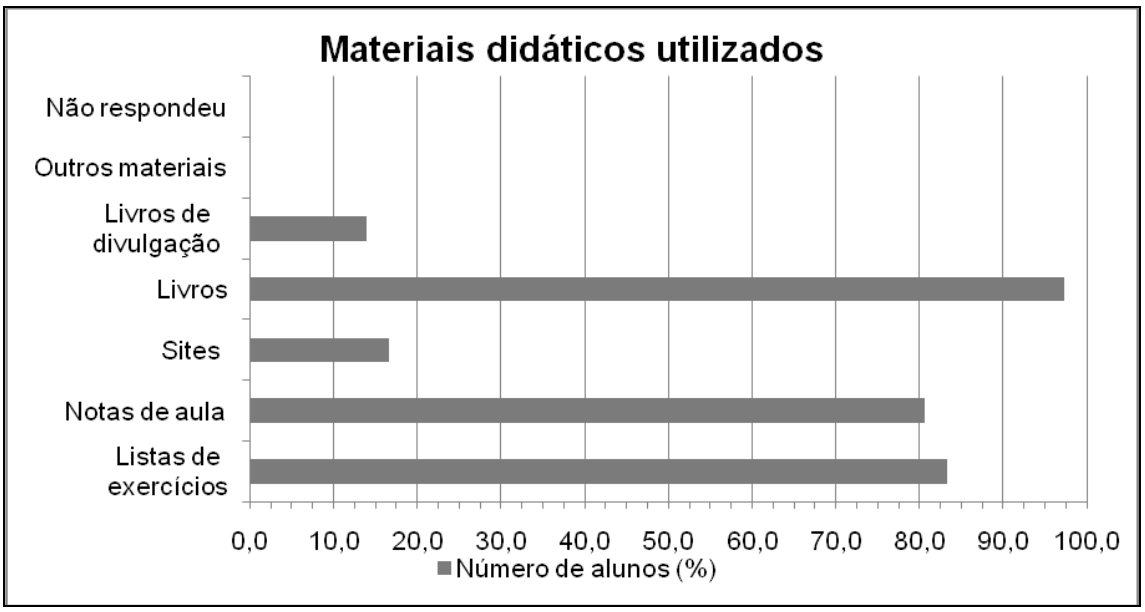


Figura 1.2: Gráfico dos tipos de materiais didáticos utilizados pelos alunos.

Assim como destacamos no gráfico 1.1, dos 36 alunos que responderam ao questionário, muitos fizeram uso de mais de um tipo de material didático, sendo contabilizadas em mais de uma categoria, o que significa que se deve olhar cada tipo de material isoladamente, com seu uso variando de zero à totalidade dos alunos.

Através do gráfico acima, contendo as respostas dos alunos sobre os materiais usados para o estudo da disciplina, percebe-se o destaque conferido aos livros didáticos, seguido pelas listas de exercícios e pelas notas de aula (que no caso podiam ser as notas de aula redigidas e fornecidas pelo professor da disciplina ou as anotações pessoais dos próprios alunos durante as aulas). O relevante uso de livros incentivou à análise destes materiais, apresentada no Capítulo 02, em seguida.

Os livros didáticos citados nas respostas foram majoritariamente dois: *Física Quântica*, de Eisberg e Resnick e *Física Moderna*, de Tipler e Llewellyn (89% e 61% do total de alunos que utilizam livros, respectivamente).

O uso dos livros didáticos e listas de exercícios pela maioria dos alunos converge com as intenções do docente em relação aos materiais didáticos. Além disso, a partir da entrevista pode-se compreender que o uso das notas de aula foi

interpretado como o estudo pelas anotações pessoais que os alunos realizaram das aulas.

> (...) É importante para aprender a partir de um livro, alguma vez na vida, e mais. para ele usar o livro de que gosta. (...) Dificilmente sigo um livro ao pé da letra, porque (...) é a minha visão da física. (...) Quando eu conseguir fazer uma nota de aula melhor, aí eu daria notas de aula (...). Agora, o que eu posso fazer é (...) um livro de atividades, que eu fiz para trabalhar, algumas atividades que funcionem mesmo com turmas maiores (...).

Dessa maneira já temos uma primeira aproximação do processo de ensino-aprendizado na disciplina de Física Moderna I. Debruçamo-nos a partir desse momento na compreensão do olhar dos alunos em relação à disciplina ministrada por meio das expectativas apontadas pelos alunos antes de realizar a disciplina e pelas considerações apontadas depois de seu término. As expectativas foram levantadas a partir das respostas à seguinte questão:

Escreva sucintamente o que espera desta disciplina (expectativas "sentimentais" e de conhecimento) (Questão 3 – Questionário 2)

Já as considerações dos alunos sobre a disciplina cursada foram analisadas a partir das respostas às seguintes questões:

Como você avalia a disciplina que cursou? Quais aspectos introduziria para melhorá-la, do ponto de vista do aprendizado, dos temas abordados, das condições, etc...? Especifique o que considera útil modificar e com qual propósito. (Questão 4 – Questionário 1)

Comentários ou observações que considerar importantes em relação a essa disciplina: (Questão final – Questionário 1)

Acreditamos que com as respostas às questões acima perceberemos, na interpretação do aluno, a sua expectativa em relação à disciplina e a sua opinião após a conclusão.

Quanto às expectativas da disciplina pelos alunos, temos:

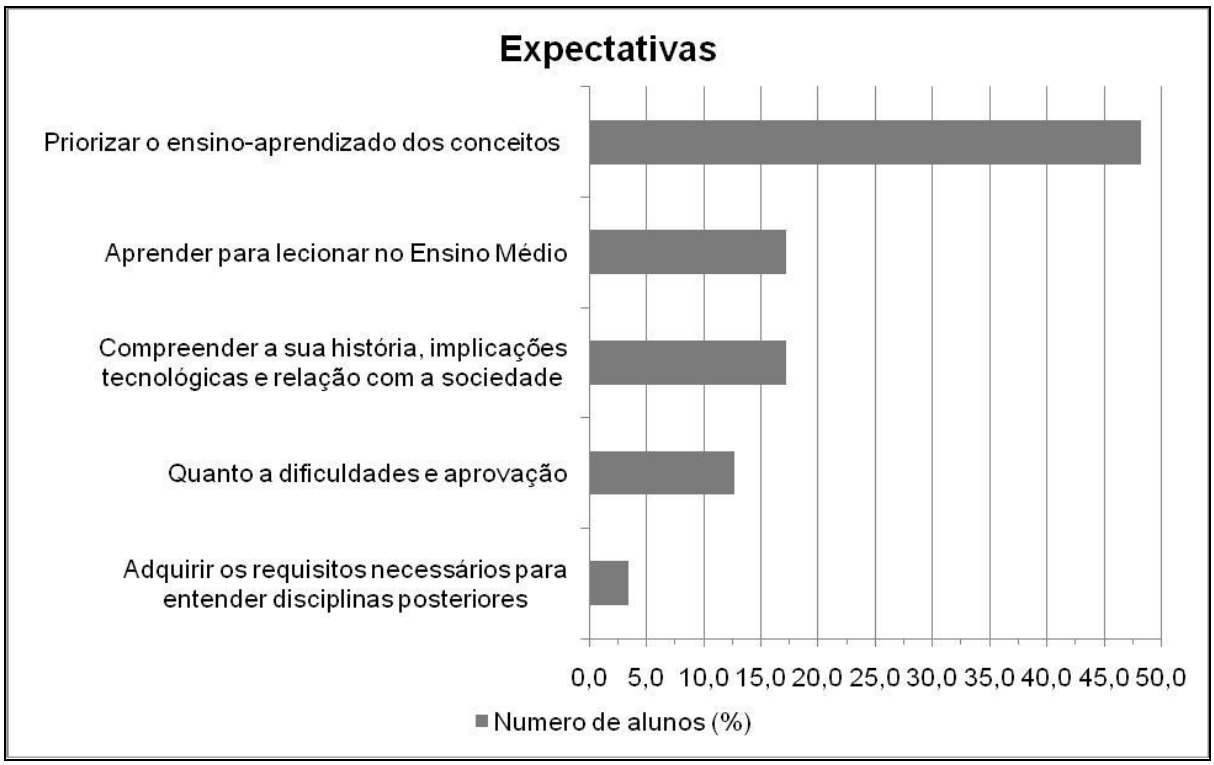


Figura 1.3: Gráfico das expectativas dos alunos em relação à disciplina.

Tratam-se de expectativas de diversas naturezas que foram acima destacadas por ordem de frequência, ou seja, a ordem que conferidos às categorias criadas priorizou as mais citadas nas respostas dos alunos.

As naturezas por nós percebidas foram expectativas subjetivas e de aprovação, outras em relação à abordagens e que a disciplina ofereça condições para objetivos externos.

Quanto ao que denominamos de subjetivas e de aprovação, consistem em categorias que perfazem uma minoria e que focam aspectos subjetivos como a dificuldade, frustração e cansaço ou que considera a disciplina com um fim em si mesma, pretendendo a aprovação ou com o objetivo de obter a licenciatura.

Dentre categorias que destacam expectativas mais relacionadas à abordagem, percebe-se o desejo dos alunos de um ensino voltado aos conceitos, ao desenvolvimento histórico e social, assim como relacionado às tecnologias e cotidiano.

Podemos também perceber que os alunos consideram a disciplina como um meio para galgar outros objetivos, que são o Ensino Médio e a continuação dos estudos. Apesar de se apresentar em diferentes proporções, os alunos desejam uma disciplina que os possibilite ensinar a Física Moderna como professores e que também os permita continuar estudando.

Dentre tais expectativas podemos ver quais de certa forma foram contempladas, através das avaliações realizadas pelos alunos recém-aprovados:

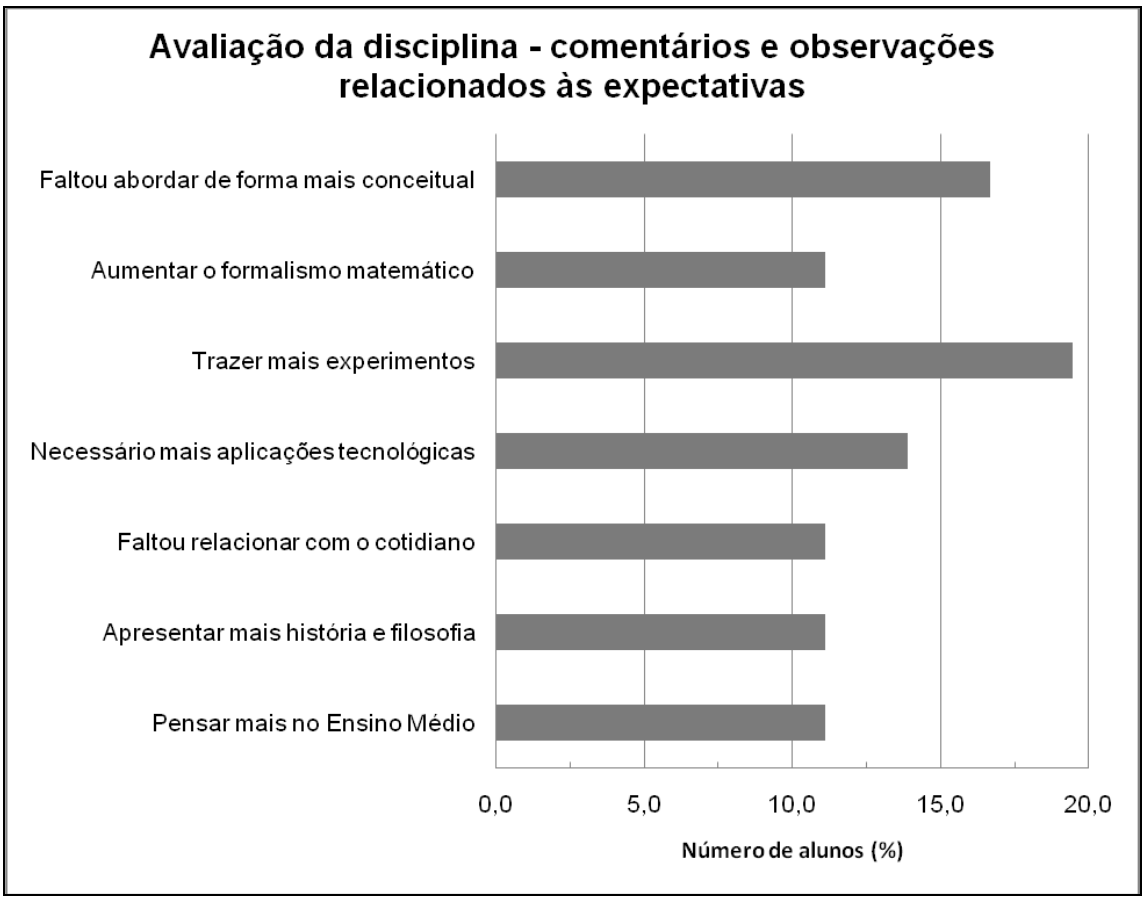


Figura 1.4: Gráfico de comentários avaliativos da disciplina que estão relacionados às expectativas.

Além de considerações que apareceram nas expectativas, os alunos classificaram a disciplina como boa ou ruim (9 alunos contra 7, 25% e 19%, respectivamente) e apontaram também para características da disciplina como o pouco tempo de aula em comparação com a ementa do curso (cerca de 28%).

Em relação aos aspectos que também estavam presentes nas expectativas, percebemos que os alunos sentiram a falta das abordagens que esperavam, assim

como uma disciplina que ofereça condições para que eles ensinem os conteúdos no Ensino Médio.

Portanto, um panorada oferecido pelas expectativas/avaliação dos alunos é uma disciplina de Física Moderna sobre a qual há muitas expectativas que em geral não são alcançadas. Eles desejam o aprendizado de um conhecimento conceitual, contextualizado histórico e socialmente, aplicável e que os possibilite ensinar e, de certa forma, atribuem ao pouco tempo de aula a falta daquilo que esperavam.

Por outro lado, com a comparação da natureza das respostas presentes nas expectativas e na avaliação é possível perceber que existiu uma troca entre os alunos e a disciplina, porque os aspectos que apareceram na avaliação revelam um esclarecimento do que os alunos querem. Em outras palavras, se enquanto expectativa a maioria dos alunos desejou simplesmente aprender os conceitos, ao finalizarem a disciplina souberam especificar quais conceitos, aspectos e abordagens que gostariam de ter aprendido, que faltou e que querem agora aprender.

Com os elementos fornecidos pela entrevista do docente, percebe-se de que forma as expectativas frustradas dos alunos e a pouca clareza em relação aos temas mais relevantes associam-se a dimensões institucional (do curso) e pessoal (do docente), que também estão relacionadas. O pouco tempo destinado aos temas modernos no curso; a separação entre as disciplinas específicas teóricas, as de laboratório e as disciplinas pedagógicas são alguns elementos que permitem uma compreensão mais completa do contexto de ensino-aprendizagem dos licenciandos na disciplina.

1.2. O aprendizado dos temas

O objetivo deste diagnóstico é compreendermos alguns elementos sobre o aprendizado dos alunos, representado pela questão colocada no inicio do capítulo: “Como está o aprendizado dos alunos?”. Com o fim de buscar elementos que nos auxiliem a responder essa questão, debruçamo-nos sobre questões de conteúdo presentes nos dois questionários respondidos pelos alunos.

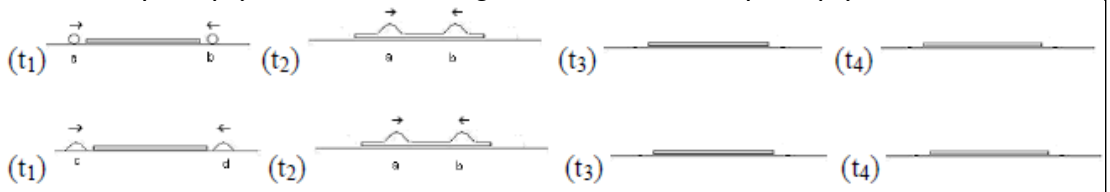
No questionário aplicado aos alunos que estavam iniciando a disciplina, o conteúdo abordado pertence à Física Clássica enquanto o outro, realizado pelos

alunos após o término da disciplina, abordou conteúdos da própria disciplina, ou seja, da Física Moderna.

Diante dos inúmeros temas presentes tanto na Física Clássica como na Moderna, focalizamos nossa análise sobre a Dualidade Onda-Partícula. Selecionamos a questão de conteúdo que abordou as características de onda e de partícula na Física Clássica, presente no questionário aplicado aos alunos que iniciavam a disciplina e, em relação aos alunos aprovados, selecionamos uma questão específica sobre a Dualidade.

Com as respostas à questão 8 objetivamos compreender o entendimento do aluno ingressante da disciplina em relação ao que pode ser tomado como partícula e a natureza das ondas.

Duas esferas de mesmo tamanho vão em direção a um tapete com velocidades iguais em direções opostas (t1) e, em seguida, entram embaixo do tapete(t2). Ao mesmo tempo outro tapete está sobre uma corda e no instante t1 são provocados dois pulsos de onda nesta corda de velocidades iguais e contrárias e com a mesma fase, estes pulsos continuam se propagando sob o tapete (t2). Desenhe o que ocorre com as esferas e com as ondas quando se encontram no centro do tapete (t3) e em instante seguinte ainda sob o tapete (t4).



Como você pode diferenciar as esferas das ondas? (Questão 8 – Questionário 2)

Quanto à questão 6 do outro questionário, respondida por alunos aprovados, destacando-se a Dualidade Onda-Partícula, pediu-se que eles a explicassem, de forma a podermos perceber suas formulações.

Se você tivesse que explicar, aos alunos ingressantes no curso, em poucas linhas, o que a Física entende por dualidade onda-partícula, o que diria? (Questão 6 – Questionário 1)

O objetivo da questão 8, aplicada aos alunos que iniciam a disciplina, a identificação das diferenças entre os movimentos de esferas (partículas) e pulsos (ondas), principalmente no instante de interação sob o tapete. Tal diferenciação

ocorre através do desenho das esferas e pulsos assim como por meio da resposta à pergunta final.

O esperado era que no instante da interação entre duas esferas os alunos as desenhassem lado a lado sob o centro do tapete, representando uma colisão elástica entre elas, e que no instante posterior as esferas fossem desenhadas regressando. Quanto aos pulsos, esperávamos uma superposição no instante da interação, de modo que o desenho fosse apenas um pulso sob o centro do tapete, mas com o dobro de sua amplitude, e no instante seguinte os pulsos deveriam continuar o seu caminho.

As justificativas físicas para representar o comportamento acima descrito consiste na conservação de energia e momento linear durante a colisão das esferas e, no caso dos pulsos, a superposição no instante da interação.

A aceitação da questão foi melhor nas representações do que na escrita das respectivas razões físicas. Dentre aqueles que representaram o instante de interação entre as esferas, a maioria representou a colisão entre elas, em contraposição a um menor número de alunos que realizou uma sobreposição entre elas.

Interação entre as esferas (partícula)	**%**	**Interação entre os pulsos** (onda)	**%**
Colisão	64,4	Sobreposição	60,9
Sobreposição	11,5	Interferência destrutiva	3,5
Não representou o encontro	5,7	Não representou o encontro	12,6
Não respondeu	18,4	Não respondeu	23

Figura 1.6: Tabela com o entendimento dos alunos sobre a interação entre esferas e entre pulsos.

Para os pulsos, percebemos que é maior o número daqueles que não realizaram o desenho. Para os que representaram o momento de interação, a maioria superpôs os pulsos, sendo que uma minoria realizou uma interferência destrutiva ou manteve o desenho do pulso, mas sem dobrar sua amplitude.

Como relatado anteriormente, menor foi o número de alunos que escreveram as razões físicas de seus desenhos. Dentre as respostas, obtivemos algumas categorias. Duas se referem a relatos do que acontecera sob o tapete, explicando o movimento das esferas por causa da colisão que se dá entre elas e, em relação aos pulsos, sua propagação independente justifica os desenhos. Além dos relatos, grande foi o número de alunos que se utilizou do princípio de superposição para

explicar suas representações, enquanto que para as esferas foram utilizadas as conservações de momento linear e energia, mas em menor número de respostas.

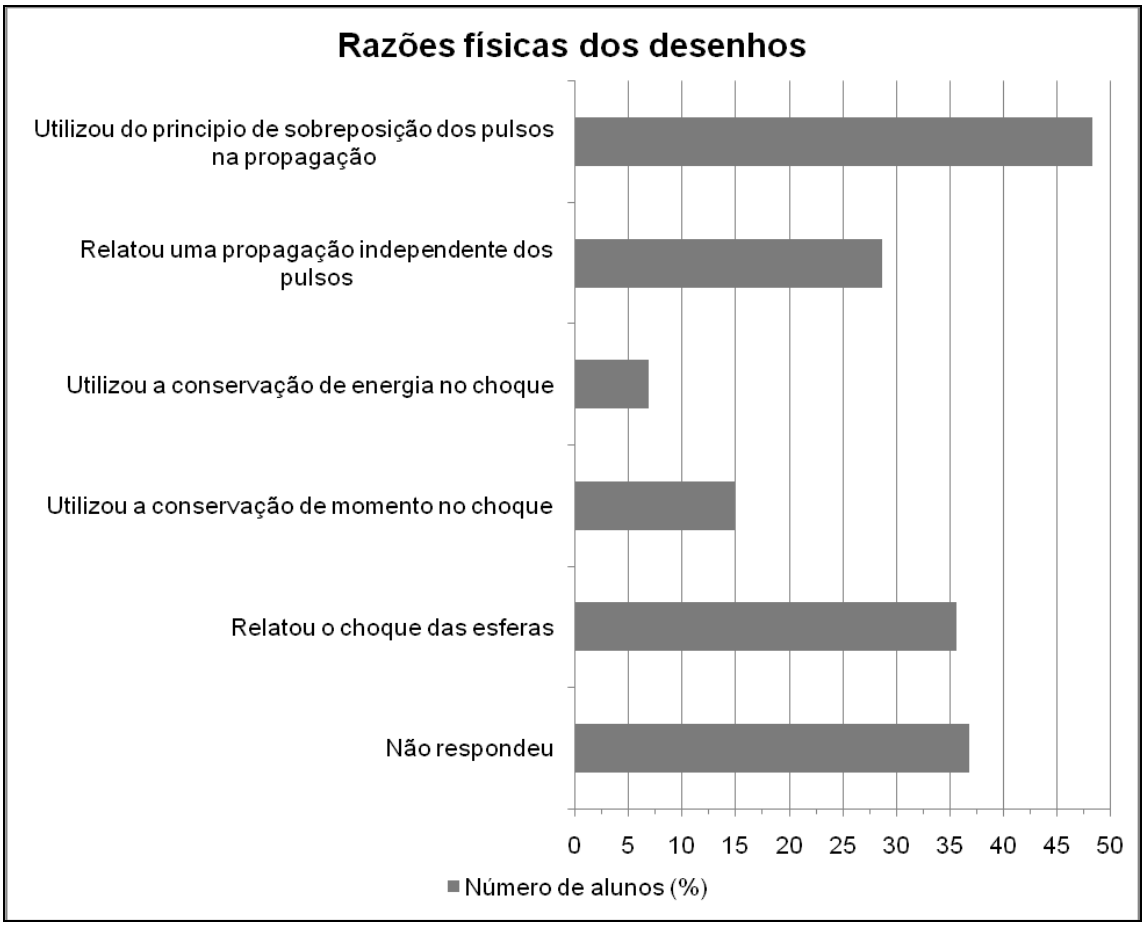


Figura 1.7: Gráfico com as justificativas físicas para os desenhos realizados.

A questão 6 pede a formulação da Dualidade Onda-Partícula aos alunos, que eles a definissem de forma que fosse compreensível por um público sem formação na área.

Na leitura das respostas percebemos dois aspectos diferentes em relação à Dualidade, um seria a sua definição e o outro quais entes da natureza são dela possuidores. Dessa forma analisamos e catagorizamos as respostas separando tais aspectos.

No que se refere aos entes caracterizados pela Dualidade, as respostas forneceram o seguinte gráfico:

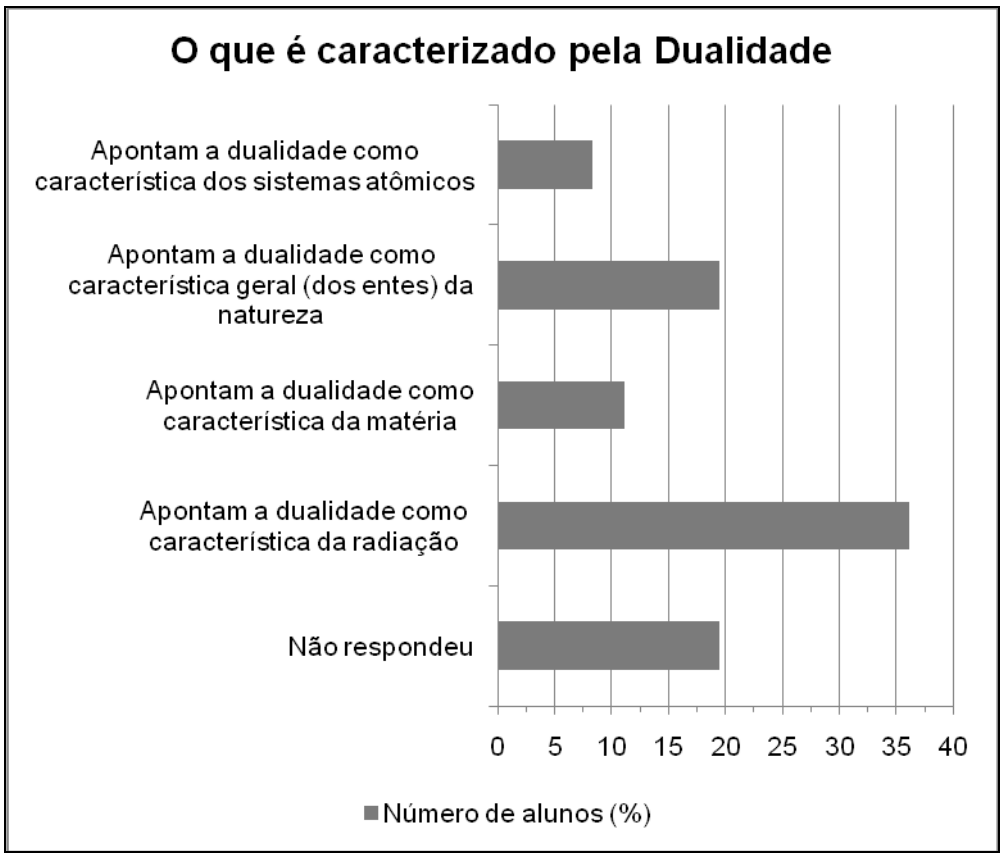


Figura 1.8: Gráfico que levanta os entes que possuem o caráter dual.

Vemos que a maioria dos alunos atribuem a Dualidade à luz, considerá-la como uma característica de todos os entes (radiação e matéria) é a segunda categoria pela quantidade de respostas, sendo que ainda há os que a atribuem apenas à matéria ou restringem aos sistemas atômicos.

Quanto à conceituação da Dualidade, duas formulações dos alunos se sobressaíram, sendo que a mais representativa foi a explicação de que ela consiste no comportamento de ora se apresentar como onda e ora como partícula, sendo que a principal justificativa atrelada a tal explicação é que o caráter observado depende da situação experimental - a segunda categoria com maior número de respostas.

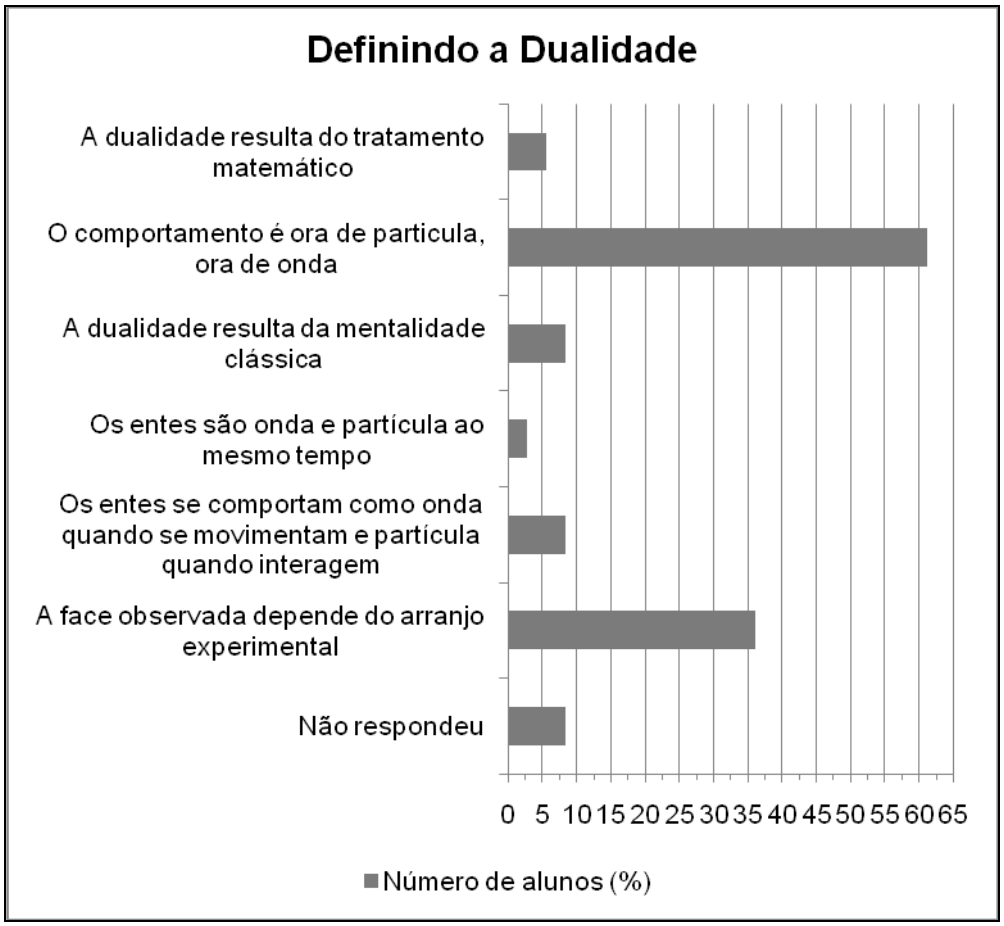


Figura 1.9: Gráfico que levanta formulações da Dualidade Onda-Partícula.

Quanto à diversidade, percebemos respostas que não atribuem realidade ao conceito, considerando-o como um resultado matemático ou do pensamento clássico. Em contrapartida há respostas que atribuem a realidade à partícula e também à onda, considerando os entes como sendo os dois concomitantemente ou que um se faz mais presente no movimento enquanto o outro aparece na interação.

Numa comparação entre os dois aspectos, percebe-se pelo número de respostas em branco que há alunos que conceituam a dualidade sem atribuí-la a ninguém, ou seja, ela é um comportamento, uma característica de objetos que não são explicitados.

Obtivemos ao longo desse item um diagnóstico composto por dois elementos principais. O primeiro refere-se à apropriação da física clássica e, o segundo, trata da conceituação da Dualidade.

Foi possível associar esses dois elementos às falas do docente, revelando possíveis causas e sensações que oferecem um contexto maior ao diagnóstico.

> Uma é que ele feche um pouquinho no sentido de, não fechar, mas tome consciência do que são as bases da Física Clássica. (...). A idéia de que onda, o que que é onda e o que é partícula na Física Clássica. Eu acho que esse curso é a oportunidade para o cara repensar o que é básico em idéia clássica, para ele fazer a transição para a idéia quântica. (...)
>
> Agora, há uma dificuldade na conta, mas há uma dificuldade lá na compreensão dos conceitos clássicos, que esta atrapalhando no entendimento dos conceitos... quânticos.
>
> (...) essa parte da estatística clássica quando ela é apresentada inicialmente (...) tem uma dificuldade que eu não entendo. (...). Por outro lado a parte seguinte, que eu acho normalmente a mais fácil..., as idéias fotônicas são mais fáceis que a matemática talvez... O que fica difícil às vezes para os alunos é... quando faz a pergunta que tem que diferenciar o que é que tem quântica e que não tem quântica na radiação, (...) se sabe pouco sobre ondas eletromagnéticas.

Assim, o docente relata a dificuldade dos alunos em realizar a transição entre "as físicas" atribuindo-a como decorrência do entendimento dos licenciandos em relação à física clássica. Por fim, podemos perceber que o docente relaciona a Dualidade ao comportamento da luz e da matéria, assim como objetiva na sua disciplina definir tais entes, ou seja, o que é a matéria e a luz segundo a física quântica.

1.3. Síntese

Acreditamos que nesse momento possamos nos aventurar na resposta às questões inicialmente propostas:

O que a disciplina ensina?

Como a disciplina ensina?

Como está o aprendizado de seus alunos?

Dessa forma retomaremos alguns dos elementos desenvolvidos ao longo do capítulo.

Em relação ao aprendizado dos alunos, podemos destacar a formulação conferida pelos alunos à Dualidade Onda-Partícula e as dificuldades com a Física Clássica. Surpreendeu-nos a maior associação da dualidade com o comportamento da luz do que com todos os entes em geral (luz e matéria). Para compreendermos

tal associação supomos ou que o entendimento do comportamento dual da luz é mais fácil do que o da matéria ou porque o dual da luz é desenvolvido no início do curso, através de vários fenômenos.

Acreditamos nessa facilidade do entendimento dual da luz ao da matéria por possíveis dificuldades dos alunos com a física ondulatória, sendo mais fácil compreender a onda (luz) como partícula, do que partícula (matéria) como onda, além do agravante de que a onda da partícula consiste na densidade de probabilidade da detecção pontual, e não algo real como parece a onda de luz.

A grande maioria das respostas formulou a Dualidade Onda-Partícula como um comportamento, de ora se comportar como onda, ora como partícula, apesar de que nem todas as respostas que trouxeram tal formulação explicaram quais os objetos que se comportam dessa forma e em que contexto percebemos um aspecto ou o outro.

Dentre as respostas que especificaram as condições para se obter cada um dos comportamentos, obtivemos em geral o princípio de complementaridade de Bohr, segundo uma "versão fraca" [3] e, de certa forma as respostas que atribuíram a dualidade ao tratamento matemático ou à mentalidade clássica podem ser resultantes de entendimentos originados também na complementaridade, posto que Bohr não atribuía realidade aos caráter onda e partícula[4].

Assim a idéia da não concomitância é muito difundida dentre os alunos, apesar de algumas respostas atribuírem realidade tanto às partículas quanto às ondas, como de Broglie.

Portanto não há uma única concepção de Dualidade Onda-Partícula aprendida pelos alunos, mas vemos uma tendência a restringí-la como um comportamento que é influenciado pelo arranjo experimental.

Para a compreensão do que é ensinado na disciplina e de que forma ocorre o ensino-aprendizado analisamos o contexto da disciplina. Dos elementos levantados foi possível perceber alguns aspectos que merecem atenção: o saber de referência da disciplina, as abordagens conferidas e o olhar sobre o Ensino Médio.

[3] Denominação usada por Pessoa Jr. (2006, p.03): *Para qualquer objeto microscópico, pode-se realizar um experimento tipicamente ondulatório (como um de interferência), mas a detecção sempre se dá através de uma troca de um pacote mínimo de energia.*

[4] Os aspectos históricos e filosóficos são abordados no capítulo 2.

Em relação ao saber de referência, quando os alunos apontaram os temas considerados mais relevantes da disciplina, deparamo-nos com grandes listas – um extenso apanhado de tudo que fora ensinado.

De certa forma, as listas escritas pelos alunos aproximam-se da ementa da disciplina. Em outras palavras, os alunos demonstraram não saber o que é realmente relevante dentre os temas tratados na disciplina, ou seja, possíveis temas mais gerais ou importantes não transpareceram aos alunos.

Dificuldades no reconhecimento de temáticas relevantes, na reconsideração da Física Clássica e na formulação da Dualidade Onda-Partícula apresentam-se como as principais influências no processo de ensino-aprendizado da disciplina.

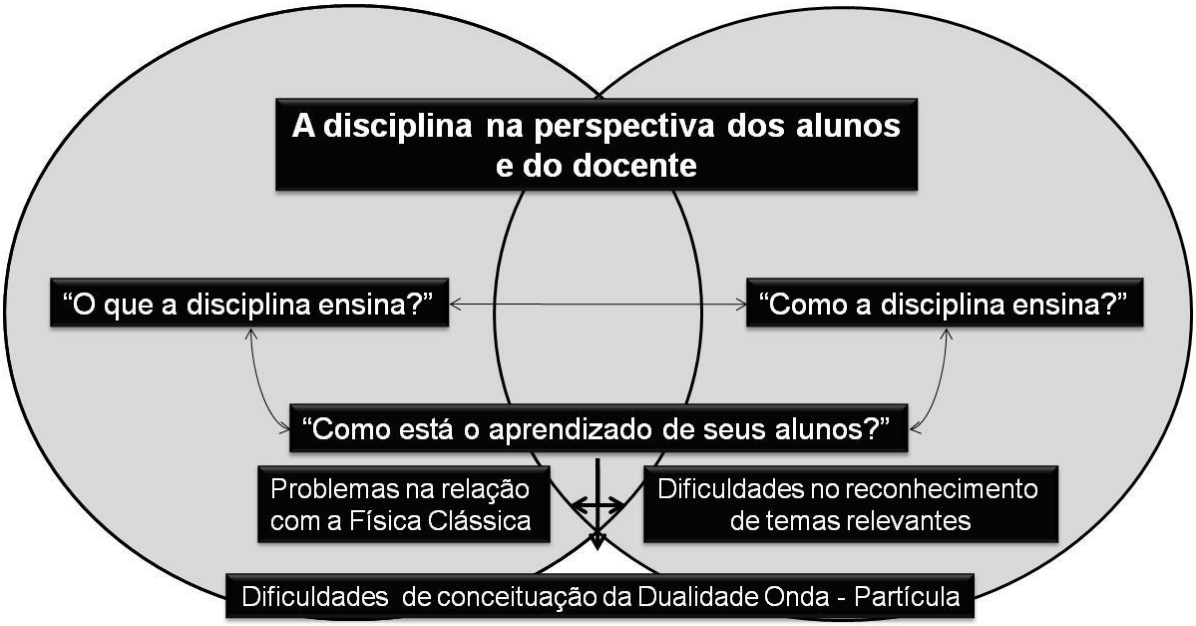


Figura 1.10: Fatores importantes destacados a partir do diagnostico da disciplina.

Um desdobramento desse diagnóstico se refere à formação de professores. O entendimento conceitual, a relevância dos temas e a clareza das relações entre a Física Clássica e a Moderna são fatores importantes para a atuação docente em sala de aula.

Retomemos que, diferentemente da Física Clássica, os conceitos modernos não estão amplamente inseridos no Ensino Médio, o que leva ao professor a necessidade de pensar sobre o que deve/pode ser levado a esse nível de ensino. Se o professor pensa que os temas aprendidos são de mesma importância e, além disso, não consegue relacionar a Física Moderna com os temas anteriores e a própria compreensão não é clara, a abordagem na escola básica fica comprometida.

A análise realizada ao longo deste capítulo corrobora nossas hipóteses de que a disciplina, inserida na estrutura da licenciatura, não está preparando satisfatoriamente seus alunos para a futura atuação profissional. Ela fica aquém das expectativas dos alunos, faltam abordagens e temas de maior interesse, a necessidade dos alunos de aprender para ensinar do Ensino Médio não é discutida, e o próprio aprendizado dos conteúdos nos parece comprometido pela falta de relevâncias, de conceituações e de relações com a Física Clássica.

Usando outra perspectiva, percebe-se que todas as dificuldades destacadas se referem a dificuldades conceituais em relação à Física Moderna, seja na formulação dos temas ou na relação que eles possuem entre si e com os conteúdos clássicos - consistem em questões relacionadas à estruturação desse conhecimento físico.

Assim, os conteúdos e abordagens da Física Moderna no Ensino Superior merecem ser investigados com o fim de levantar elementos que contribuam para a superação das dificuldades de aprendizado dos temas modernos.

CAPÍTULO 2. A Física Moderna através dos livros didáticos de Ensino Superior

No capítulo anterior realizamos um diagnóstico de uma disciplina que desenvolve os conceitos da Física Moderna na formação inicial. Por meio dele obtivemos uma aproximação do que está sendo ensinado na disciplina, suas abordagens e o aprendizado de seus alunos.

Percebemos que há dificuldades associadas à estruturação do conhecimento da Físico Moderna, o que supera as especificidades da disciplina de Física Moderna I do IFUSP. Dessa maneira, podemos destinar nossa questão atual: “De que forma os conteúdos são estruturados e abordados?” ao âmbito do conhecimento presente no ensino superior, como está representado na figura a seguir:

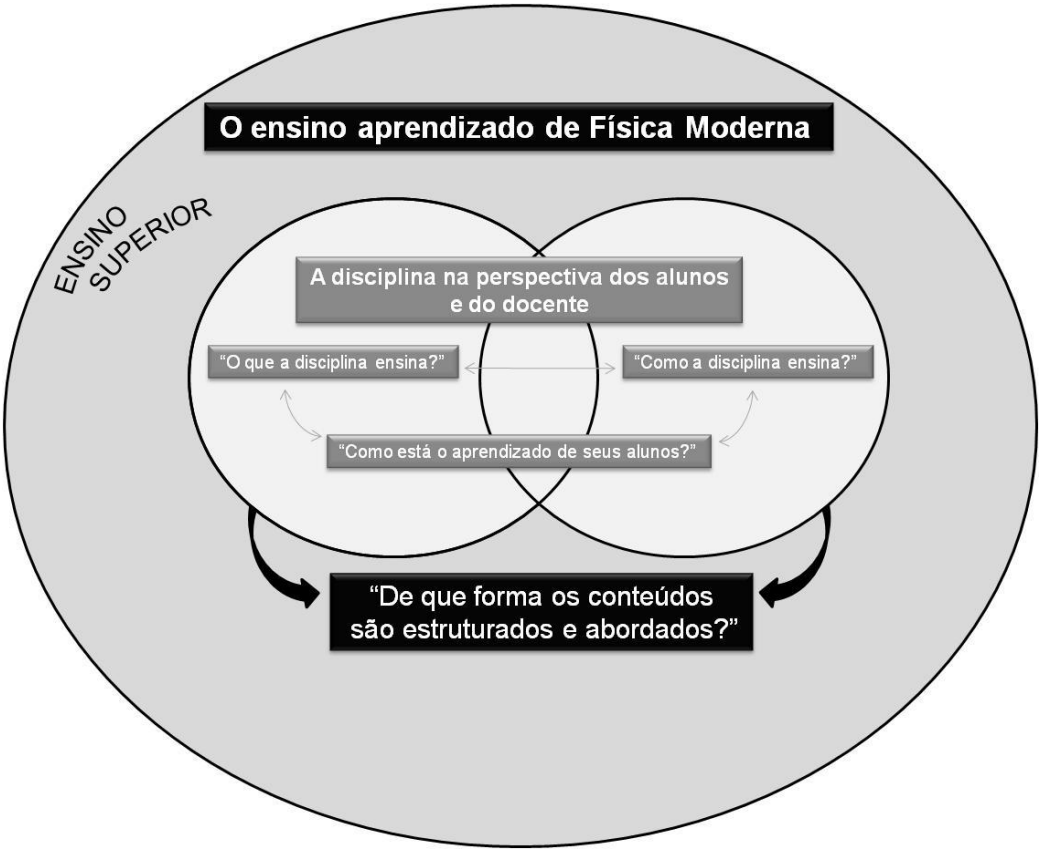


Figura 2.1: Articulação entre o diagnóstico da disciplina e a análise dos livros didáticos de ensino superior.

Portanto, nesse capítulo, **buscamos um aprofundamento na natureza do conhecimento moderno e em suas abordagens.**

Considerando que as dificuldades são originadas na estruturação da Física Moderna abordada no ensino superior, a análise debruçou-se sobre os livros didáticos utilizados nesse nível de ensino por representarem os conteúdos de referência.

Durante um primeiro olhar sobre os livros percebeu-se a necessidade da elaboração de um saber de referência para analisá-los. Assim demandou-se um estudo histórico sobre os conteúdos abordados, e construiu-se marcos para orientar a análise dos livros didáticos.

O marcos elaborado compõe a primeira parte do presente capítulo. Eles consistem em episódios que não têm a intenção de contar a historia da Física Moderna nem relacionar seus conceitos. Os marcos foram elaborados a partir de alguns dos temas presentes nos livros didáticos de Ensino Superior porque seu objetivo é auxiliar a compreensão dos próprios livros.

Por meio dos marcos históricos situamos a formulação de um conceito no espaço e no tempo, mas não focaremos de que maneira os conceitos foram compreendidos pela comunidade científica ou por outros cientistas, nem as reelaborações que possam ter sofrido, ou relações com demais conceitos.

Esse cuidado em relação à elaboração dos marcos deve-se a questões associadas ao olhar histórico, que abordaremos posteriormente em detalhes. Como uma primeira aproximação dessas questões, não se pode considerar como idênticos os relatos históricos que tenham objetivos diferentes. O relato histórico é aquele que tem por fim contar a história; quando o relato tem como objetivo auxiliar o aprendizado ou é utilizado para se analisar materiais didáticos, trata-se de uma narrativa quase histórica (Whitaker, 1979).

A segunda e a terceira parte do capítulo utilizam-se dos marcos históricos para analisar a estruturação dos temas modernos e, como desdobramento compreender de que forma a estruturação do conhecimento físico moderno relaciona-se às dificuldades apontadas no primeiro capítulo. A seleção e organização dos conteúdos presentes nos livros didáticos de ensino superior são tratadas na segunda parte do capítulo, enquanto a terceira detalha a abordagem conferida à Dualidade Onda-Partícula.

Dessa maneira, os temas que orientaram a elaboração dos marcos históricos de referencia, assim como os que são analisados posteriormente nos livros

didáticos são aqueles que possuem alguma relação com a Dualidade Onda-Partícula.

2.1 Marcos históricos de referência

Para aprofundar o entendimento sobre os temas presentes nos livros didáticos, assim como a seqüência dos temas e suas as formulações; mostrou-se necessário um estudo histórico para referenciar a análise.

Entendemos as limitações de um estudo desse tipo e acrescentamos que a elaboração dos marcos foi baseada na leitura de textos originais e em estudos de historiadores e filósofos da ciência. Os marcos possuem o objetivo claro de auxiliar na compreensão da estruturação do conhecimento físico por meio da análise dos livros didáticos nela utilizados e, em especial, olhar sobre a Dualidade Onda-Partícula.

Dessa maneira, os marcos construídos foram sobre temas que possuem alguma relação conceitual com a Dualidade Onda-Partícula (que não é necessariamente histórica). Os temas selecionados foram:

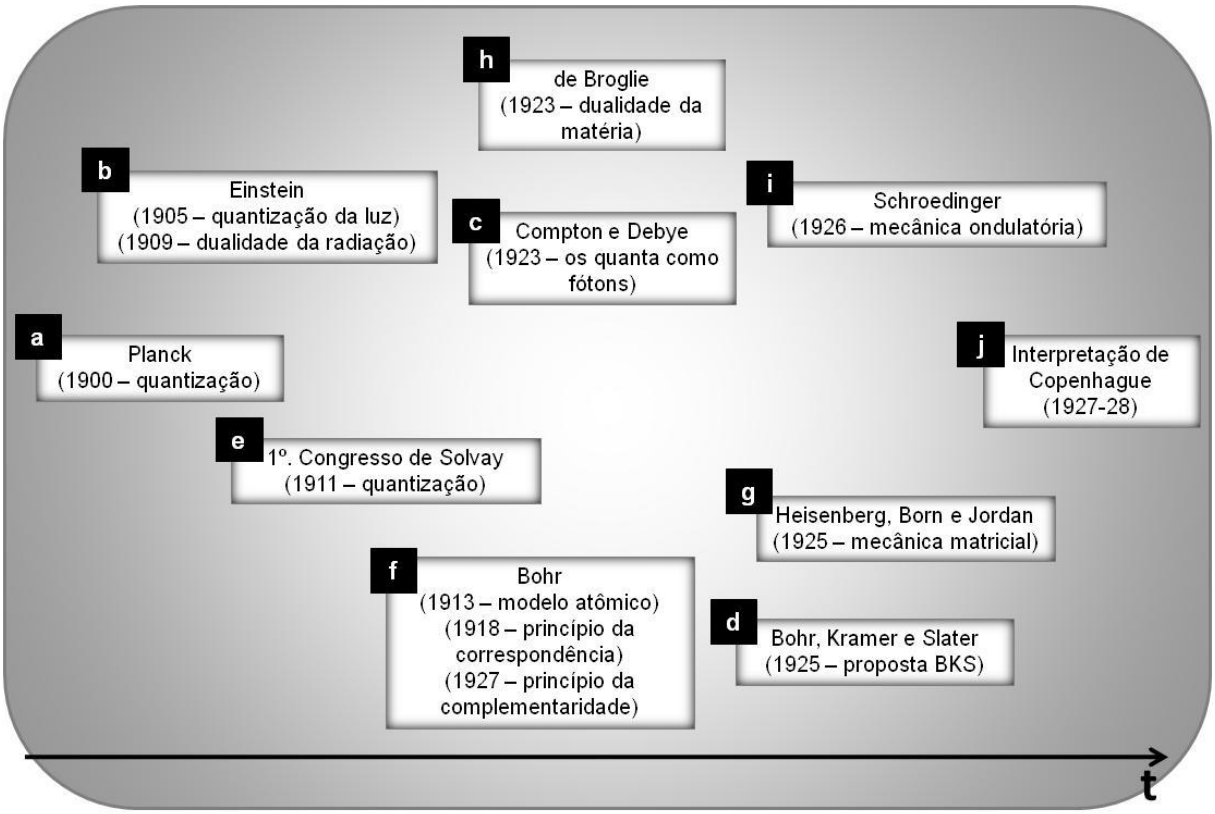


Figura 2.2: Marcos históricos selecionados.

É possível perceber pela figura acima que os marcos não são apresentados segundo a cronologia, assim como são destacados isoladamente, sem relação uns com os outros. A construção de cada marco contou com um aprofundamento histórico, mas os marcos foram selecionados a partir dos livros didáticos e sob a perspectiva da Dualidade, que também guia a abordagem dos marcos por meio de três eixos temáticos: primeiras discussões sobre a natureza da radiação e da matéria (marcos a, b, c, d), estrutura da matéria (marcos e, f) e dinâmicas para as partículas com massa (marcos g, h, i, j); sendo que ao início de cada eixo se dá uma breve apresentação.

Primeiras discussões sobre a natureza da radiação e da matéria

A fim de se entender o espectro de radiações de um corpo negro, muitos cientistas da comunidade aceitaram a possibilidade da interação entre a radiação e a matéria (seus osciladores) possuir grandezas físicas quantizadas, porém demoraram a aceitar a possibilidade da própria radiação ser quantizada.

Com os seus estudos obteve-se o desenvolvimento dos modelos atômicos e a forma como um átomo (especialmente os elétrons) interage com a radiação, uma dinâmica.

Enquanto alguns cientistas consideraram a interação entre a radiação e a matéria como quantizada, outros acreditaram na quantização da radiação em si, e diante do lado corpúsculo da onda eletromagnética se guiaram por uma necessidade de simetria e conceberam a matéria (como os elétrons) com propriedades semelhantes a da radiação – o caráter dual. Desse modo foi elaborada uma dinâmica para o movimento do elétron.

E foram criadas duas dinâmicas para o mesmo ente físico. Elas surgiram na mesma época e têm como resultado exatamente o mesmo elétron, porém descrito de maneiras diferentes. O problema consistiu no que significava o elétron para cada dinâmica, relacionado à Dualidade Onda-Partícula.

▪▪▪

A.

A maioria dos físicos e filósofos da ciência moderna reconhecem ou consideram que a Física Moderna foi iniciada pelos trabalhos de Planck sobre o problema da Radiação de Corpo Negro.

Ao final do século XIX, a teoria clássica não conseguira explicar satisfatoriamente o espectro da radiação emitida por um corpo negro, aquele que ao equilíbrio térmico emite integralmente a radiação que absorve.

Em 1900, Planck quantizou a energia da interação entre as ondas eletromagnéticas (radiação) e o corpo negro como um artefato apenas matemático, considerou a quantização relacionada aos modos normais de vibração dos osciladores lineares presentes na matéria.

Porém, historicamente o processo não fora tão simples assim. Alguns autores apontam que a quantização não estava presente em seu trabalho de 1900, surgindo posteriormente e, inclusive, colocando que a única discretização aparece ao computar a probabilidade de uma distribuição de energia (Cf. Studart, 2000, p.10).

É certo que Planck fora o primeiro a conceber o problema do corpo negro a partir dos ressoadores da matéria. Ele imaginou que seria possível chegar à distribuição do espectro de corpo negro estudando essa situação de equilíbrio (entre radiação e matéria), utilizando as equações do eletromagnetismo que descrevem a emissão de ondas por um dipolo elétrico oscilante, e a absorção de energia por um dipolo, e relacionando-as com equações da termodinâmica (Cf. Jammer, 1966, p.10-12, *apud* Rosa, 2001, p. 09). Mas a quantização de energia que ele realizara fora conceitualmente mais sutil.

Ele já tinha feito uma primeira publicação da sua equação de distribuição do espectro do corpo negro em outubro de 1900, no qual não fizera justificativa teórica, mas apenas a confrontação com os dados. Em dezembro de 1900, publica um artigo no qual justifica sua equação e, para fazer isso, ele empregou uma análise probabilística dos ressoadores, utilizando a estatística de Boltzmann (Cf. Kuhn, 1978, p. 97-109, *apud* Rosa, 2001, p.13).

> Para aplicar a fórmula de Boltzmann (...) Planck precisou estudar a probabilidade de uma distribuição da energia E entre n ressoadores iguais. Porém, se a energia for considerada como contínua, haverá infinitos modos de distribuí-la entre os ressoadores, e seria impossível calcular uma probabilidade infinita. Para poder calcular a probabilidade das distribuições, Planck supôs que a energia E estava dividida em elementos de energia com certo valor ε. (Rosa, 2001, p.14)

Planck, ao fazer esse artigo, se baseou num trabalho de Boltzmann no qual ele calcula as possibilidades de distribuir a energia entre moléculas, quantizando-a em várias unidades de ε. Boltzmann faz essa consideração de início, mas depois faz

ε tender a zero (Cf. Mehra & Rochenberg,1982, p. 48, *apud* Rosa, 2001, p.15). Planck, por sua vez, teve de considerar seus elementos de energia ε proporcionais à freqüência vezes uma constante, que chamou de *h*; sua intenção era fazer *h* tender a zero, o que não conseguira fazer, a custo de alterar sua equação de distribuição.

Mesmo assim, ele não aceitara a quantização que fizera e algum tempo se passou até que ele fosse concebê-la de alguma forma. Como ele mesmo declara numa carta a Lorentz, em 1908:

> [A excitação dos ressonadores] não corresponde à conhecida lei do pêndulo simples; pelo contrário, existe um certo limiar; o ressonador não responde a todas excitações muito pequenas; e se responde às maiores, o faz somente de modo que sua energia seja um múltiplo inteiro do elemento de energia h, tal que o valor instantâneo da energia é sempre representado por tal múltiplo inteiro.
>
> Em suma, eu poderia dizer que faço duas hipóteses:
>
> - A energia do ressonador em um dado instante é gh (g um número inteiro ou 0);
>
> - A energia emitida e absorvida por um ressonador durante um intervalo de tempo contendo bilhões de oscilações (e portanto também a energia média de um oscilador) é a mesma que a equação do pêndulo. (Kuhn, 1984, p. 238 apud Studart, 2000, p.532).

Portanto, percebe-se que a quantização da energia não fora uma idéia facilmente aceita na época. Entretanto, passado certo tempo, essa quantização foi aceita e a sua origem gerou novas controvérsias.

Quantizar a energia da radiação do corpo negro pode significar a quantização da própria radiação, esse fora o caminho escolhido por Einstein, tratado logo a seguir. Contudo, essa quantização também pode ser compreendida se pensarmos que ela está naquilo que a produziu.

A radiação é absorvida pela matéria através de seus átomos, gerando a oscilação das suas cargas constituintes, e ela também é emitida durante a oscilação dessas cargas. Desse modo pode-se ter a quantização se considerarmos que essas cargas podem apenas oscilar com determinadas energias, de modo que seus valores não são todos os possíveis, mas apenas aqueles que são um múltiplo inteiro de um valor fundamental, o menor possível. Esse fora o entendimento de Planck, Bohr, Sommerfeld, dentre outros que buscavam entender os constituintes da matéria, tratados mais à frente.

▪▪▪

B. Einstein publica, em 1905, um trabalho do qual tira algumas considerações a partir do chamado Efeito Fotoelétrico. Esse efeito pode ocorrer num arranjo experimental no qual uma radiação ultravioleta atinge uma placa de metal constituída de sódio ou potássio. O que se espera é que a radiação seja absorvida pela placa, gerando aquecimento e, se estiver devidamente inserida num circuito, pode-se perceber a corrente elétrica. Isto é, a energia da radiação ao atingir a placa, é transferida aos átomos do material e os ioniza, permitindo que os elétrons instituam uma corrente.

Esse fenômeno é compreensível pela teoria clássica, os elétrons são arrancados de seus átomos pela absorção da energia proveniente da radiação. Contudo, o tempo para que eles fossem arrancados não era explicado na época, porque apenas com a proposição de que tal absorção ocorreria de forma descontínua, abrupta e instantânea, que os físicos se debruçaram sobre a medição do tempo de ejeção dos elétrons.

Considerando a radiação como uma onda, os átomos precisariam de um determinado intervalo de tempo para se ionizar e esse intervalo previsto era maior do que o experimentado. O processo de troca de energia era mais rápido, como se toda a energia necessária para arrancar os elétrons estivesse concentrada numa pequena região do espaço.

A intensidade da corrente elétrica a percorrer o circuito é proporcional a intensidade da radiação que atinge a placa, o que é compreensível do ponto de vista clássico. Contudo, a Física Clássica esperava que essa corrente decaísse com o aumento da freqüência da radiação, enquanto que o obtido experimentalmente foi uma corrente com uma dependência direta da freqüência da radiação incidente.

Classicamente, a intensidade de uma onda eletromagnética é inversamente proporcional à sua freqüência elevada à quarta potência, mas as medidas mostraram que existe um limite inferior definido para a freqüência da radiação que depende do material atingido, sendo que valores menores não produzem corrente por maior que seja sua intensidade. Desse modo, existem freqüências com as quais não é possível arrancar elétrons, por mais intensa que essa radiação seja ou, contrariamente, pode-se arrancar elétrons com intensidades baixíssimas da

radiação incidente, desde que sua freqüência seja maior que um determinado valor. Nas palavras de Einstein ao citar Lenard em seu artigo de 1905, temos:

> Se cada quantum de energia da luz incidente transmite sua energia a elétrons, independentemente de todos os outros, então, a distribuição de velocidade dos elétrons, isto é, a natureza dos raios catódicos produzidos, será independente da intensidade da luz incidente; por outro lado, sob circunstâncias de outro modo idênticas, o número de elétrons que deixa o corpo será proporcional à intensidade da luz incidente (Einstein, 2001, p. 219).

Desse modo, Einstein, olhando a radiação, associa características granulares à radiação e afirma que sua energia é proporcional a sua freqüência. Ele considera a radiação como um gás: distribuída no espaço com regiões de concentração e que só pode ser absorvida ou emitida em quantidades inteiras de $h\nu$ (constante de Planck vezes a freqüência).

> (...) a entropia da radiação monocromática de densidade suficientemente baixa varia com o volume, de acordo com a mesma lei, como a entropia de um gás ideal ou de uma solução diluída (Einstein, 2001, p. 211).

Por outro lado, ele deixara bem claro no seu trabalho que sua intenção não era mostrar que a teoria clássica estava invalidada, salientando fenômenos que somente ela consegue descrever.

> A teoria ondulatória da luz, que opera com funções espaciais contínuas, provou-se sobremaneira adequada na descrição de fenômenos puramente ópticos, e provavelmente nunca será substituída por outra teoria. Deve-se ter em mente, porém, que as observações ópticas referem-se a médias temporais, e não a valores instantâneos; e é bastante concebível, a despeito da confirmação experimental completa da teoria da difração, reflexão, refração, dispersão, etc., que a teoria da luz, operando com funções espaciais contínuas, leve a contradições quanto aplicadas aos fenômenos de emissão e transformação da luz. (Einstein, 2001, p. 202).

Einstein acreditava que a luz pudesse receber uma descrição matemática que compreendesse todas as suas características, dando conta de toda a série de fenômenos. Uma descrição que explicasse fenômenos como a difração, a interferência, que exigem um olhar ondulatório e, ao mesmo tempo, fenômenos como o efeito fotoelétrico, onde a troca energética é rápida, como colisões de partículas.

Inclusive, em 1909, ele próprio - a fim de retirar qualquer contradição entre a teoria do eletromagnetismo clássico e sua idéia dos quanta - obtém uma expressão para as flutuações em torno do valor médio da energia através da soma de dois

termos: um clássico ondulatório e outro considerando a radiação como um conjunto de “points like quanta” (Freire, Jr., 1990, p. 8). Estava associada assim uma natureza corpuscular para a radiação eletromagnética, que ficava mais perceptível para as altas freqüências.

Einstein é um dos cientistas que pensaram sobre o que hoje denominamos Dualidade Onda-Partícula. A Dualidade possui várias definições relacionadas a como explicar a natureza dos entes físicos, o que são, e como pensá-los.

A física clássica possui fenômenos diversos que para serem entendidos, primeiramente são enquadrados em um de dois padrões possíveis: se exibem um comportamento de partículas (corpúsculos) ou de ondas. Uma partícula, se por um lado tem posição definida no espaço, por outro, ela não pode ocupar a mesma posição que outra, caso ocorra essa tentativa elas interagem entre si de modo a conservar as somas das quantidades de movimento e energia de cada.

Inversamente a essas características se comportam as ondas. Uma onda pode ocupar muitas posições no espaço ao mesmo tempo, assim como duas ondas podem ocupar as mesmas posições, sendo que a interação nesses casos é a interferência (superposição).

Se as partículas interagem e alteram suas trajetórias e/ou velocidades após ela, de modo que apenas a totalidade se conserve; as ondas superpostas formam uma nova onda e, se por acaso, essas ondas evoluírem no tempo e ficarem em regiões distintas do espaço, não perceberemos qualquer alteração nas suas características em comparação com o existente antes da interação.

Desse modo, voltando a Einstein, quando afirmamos que ele pensara a Dualidade Onda-Partícula, ele a fizera de modo que a luz (todo o espectro eletromagnético) pudesse receber uma descrição matemática que contivesse suas características ondulatórias e corpusculares. Assim, se pensarmos que para Einstein a descrição matemática possui correspondência na realidade, ele buscou descrever a luz tanto como onda como quanto partícula, como algo que apresenta ao mesmo tempo características tão diversas.

> (...) é minha opinião que a próxima fase do desenvolvimento da física teórica nos trará uma teoria da luz que possa ser compreendida como uma espécie de fusão da teoria ondulatória com a teoria de emissão da luz (de Newton). (Einstein, 2005, p. 77).

Em suma, essa busca não representou um entrave ao seu entendimento de mundo, como um paradoxo, o que seria instituído na tentativa de se explicar, por exemplo, como a luz estaria espalhada ao longo do espaço e ao mesmo tempo concentrada numa posição?

Einstein, em certo momento, expressa sua concepção da união dos aspectos onda e partícula na seguinte frase:

> Provavelmente não seria tão difícil incorporar os fenômenos de interferência como se pensa, e as razões para isso são as seguintes: não se deve assumir que a radiação consiste de quanta que não interagem; isso tornaria impossível explicar os fenômenos de interferência. Eu imagino um quantum como uma singularidade cercada por um grande campo vetorial. Usando um grande número de quanta pode-se construir um campo vetorial que não difere muito do tipo de campo vetorial que assumimos estar envolvido na radiação. (Einstein, 1909b, p. 398, apud Rosa, 2001, p.55).

Apesar disso, a resistência à discretização da radiação livre foi grande até a década de 20. Um exemplo dessa oposição está num documento de 1913 no qual se indica Einstein para uma vaga da Academia Alemã de Ciências:

> Não se pode considerar como algo grade contra ele (...) que ele algumas vezes tenha errado o alvo em suas especulações, como, por exemplo, na sua hipótese dos quanta de luz; pois é impossível introduzir idéias fundamentalmente novas, mesmo nas ciências mais exatas, sem se arriscar ocasionalmente. (Jammer, 1966, p. 44, apud Rosa, 2001, p.60).

Apenas com o trabalho de Millikan (1916) que foi aceita a hipótese dos quanta, com o cálculo da constante de Planck e a confirmação da equação de Einstein. A quantização da luz fora aceita, mas considerá-la como constituída por partículas – os fótons – se deve especialmente aos trabalhos de Compton e Debye.

▪▪▪

C. Em 1921-1922, Compton e Debye explicaram o espalhamento da radiação por elétrons tomando a radiação como constituída por partículas, possuidoras de energia e momento. Com essa consideração eles explicaram o fenômeno através dos princípios de conservação para colisões entre os constituintes da matéria e os fótons da radiação. A radiação pode ser espalhada pela matéria e a teoria clássica explica devidamente o processo. Ao atingir um material, a radiação faz com que os átomos oscilem de acordo com a sua freqüência e em direção perpendicular à da incidência. Após isso, essas oscilações emitem uma radiação, idêntica à absorvida

exceto pelo fato que a absorvida atinge a placa por um determinado lado e a emitida o é em todas as direções perpendiculares a da oscilação.

Contudo, foram percebidas radiações emitidas com freqüências diferentes da radiação incidente e, além disso, de que a freqüência dessa radiação "diferente" dependia da posição na qual era detectada. Por exemplo, imaginemos uma placa e que ela é atingida em um de seus lados pela radiação, como já explicado: o material da placa absorve essa radiação e emite uma nova, em todas as direções.

Assim, se colocarmos um detector a 30º. da direção que fora a incidente, perceberemos radiações cujas freqüências estão em torno de dois picos, um que é o valor da freqüência incidente, o que já era esperado classicamente e, outro com um valor de freqüência menor, até então inexplicado.

Agora, colocamos o detector a 60º. percebemos novamente dois picos, um possui o valor de freqüência igual ao da radiação incidente (que também estava presente na detecção anterior) e o outro com freqüência menor mas não com o mesmo valor do que estava presente a 30º.

Compton publica dois artigos, o primeiro com seus valores experimentais e, o segundo, com a sua justificativa teórica. Debye publicou uma análise teórica idêntica e independentemente de Compton, porém antes dele, utilizando os dados experimentais que o próprio Compton já havia publicado anteriormente (Cf. Wheaton, 1983, p.285; Mehra & Rechenberg, 1982, p.528 *apud* Rosa, 2001, p. 79).

De modo a explicar esses acontecimentos, Compton faz uso do conceito de que a radiação livre é composta por quanta, como em seu artigo de 1923:

> A presente teoria depende essencialmente da consideração que cada elétron, o qual é efetivo no espalhamento, espalha um quantum completo. Ela envolve também a hipótese que o quanta de radiação é recebido de direções definidas e é espalhado em direções definidas. O suporte experimental da teoria indica muito convincentemente que um quantum de radiação carrega, com a sua direção, momento assim como energia. (Compton, 1923, p.501).

Contudo, acredita-se que esse efeito comprovou o caráter corpuscular da luz, porém alguns trabalhos apontam que não existia essa prova. Inclusive, depois de publicado seu trabalho, Compton, juntamente com Schrodinger, Halpern, Debye, propuseram demonstrações semi-clássicas para deduzir o efeito observado (Cf. Kidd, Ardini & Anton, 1989, p.28, *apud* Rosa, 2001, p.81).

> A descoberta do efeito Compton não foi uma prova de que a radiação era constituída por quanta de energia. Assim como outros fenômenos descobertos anteriormente, tratava-se de um caso em que era difícil (mas não impossível) explicar o efeito utilizando a teoria ondulatória, e possível explicá-lo utilizando uma hipótese corpuscular. (...). Assim, a descoberta do efeito Compton adicionou mais um problema em vez de proporcionar uma solução ao conflito (Rosa, 2001, p 79).

A publicação dos primeiros trabalhos sobre o Efeito Compton não constituíram a prova das características corpusculares da luz. Apenas nos anos seguintes, com o desenvolvimento da câmara de bolhas por Wilson e suas observações em conjunto com Bothe, Nuttall entre outros, a respeito do recuo dos elétrons atingidos por raios –X e a necessidade de se considerar o momento linear dessa radiação que o Efeito Compton e suas considerações foram comprovadas.

> Fotografias estereoscópicas de traços de raios beta excitados de raios x filtrados e intensos no ar úmido foram obtidos pelo método da expansão da nuvem de Wilson. (...) Tais resultados concordam da modo próximo com cada detalhe com os quais as predições teóricas foram realizadas por Compton e Hubbard (...) tornando essa evidência particularmente forte para assumirmos que a teoria é correta, e que quando qualquer quantum de raios x é espalhado, um elétron R é ejetado possuindo um momento cujo vetor é diferente entre aquele da incidência e o do quantum de raios x espalhado (Compton e Simon, 1925, p. 306).

Assim houve uma mudança de comportamento da comunidade em relação e às características da radiação e começou a se pensar que a linguagem corpuscular era uma maneira de se representar a luz, pois até então nenhum fenômeno fora descrito precisamente pelos corpúsculos. Apenas Bohr fora contrário a qualquer interpretação desse tipo, forçando inclusive seus colaboradores a abandonar a idéia.

▪▪▪

D. Na tentativa de manter a continuidade da onda eletromagnética livre, em 1925, Bohr, Kramers e Slater publicam o que ficou conhecida como proposta BKS. Nela propuseram a manutenção da natureza contínua da radiação ao custo de abandonar a conservação de energia e momento em processos individuais, preservando-os num sentido estatístico (Cf. Silva e Silva, 2008, p.07).

A proposta BKS foi abandonada porque, ao propor que as conservações se davam apenas estatisticamente, bastaram experimentos que validassem as leis de

conservação em processos atômicos. Apesar disso, as idéias de átomos oscilantes bem como o modelo atômico de Bohr influenciaram Heisenberg no desenvolvimento de uma dinâmica para os elétrons (Jammer, 1966, p. 184). Bohr aceitou os quanta de luz apenas em 1927, mas dentro da concepção dualística da interpretação de Copenhagem (Cf. Kidd, Ardini & Anton, 1989, p.28, *apud* Rosa, 2001, p. 65).

▪▪▪

Estrutura da matéria

Por outro lado, tratemos da parcela da comunidade que passou a conceber os quanta da luz como uma forma de descrição, a partir do experimento de Compton. O principal fator dessa aceitação é que o tratamento corpuscular da radiação veio a partir de físicos que estudavam os raios X e γ (do qual Compton fazia parte, assim como Maurice de Broglie, seu irmão Louis, os Bragg, Laue, J.J.Thomson, Sommerfeld, entre outros), sendo que suas idéias se desenvolveram independentemente da idéia do quantum da radiação até 1913, com a divulgação do modelo atômico de Bohr.

Os raios X foram descobertos no fim do século XIX e, ao longo do desenvolvimento da primeira década, acreditava-se que eram constituídos ou de partículas, de ondas eletromagnéticas especiais (como pulsos), ou ondas emitidas em ângulos sólidos estreitos. O objetivo era se explicar a concentração espacial da energia durante as interações desses raios com a matéria, como durante a ionização de gases.

Em 1912 iniciam-se as descobertas da difração por raios X. Percebe-se que os raios X possuem uma estrutura como a luz, não podendo ser pulsos; descobriu-se o valor da sua freqüência e também se percebeu que os elétrons, ao interagir com esses raios, recebiam energias equivalentes a $h\nu$.

Porém, com o trabalho de Bohr sobre o modelo atômico e as raias espectrais publicado em 1913, a atenção do grupo de cientistas que estudavam os raios X voltou-se à estrutura da matéria (Rosa, 2001, p.32). Os fenômenos de quantização pareciam estar relacionados à estrutura da matéria, e as especulações sobre a quantização da própria radiação ficaram em segundo plano. Um exemplo são os trabalhos de Moseley (1913) sobre a determinação do numero atômico de

elementos químicos utilizando-se da difração de raios X e do modelo atômico de Bohr.

Eles voltaram a se dedicar à natureza da radiação apenas depois de 1920, foi quando se percebeu o que posteriormente ficou conhecido como Efeito Compton. Arnold Sommerfeld, que sempre fora contrário à quantização da radiação, passa a divulgar o trabalho de Compton – uma descrição corpuscular não podia mais ser ignorada:

> No momento temos que admitir que a teoria ondulatória é indispensável; por outro lado, estamos seguros que a estrutura quântica também é indispensável. Nesse assunto, a física moderna está diante de contradições irreconciliáveis, e tem que admitir francamente: non liquet (não está certo) (Mehra & Rechenberg, 1982 p. 246 *apud* Rosa, 2001, p.80).

São as características irreconciliáveis para a Física Clássica de onda e corpúsculo, presentes nas radiações, que levam o príncipe Louis de Broglie a conceber uma teoria dualística, publicada em 1923 e que será abordada mais à frente.

▪▪▪

E. Durante os anos de 1911 e 1912, a comunidade científica já tinha aceitado a distribuição de Planck e sua quantização de energia.

Pode-se afirmar que essa aceitação da comunidade veio a partir do primeiro Congresso de Solvay, realizado em 1911 cujo objetivo era discutir as idéias de quantização (Cf. Jammer, 1966, p.52 apud Rosa, 2001, p.61). Dentre os vários cientistas a se pronunciarem, Lorentz expôs sua crença na possibilidade de compreender que a radiação fosse emitida quantizada, mas na sua propagação a individualidade dos quanta não se manteria (Cf. Lorentz, 1912, p. 34 *apud* Rosa, 2001, p.61).

Uma outra contribuição importante para a descontinuidade fundamental foi realizada por Arnold Sommerfeld:

> Designando por H o lagrangiano (energia cinética menos potencial), a integral $S=\int Hdt$ é a quantidade denominada “ação” na mecânica clássica. Sommerfeld propôs, como uma lei básica, que em qualquer processo atômico elementar, (...) haveria uma quantidade determinada universal de ação absorvida ou emitida (Kuhn, 1978, p. 226 *apud* Rosa, 2001, p.63-4).

O Congresso teve a participação de Maurice de Broglie (irmão de Louis de Broglie) como secretário e a presença de Rutherford, que possuía na época como assistente em seu laboratório o jovem Niels Bohr – exemplo de como ele influenciou o desenvolvimento da teoria.

▪▪▪

F. Bohr publicou em 1913 sua explicação quântica para o espectro de hidrogênio, originando seu modelo atômico. Nesse, ele usou a condição de quantização para o movimento dos elétrons orbitando o núcleo: $mvR=h/2\pi$.

Sabe-se que este modelo não corresponde a princípios aceitos atualmente pela Teoria Quântica, mesmo sofrendo algumas adaptações, ao fim, o modelo deixou de ser a melhor representação do átomo.

Esse modelo propunha um núcleo central com elétrons orbitando ao seu redor. Quando falamos de elétrons, eles não podem transitar em torno do núcleo, porque isso envolve uma trajetória e esse tipo de movimento acarreta emissão de radiação e perda de energia.

Por conta disso Bohr postulou que os elétrons estavam em estados estacionários em órbitas fechadas, quantizando o momento angular. A transição entre os estados estacionários já tinham sido obtidos experimentalmente, mas o seu modelo atômico logo precisou de ajustes por causa do aparecimento da estrutura fina com a melhoria das imagens espectroscópicas.

Os ajustes necessários ao modelo foram feitos por Sommerfeld. Ele usou a sua idéia apresentada em 1911 e utilizou coordenadas e momentos generalizados, havendo condições de quantização para cada grau de liberdade do elétron. Com isso ele introduziu a possibilidade de órbitas elípticas e os efeitos relativísticos (Cf. Rosa, 2001, p.66).

Apesar disso, o modelo de Bohr fora um sucesso pela explicação dos espectros de radiação e convertera a atenção da comunidade científica das discussões sobre a radiação à questão da estrutura da matéria.

O modelo ainda é usado para o entendimento dos processos de emissão e absorção da radiação, mas sucumbiu como visão última por não explicar a dinâmica dos elétrons e por não conseguir resolver as antíteses presentes no modelo, como o movimento determinístico dos elétrons e suas transições probabilistas ou mesmo a

consideração do elétron como partícula em estados estacionários (característica ondulatória).

Entretanto, a ênfase nos conflitos fora a estratégia de Bohr para auxiliar o desenvolvimento da teoria, como destaca o discurso de Bohr de 1913, falando à Sociedade Física de Copenhague:

> Espero ter-me expressado suficientemente claro para que os senhores apreciem a extensão em que estas considerações entram em choque com o admirável e coerente conjunto de concepções que tem sido corretamente chamado de teoria clássica da eletrodinâmica. Por outro lado, ao enfatizar esse conflito, tentei trazer aos senhores a impressão de que há a possibilidade de descobrir no decorrer dos tempos, uma certa coerência nas novas idéias (Jammer, 1966, p.87, apud Holton, 1984, p.56).

Segundo Holton (1984), a estratégia de Bohr de resolução do conflito conceitual culminou quatorze anos depois, com o princípio da complementaridade (tratada mais à frente) e, nesse tempo, sua busca pela reconciliação foi conhecida a partir de 1918 como o princípio da correspondência – que foi importante para o desenvolvimento da Física Moderna, funcionando como um guia para o entendimento dos novos fenômenos.

Segundo esse princípio, a física clássica pode ser tomada como um caso limite da física quântica, no cotidiano lidamos com valores tão grandes, se comparados com a escala atômica, que não se percebe a quantização, posto o pequeno valor da descontinuidade essencial (a constante de Planck), isto é, nos estados macroscópicos, por possuírem números quânticos elevados, o quantum de ação é praticamente zero, nos fornecendo um contínuo.

▪▪▪

Dinâmicas para as partículas com massa

Como fora tratado brevemente na introdução, dois foram os caminhos trilhados para se conceber a dinâmica da matéria atômica. Por um lado o grupo de Copenhague, representado por Heisenberg, elaborou uma dinâmica para os elétrons a partir dos fenômenos de interação entre a radiação e a matéria, principalmente pelo modelo de Bohr e pela proposta BKS (Jammer, 1966, p. 184).

Do outro lado, Louis de Broglie e Schroedinger, buscam uma teoria na qual a radiação e matéria possam ser descritas como onda e partícula concomitantemente.

Os elétrons são abordados por serem os entes materiais microscópicos mais conhecidos na época.

Assim, essas duas mecânicas, conhecidas como matricial e ondulatória, partem de pressupostos diferentes, usam ferramentas matemáticas e concepções de realidade distintas, mas são equivalentes quanto aos resultados.

▪▪▪

G. Heisenberg buscando um entendimento mais profundo do átomo, mais especificamente da dinâmica que rege seus elétrons, elabora a denominada mecânica matricial, que foi levada à comunidade em 1925 – escrita conjuntamente com Born e Jordan. Posteriormente, em 1927, dela derivou o denominado Princípio de Incerteza.

A mecânica matricial é de difícil visualização e na época, os físicos não estavam acostumados com esse instrumental matemático. O porquê desse fato é o mesmo pelo qual e mecânica matricial do Heisenberg não foi tão famosa quanto o seu princípio, posto que ele é visível ondulatoriamente.

A mecânica matricial não fornecia uma “visão da realidade”, uma imagem, sendo de difícil entendimento por isso. Após o princípio de incerteza sofrer uma abordagem ondulatória, ele tornou-se possível de ser visualizado.

▪▪▪

H. Louis de Broglie, em 1923, sendo conhecedor da discussão acerca da natureza corpuscular da radiação e, imbuído de uma necessidade de simetria, associou à matéria uma onda e expandiu a denominada dualidade onda-partícula, que se tornou um princípio geral.

> De Broglie propôs assim uma versão da mecânica quântica na qual o corpúsculo, identificado como uma região singular de concentração de energia preserva essencialmente sua natureza clássica. Mas, diferentemente da partícula clássica, ela é guiada por uma extensa onda ψ e assim é sujeito de efeitos de difração os quais podem ser produzidos por obstáculos colocados a uma grande distancia. A dualidade onda-partícula, em resumo, foi reduzida por de Broglie para uma síntese onda-partícula: não onda ou partícula, mas onda e partícula constituem a realidade física! (Jammer,1974, p.49).

A concepção de de Broglie permitiu enxergar o elétron através da sua onda associada e compreender através dela, por exemplo, o princípio de incerteza: uma onda, quando tem sua posição definida, perdemos seu momento e vice-versa.

▪▪▪

I. Schroedinger, em 1926, elaborou a função que representava a onda associada aos elétrons e, no mesmo ano, foi quem publicou um trabalho mostrando a equivalência entre sua mecânica e a matricial de Heisenberg. Usando uma matemática que era de conhecimento da maioria dos físicos da época (Segrè, 1987, p.166) e que oferecia uma imagem pictórica ao elétron.

▪▪▪

J. Max Born reinterpretou a função de onda, mostrando que ela vezes o seu complexo conjugado (o que chamamos de módulo de psi quadrado), nos oferece a densidade de probabilidade do elétron, ou seja, a probabilidade de encontrá-lo numa determinada região do espaço (Cf. Freire, Jr., 1990, p. 17).

> Em Copenhague, a teoria de Schroedinger foi admirada, mas sua interpretação de ψ foi repelida. Bohr convidou Schroedinger a um debate sobre problemas vinculados à sua teoria e enfrentou-o com críticas e objeções à interpretação. (Segrè, 1984, p. 166).

A partir daquele momento foi refeita a imagem que representava o modelo do átomo de hidrogênio por causa da nova idéia sobre o que era o elétron. O núcleo, invisível, tem em sua volta a distribuição de probabilidade de se encontrar os elétrons, sendo que cada elétron tem um estado associado cujas probabilidades se superpõem como ondas.

Bohr, Pauli e Heisenberg elaboram a denominada “Interpretação de Copenhague”. Ela versa sobre vários aspectos da teoria quântica, dentre os quais encontra-se o Princípio da Complementaridade, que aborda especificamente a Dualidade Onda-Partícula.

> Um sistema quântico ou exibe aspectos corpusculares (seguindo trajetórias bem definidas), ou aspectos ondulatórios (como a formação de um padrão de interferência), dependendo do arranjo experimental, mas nunca ambos ao mesmo tempo. (Pessoa Jr., 2006, p. 18).

Não cabe mais falarmos de natureza física observada independente do observador (do arranjo experimental). Tal junção observador-observável, Bohr

chamou de fenômeno, também denominada por “totalidade”. Ao olharmos para o conjunto objeto quântico e aparelho de medida, ou seja, para o fenômeno, podemos interpretá-lo por um quadro clássico de onda ou de partícula (“tese da linguagem clássica”), como os quadros são excludentes, a união das duas descrições “exaurem” o objeto e oferecem uma completeza.

Na física clássica pode-se considerar que a medição não altera o observado, já na física quântica a medição altera consideravelmente o resultado, por causa dos valores energéticos lidados, ou seja, a medição introduz perturbações no sistema. Não sabemos quanto exatamente a interação observador-objeto interfere na energia e no momento durante uma medida, assim seu resultado e probabilístico, mas sabemos que a média de várias medidas possuem resultados constantes.

A Interpretação de Copenhague ofereceu um entendimento à teoria que não era o único, mas majoritário. A própria concepção de Dualidade Onda-Partícula recebeu várias formulações, podendo-se dizer que o Bohr tinha uma, assim como outros possuíam concepções mais realistas, como de Broglie, Schroedinger, Einstein e Planck (Cf. Pessoa Jr., 2006, p. 96). Mesmo dentre os integrantes da escola de Copenhague, a formulação diferia.

> A questão de se as ondas são algo ‘real’ ou uma ficção para descrever e prever fenômenos de maneira conveniente é uma questão de gosto. Eu pessoalmente gosto de considerar uma onda de probabilidade, mesmo no espaço 3N- dimensional, como uma coisa real, como certamente mais do que um instrumento para cálculos matemáticos. (Born, 1949, p.105-6 *apud* Pessoa Jr., 2006, p. 97).

Podemos perceber duas concepções em relação à Dualidade Onda-Partícula, que são, a grosso modo, visões realistas ou positivistas (Pessoa Jr., 2006, p. 05). Uma concepção positivista da dualidade pode apenas afirmar aquilo que é observável, ou seja, como não se pode mensurar concomitantemente os aspectos onda e partícula da radiação e da matéria, elas não são onda e partícula, mas apresentam-se como onda ou como partícula.

Uma visão positivista não afirma o que é a radiação ou a matéria, porque às vezes elas são onda e às vezes são partículas. Assim tal visão prefere referir-se à descrição do comportamento desses entes, que difere de acordo com o arranjo experimental.

Por outro lado, uma visão realista busca uma definição para a radiação e a matéria, indo além da descrição do comportamento. Acreditar que os entes são

onda e partícula ao mesmo tempo, mas que na detecção um deles é suprimido é uma concepção realista; assim como pensar que durante o movimento um aspecto se faz preponderante enquanto na detecção se faz o outro. Até mesmo alegar que os entes não são onda nem partícula, que esses aspectos são relativos a uma mentalidade clássica, é conceber uma possível realidade aos entes, mesmo que desconhecida.

2.2 Os livros didáticos de Ensino Superior

De acordo com o relatado anteriormente, é necessária a compreensão de como o conhecimento da Física Moderna está estruturado. Diante dos estudantes de Física, a estrutura apresentada dos conceitos modernos é a dos livros didáticos utilizados.

Para a análise dos livros utilizou-se dos marcos históricos previamente apresentados. Os livros selecionados são amplamente utilizados nos cursos superiores de Física no país, sendo também utilizados na disciplina Física Moderna I, oferecida pelo IFUSP. Diante do objetivo de responder a questão "De que forma os conteúdos são estruturados e abordados?" abrimos nossa análise em duas frentes, sendo uma geral, apresentada nesse item, e outra relacionada especificamente à Dualidade Onda-Partícula, presente no item 2.3.

A análise geral se debruça sobre a seqüência e os conteúdos da Física Moderna abarcados. As informações referentes aos conteúdos e suas seqüências estão abaixo:

Sumários			
Eisberg e Resnick. Física Quântica. 4ª. edição – Rio de Janeiro: Campus, 1986.		Tipler e Llewellyn. Física Moderna. 3ª. edição – Rio de Janeiro: LTC, 2001.	
Capítulo	Título	Capítulo	Título
1	Radiação térmica e o postulado de Planck.	3	Quantização da Carga, Luz e Energia.
2	Fótons – propriedades corpusculares da radiação.	4	O Átomo Nuclear.
3	O postulado de de Broglie – propriedades ondulatórias das partículas.	5	Propriedades Ondulatórias das Partículas.
4	O modelo de Bohr para o átomo.	6	A Equação de Schroedinger.
5	A teoria de Schroedinger da mecânica quântica.	7	Física atômica.
6	Soluções da equação de Schroedinger independente do tempo.		
7	Átomos de um elétron.		

Figura 2.3: Excertos dos sumários das obras de Tipler e Llewellyn (2001) e de Eisberg e Resnick (1986).

Num primeiro olhar, percebemos que ambas seqüências de apresentação dos temas pelos sumários tendem a reproduzir uma linha histórica, ou seja, iniciam a quântica pela solução encontrada por Planck ao problema da radiação do corpo negro, em 1900, e seguem explicitando os resultados dos trabalhos de Einstein sobre o Efeito Fotoelétrico, o modelo atômico de Bohr, Compton e seu efeito, as idéias de de Broglie e as mecânicas de Heisenberg e Schroedinger.

O fato dos livros buscarem expor os conceitos segundo a história os diferencia dos livros da Física Clássica, nos quais são excluídas as questões que originaram os desenvolvimentos de determinados assuntos, assim como possíveis medições realizadas, seus resultados e os caminhos tomados pelos cientistas. Além disso, nos livros de Física Clássica os conceitos e as representações matemáticas são apresentados em suas formulações finais, e dedicam cada conceito a um pequeno número de cientistas.

> No ensino de ciências, em geral se desconsidera o caráter de não-linearidade da construção dos conceitos (...). O mais usual é a apresentação das ciências apenas em seus resultados finais (...). (Saviani, 1954, p. 181).

Em contrapartida dessa visão geral, pode-se perceber que os dois sumários apresentam uma importante distinção nas respectivas seqüências. Enquanto o livro de Eisbert e Resnick desenvolve a seqüência: interação luz matéria – caráter ondulatório da matéria – modelo atômico; o livro de Tipler e Llewellyn apresenta: interação luz matéria – modelo atômico – caráter ondulatório da matéria; representados pelos capítulos 1, 2, 3 e 3, 4 e 5 – respectivamente.

Esclarecemos que, enquanto interação luz matéria entendemos todos os fenômenos nos quais a luz, durante a sua interação com os constituintes da matéria, apresenta seu aspecto corpuscular e, por caráter ondulatório da matéria tomamos os fenômenos nos quais a matéria apresenta propriedades ondulatórias, como os de interferência e difração.

Do ponto de vista histórico, o desenvolvimento do modelo atômico de Bohr antecedeu a proposta de de Broglie da onda associada ao elétron, tanto que de Broglie usa o seu entendimento sobre a onda associada ao elétron para explicar as órbitas fechadas do modelo planetário de Bohr as pensando como ondas estacionárias.

Tais diferenças na apresentação dos temas suscitaram dúvidas que, por sua vez, originaram um aprofundamento. Estas foram sintetizadas em uma questão, que objetiva compreender melhor as obras: “Como ocorre a transformação dos conhecimentos em objetos de ensino? Quais as justificativas para diferentes seqüências?”

Dessa maneira optamos por investigar as seleções e organizações dos conteúdos, assim como as descrições presentes nos livros didáticos, buscando compreender as transformações e as justificativas a partir da forma como os conceitos estão relacionados entre si.

Percebemos que tanto a sequência adotada quanto o nome conferido aos capítulos 2 e 3 do livro de Eisberg e Resnick objetivam apresentar uma natureza complementar entre os comportamentos ondulatórios e corpusculares da luz e da matéria.

Detalhando os capítulos acima destacados, temos como subtítulos:

Eisberg e Resnick. Física Quântica. 4ª. edição – Rio de Janeiro: Campus, 1986.			
Capítulo	Título	Capítulo	Título
2	Fótons – propriedades corpusculares da radiação.	4	O modelo de Bohr para o átomo.
2.1	Introdução.	4.1	O modelo de Thomson.
2.2	O efeito fotoelétrico.	4.2	O modelo de Rutherford.
2.3	A teoria quântica de Einstein do efeito fotoelétrico.	4.3	A estabilidade do átomo nuclear.
2.4	O efeito Compton.	4.4	Espectros atômicos.
2.5	A natureza dual da radiação eletromagnética.	4.5	Os postulados de Bohr.
2.6	Fótons e a produção de Raios X.	4.6	O modelo de Bohr.
2.7	Produção e aniquilação de pares.	4.7	Correção para a massa nuclear infinita.
2.8	Seções de choque para absorção e espalhamento de fótons.	4.8	Estados de energia do átomo.
3	O postulado de de Broglie – Propriedades ondulatórias das partículas.	4.9	Interpretação das regras de quantização.
3.1	Ondas de matéria.	4.10	O modelo de Sommerfeld.
3.2	A dualidade Onda-Partícula.	4.11	O princípio da correspondência.
3.3	O princípio da incerteza.	4.12	Uma crítica à antiga Teoria Quântica.
3.4	Propriedades das ondas de matéria.		
3.5	Algumas conseqüências do princípio da incerteza.		
3.6	A filosofia da teoria quântica.		

Figura 2.4: Títulos dos capítulos e sub capítulos da obra de Eisberg e Resnick (1986).

Percebe-se que no livro de Eisberg e Resnick os conceitos associados aos fenômenos fotônicos são aglutinados no primeiro capítulo analisado e a natureza

dual aparece como uma característica geral dos fenômenos apresentados. Em seguida os autores abordam as idéias sobre o comportamento ondulatório da matéria: as ondas associadas de de Broglie e o novo significado do comportamento ondulatório através do olhar da dualidade e o princípio de incerteza.

Acreditamos que na obra de Eisberg e Resnick a dualidade onda-partícula seja um conceito que orienta os capítulos 2 e 3.

> *(...) Em cada caso obteremos evidências experimentais de que a radiação se comporta como uma partícula em sua interação com a matéria, diferentemente do comportamento ondulatório quando se propaga. No próximo capitulo estudaremos uma generalização desse resultado, devida a de Broglie, que leva diretamente à mecânica quântica.* (p. 51. Cap. 2).

Como já dito, contrariamente à ordem cronológica de desenvolvimento da teoria quântica, Eisberg e Resnick preferiram expor sobre os modelos atômicos após abordar os fenômenos de interação da luz com a matéria (Capítulo 2), e os comportamentos ondulatórios da matéria (Capítulo 3). Tal escolha foi realizada para tornar a dualidade onda-partícula um eixo central dos dois capítulos e aglutinar o comportamento da radiação e da matéria sob a mesma perspectiva.

A obra de Eisberg e Resnick, em seu capítulo 3, se remeta à dualidade onda-partícula ao abordar o trabalho de de Broglie, o princípio de incerteza e a interpretação probabilística da função de onda. Em outras palavras, a dualidade é usada pelos autores como um conceito fundamental, posto que serve como base para o entendimento dos tópicos acima relacionados. Tal relação pode ser exemplificada no seguinte excerto:

> *A ligação entre os modelos corpuscular e ondulatório é feita por meio de uma interpretação probabilística da dualidade onda-partícula. No caso da radiação, foi Einstein quem unificou as teorias ondulatória e corpuscular; a seguir, Max Born aplicou um argumento semelhante para unificar as teorias ondulatória e corpuscular da matéria.* (p. 95. Cap. 3.2)

Pode-se perceber que os autores chamam a interpretação de Max Born como “probabilística da dualidade” e a consideram como unificadora dos modelos ondulatórios e corpuscular para a matéria, como Einstein fizera, lembrando que o aspecto dual também se faz presente na radiação.

Os autores Eisberg e Resnick desenvolvem uma compreensão da função de onda através da dualidade no capítulo 3. De certa forma é constituída uma concepção de função de onda que em momentos posteriores, quando for usada,

permite a retomada do conceito de dualidade onda-partícula, porque ela fora a base para a formulação da concepção.

Passemos à obra de Tipler e Llewellyn:

Tipler e Llewellyn. Física Moderna. 3ª. edição – Rio de Janeiro: LTC, 2001.			
Capítulo	Título	Capítulo	Título
3	Quantização da Carga, Luz e Energia.	5	Propriedades Ondulatórias das Partículas.
3.1	Quantização da Carga Elétrica.	5.1	A Hipótese de de Broglie.
3.2	Radiação de Corpo Negro.	5.2	Medida do Comprimento de Onda das Ondas de Matéria.
3.3	O Efeito Fotoelétrico.	5.3	Pacotes de Ondas.
3.4	Raios X e o Efeito Compton.	5.4	Interpretação probabilística da Função de Onda.
4	O Átomo Nuclear.	5.5	O Princípio de Indeterminação.
4.1	Espectros Atômicos.	5.6	Algumas conseqüências do Princípio de Indeterminação.
4.2	O Modelo Nuclear de Rutherford.	5.7	O Dualismo Onda-Partícula.
4.3	O Modelo de Bohr para o Átomo de Hidrogênio.		
4.4	Espectros de Raios X.		
4.5	O Experimento de Franck-Hertz.		
4.6	Crítica da Teoria de Bohr e da "Velha" Mecânica Quântica.		

Figura 2.5: Títulos dos capítulos e sub capítulos da obra de Tipler e Llewellyn (2001).

Utilizando a mesma lógica resultante da análise do livro anterior, ou seja, a busca por conceitos centrais, pela leitura do livro de Tipler e Llewellyin, percebemos a quantização como tema aglutinador do primeiro capítulo, porque nele são inseridos o trabalho de Millikan sobre a quantização da carga elétrica, a radiação de corpo negro, que quantizara a energia e os efeitos fotoelétrico e Compton, que consideram a luz como quantizada.

Mais fiel na apresentação histórica dos conceitos, a obra segue desenvolvendo os modelos atômicos e, no terceiro capítulo analisado, traz os trabalhos de de Broglie sobre as ondas de matéria, conferindo em seguida a interpretação probabilística de Born às ondas, explicando o princípio de incerteza e a dualidade.

O livro de Tipler e Llewellyn realiza outras escolhas, privilegiando conceitos diferentes dos considerados por Eisberg e Resnick. Seu foco está no conceito da quantização.

A orientação conceitual da obra pode ser melhor percebida pelo trecho abaixo:

> *(...) muitos fenômenos (...) podem ser "explicados" por varias hipóteses de quantização. Essas "teorias", uma estranha mistura de idéias clássicas e quânticas, são conhecidas pelo nome genérico de "velha" mecânica quântica.*
>
> *(...) Apesar de prever corretamente as transições do espectro do hidrogênio, a teoria não permitia calcular as probabilidades dessas transições (...). Finalmente, havia um serio problema filosófico associado ao fato de que as premissas básicas da teoria não terem nenhuma justificativa lógica.*
>
> *(...) Durante as décadas de 1920, os cientistas procuraram sanar esses problemas e uma teoria sistemática, hoje conhecida como mecânica quântica ou mecânica ondulatória, foi formulada por de Broglie, Schroedinger, Heisenberg, Pauli, Dirac, entre outros.* (p. 121. Cap. 4.6).

Do trecho acima compreende-se que os fenômenos de interação entre radiação e matéria (Capítulo 3) e o desenvolvimento do modelo atômico (Capítulo 4) foram tratados em seqüência na obra pelo fato de utilizarem o conceito de quantização, fundamental.

O comportamento da matéria é separado dos conteúdos anteriores porque passa a envolver o desenvolvimento da mecânica quântica, na qual compreendemos que a probabilidade torna-se o conceito central do capítulo 5 e dos que o sucedem, isto é, o uso de uma dinâmica que prevê comportamentos prováveis ou invés da até então relação de causa- efeito determinística.

Apesar de tal abordagem, o livro de Eisberg e Resnick altera uma possível seqüência cronológica de apresentação dos conceitos. Após desenvolver a idéia de radiação térmica, seus capítulos 2 e 3 objetivam discutir os comportamentos duais da luz e da matéria, e a obra segue com o entendimento dos modelos atômicos, cujo desenvolvimento resulta na mecânica quântica, assunto tratado em seguida. Em contrapartida, a obra de Tipler e Llewellyn, ao seguir uma seqüência mais cronológica do desenvolvimento da teoria, traz os modelos atômicos entre os fenômenos de quantização e a mecânica quântica.

Através de leituras dos capítulos destacados de ambas as obras, acreditamos que as diferenças nas seqüências de apresentação são conseqüências da escolha por diferentes conceitos centrais. Ou seja, os autores de cada obra tomaram como

importantes, basais, conceitos diferentes e, através deles explicaram os demais e estruturaram sua sequência de temas.

O uso de conceitos centrais diferentes resultam em entendimentos e escritas diferentes para um mesmo conceito.

> *Einstein propôs que a quantização da energia usada por Planck no problema do corpo negro fosse uma característica universal da luz. Em vez de estar distribuída uniformemente no espaço no qual se propaga, a luz é constituída por quanta isolados de energia h.f.* (Tipler e Llewellyn, p. 89. Cap.3.3 – grifos nossos)

> *A necessidade da hipótese do fóton, ou partícula localizada, para interpretar processos que envolvem a interação da radiação com a matéria é clara, mas ao mesmo tempo é necessária uma teoria ondulatória da radiação para explicar os fenômenos de interferência e difração. A idéia de que a radiação não é um fenômeno puramente ondulatório nem meramente um feixe de partículas deve portanto ser levada a sério* (Eisberg e Resnick, p.66. Cap. 2.5 – grifos nossos)

No livro de Tipler e Llewellyn, o primeiro conceito fundamental é a quantização, enquanto que no de Eisberg e Resnick a dualidade onda-partícula apresenta-se mais relevante.

A quantização é um tema aglutinador explícito do capítulo 3 para Tipler e Llewellyn e também é a base do capítulo sobre os modelos atômicos, de acordo com o excerto apresentado no corpo do trabalho. O segundo conceito fundamental (também presente no excerto) é tomado como basal a partir do capítulo 4, que é a relação causa-efeito probabilística representada pela função de onda na interpretação de Max Born.

Assim, tal obra apresenta seus dois conceitos centrais de forma não relacionada, como uma ruptura conceitual representada pela “velha” X “nova” mecânica quântica. Dessa forma a quantização não é retomada posteriormente nos capítulos analisados.

Na obra de Eisberg e Resnick, o primeiro conceito fundamental percebido fora a Dualidade Onda-Partícula. Já o segundo conceito consiste na dinâmica probabilística da mecânica quântica. Quando os autores tratam do significado físico da função de onda, utilizam a idéia da Dualidade e, dessa forma, os dois conceitos centrais se encontram relacionados a um entendimento geral ou, em outra perspectiva, a dinâmica probabilística tem a base de seu entendimento na Dualidade Onda-Partícula.

Essa relação entre os conceitos centrais é outra importante diferença entre os dois livros analisados, porque os conceitos são excludentes na obra de Tipler e Llewellyn, ao passo que na obra de Eisberg e Resnick é perceptível uma intersecção entre seus conceitos centrais. Em outras palavras, enquanto Tipler e Llewellyn explicitam claramente que as idéias que quantização não são mais utilizadas a partir da interpretação de Max Born da função de onda; Eisberg e Resnick utilizam a Dualidade para explicar o significado dessa função.

2.3. A Dualidade Onda-Partícula nos textos

Para analisar a abordagem dos livros didáticos, concentramo-nos em evidenciar os locais destinados a Dualidade Onda-Partícula na seqüência de temas e nas formulações que recebeu.

Podemos de antemão esperar diferentes formulações realizadas pelos livros, diante da análise do item anterior. Acreditamos que o fato da Dualidade ser um conceito central para a seleção e organização de apenas um dos dois livros analisados também corrobora com nossa suposição.

A olharemos sob duas perspectivas, semelhantes às do olhar anterior, que consiste em primeiramente analisar a organização dos conteúdos e identificar a presença da dualidade na seqüência apresentada pelos livros e depois, por meio da leitura dos trechos, buscar as formulações elaboradas pelos materiais.

Dessa forma, retomemos os sumários detalhados dos materiais:

Sumários			
Eisberg e Resnick. Física Quântica. 4ª. edição – Rio de Janeiro: Campus, 1986.		Tipler e Llewellyn. Física Moderna. 3ª. edição – Rio de Janeiro: LTC, 2001.	
Capítulo	Título	Capítulo	Título
2	Fótons – propriedades corpusculares da radiação.	3	Quantização da Carga, Luz e Energia.
2.1	Introdução.	3.1	Quantização da Carga Elétrica.
2.2	O efeito fotoelétrico.	3.2	Radiação de Corpo Negro.
2.3	A teoria quântica de Einstein do efeito fotoelétrico.	3.3	O Efeito Fotoelétrico.
2.4	O efeito Compton.	3.4	Raios X e o Efeito Compton.
2.5	A natureza dual da radiação eletromagnética.	4	O Átomo Nuclear.
2.6	Fótons e a produção de Raios X.	4.1	Espectros Atômicos.
2.7	Produção e aniquilação de pares.	4.2	O Modelo Nuclear de Rutherford.
2.8	Seções de choque para absorção e espalhamento de fótons.	4.3	O Modelo de Bohr para o Átomo de Hidrogênio.
3	O postulado de de Broglie – Propriedades ondulatórias das partículas.	4.4	Espectros de Raios X.
3.1	Ondas de matéria.	4.5	O Experimento de Franck-Hertz.
3.2	A dualidade Onda-Partícula.	4.6	Crítica da Teoria de Bohr e da "Velha" Mecânica Quântica.
3.3	O princípio da incerteza.	5	Propriedades Ondulatórias das Partículas.
3.4	Propriedades das ondas de matéria.	5.1	A Hipótese de de Broglie.
3.5	Algumas conseqüências do princípio da incerteza.	5.2	Medida do Comprimento de Onda das Ondas de Matéria.
3.6	A filosofia da teoria quântica	5.3	Pacotes de Ondas.
4	O Modelo de Bohr para o átomo.	5.4	Interpretação probabilística da Função de Onda.
4.1	O modelo de Thompson.	5.5	O Princípio de Indeterminação.
4.2	O modelo de Rutherford.	5.6	Algumas conseqüências do Princípio de Indeterminação.
4.3	A estabilidade do átomo nuclear.	5.7	O Dualismo Onda-Partícula.
4.4	Espectros atômicos.		
4.5	Os postulados de Bohr.		
4.6	O modelo de Bohr.		
4.7	Correção para a massa nuclear infinita.		
4.8	Estados de energia do átomo.		
4.9	Interpretação das regras de quantização.		
4.10	O modelo de Sommerfeld.		
4.11	O princípio da correspondência.		
4.12	Uma critica à antiga teoria quântica.		

Figura 2.6: Sumários com livros com destaque à Dualidade Onda- Partícula.

Podemos perceber a presença explícita da Dualidade Onda-Partícula nos sumários dos dois livros, entretanto ela está em lugares diferentes em cada seqüência. De certa forma tal distinção já fora compreendida pelo fato que o livro de Eisberg e Resnick privilegiarem a Dualidade como um tema central enquanto que o de Tipler e Llewellyn, ao seguir uma ordem mais cronológica, desenvolve a Dualidade posteriormente.

Acreditamos que essa diferença na colocação do conceito na seqüência relaciona-se a diferentes formulações, resultantes de diferentes entendimentos do conceito pelos seus autores. Assim buscamos tais formulações através da leitura e análise dos sub capítulos selecionados acima.

> *(...) Em cada caso obteremos evidências experimentais de que a radiação se comporta como uma partícula em sua interação com a matéria, diferentemente do comportamento ondulatório quando se propaga. No próximo capitulo estudaremos uma generalização desse resultado, devida a de Broglie, que leva diretamente à mecânica quântica.* (Eisberg e Resnick, 1986, p. 51. Cap. 2)

A Dualidade Onda-Partícula é apresentada no texto de Eisberg e Resnick no início do capítulo 2, antes de serem desenvolvidos os fenômenos de interação da luz com a matéria ou mesmo o seu comportamento ondulatório. De certa forma os autores já relacionam nesse primeiro momento a radiação com a matéria e a mecânica quântica através do comportamento dual.

Nessa primeira apresentação já ocorre uma conceituação do que seria a Dualidade, adiantando que ela consiste numa propriedade de todos os entes de se comportarem como partícula na interação e como onda durante sua propagação.

Por outro lado, a conceituação da Dualidade não se encerra nesse momento inicial, ocorrendo outras formulações no decorrer dos capítulos:

> *A hipótese de de Broglie era de que o comportamento dual, isto é, onda-partícula, da radiação também se aplicava à matéria. Assim como um fóton tem associada a ele uma onda luminosa que governa seu movimento, também uma partícula material (por exemplo, um elétron) tem associada a ela uma onda de matéria que governa seu movimento.* (Eisberg e Resnick, 1986, p. 87. Cap. 3.1)

A conceituação acima consiste numa evolução da primeira, ou seja, se antes foi explicado que o comportamento era de partícula durante a interação e de onda na propagação, agora temos uma dualidade que não se restringe a um comportamento, apresentando-se real.

O fóton não aparece apenas na interação com a matéria assim como a radiação não é apenas uma onda quando se propaga. A luz é a união do fóton que tem seu movimento governado por uma onda associada – a união onda e partícula são a luz. Nesta consiste a própria interpretação dada por de Broglie dada à dualidade[5].

Posteriormente ocorre outra conceituação, atribuída explicitamente a Niels Bohr:

> *Quando o ente é detectado por algum tipo de interação, ele atua como partícula no sentido que é localizado; quando está se movendo, age como uma onda, no sentido que se observam fenômenos de interferência, e, obviamente, uma onda tem extensão, e não é localizada.*
>
> *Niels Bohr resumiu a situação em seu 'princípio de complementaridade'. Os modelos corpuscular e ondulatório são complementares; se uma medida prova o caráter ondulatório da radiação ou da matéria, então é impossível provar o caráter corpuscular na mesma medida, e vice-versa. A escolha de que modelo usar é determinada pela natureza da medida. Além disso, nossa compreensão da radiação ou da matéria está incompleta a menos que levemos em consideração tanto as medidas que revelem aspectos ondulatórios quanto as que revelem os aspectos corpusculares. Portanto, radiação e matéria não são apenas ondas ou apenas partículas. Um modelo mais geral e, para a mentalidade clássica, mais complicado, é necessário para descrever seu comportamento, embora em situações extremas possa ser aplicado um modelo ondulatório simples, ou um modelo corpuscular simples.*
>
> *A ligação entre os modelos corpuscular e ondulatório é feita por meio de uma interpretação probabilística da dualidade onda-partícula. No caso da radiação, foi Einstein quem unificou as teorias ondulatória e corpuscular; a seguir, Max Born aplicou um argumento semelhante para unificar as teorias ondulatória e corpuscular da matéria.* (Eisberg e Resnick, 1986, p. 95. Cap. 3.2)

Na última conceituação analisada da Dualidade percebemos que aquela que fora apresentada primeiramente é retomada e ocorre uma explicação desse comportamento com base na interpretação probabilística, ou seja, os entes se propagam como ondas porque elas estão relacionadas à probabilidade de realizarmos determinada medição, na qual percebemos a caráter partícula.

Além disso, relevam a necessidade de pensarmos a radiação e a matéria através da união desses dois *modelos*, e que um modelo único é necessário, mas de difícil compreensão pela mentalidade clássica.

[5] Trata-se de uma das interpretações da Dualidade. Pessoa Jr. (2006).

Diferentemente da conceituação de de Broglie, a de Bohr não afirma nada sobre a realidade dos entes, compreendendo seus comportamentos através de modelos – o comportamento corpuscular e o ondulatório consistem em modelos da física clássica que fazemos uso para descrever os objetos.

Percebemos que os autores se utilizam de diferentes conceituações da Dualidade, sendo algumas conflitantes entre si. Entretanto buscam desenvolver o conceito ao longo de seus capítulos mostrando o que de certa forma segue o desenvolvimento histórico da Dualidade, tratando-a nas perspectiva de Einstein, de Broglie e Bohr.

Em relação ao livro de Tipler e Llewellyn, vimos anteriormente que ele aborda os fenômenos de interação luz-matéria utilizando como base conceitual a quantização da energia, ou seja, são os quanta de luz os responsáveis por tais fenômenos.

A idéia da Dualidade Onda Partícula é mencionada apenas no início do capítulo 5, quando serão apresentadas as idéias de de Broglie e o início da mecânica quântica.

> *(...) Louis de Broglie propôs em sua tese de doutorado que o dualismo onda-partícula, até então reconhecido apenas no caso das ondas eletromagnéticas, era também uma propriedade da matéria, e em especial dos elétrons.* (Tipler e Llewellyn, 2001, p.128. Cap. 5)

Percebemos que a Dualidade é apenas citada e não conceituada, sendo referida como a responsável pelo comportamento ondulatório da matéria, assim como se torna responsável (apenas nesse momento do texto) pelo comportamento corpuscular da radiação.

A conceituação da Dualidade Onda Partícula ocorre apenas ao final do mesmo capítulo.

> *(...) Tanto a matéria como a radiação apresentam aspectos corpusculares e ondulatórios. Quando estamos estudando a emissão ou absorção de energia, os aspectos corpusculares predominam. Quando estamos mais preocupados com a propagação da energia no espaço, os aspectos ondulatórios são predominantes (...). Esta descrição ilustra o fato de que as observações de fenômenos físicos são descritas em termos de aspectos corpusculares. (...). Assim, as previsões, ou seja, estimativas prévias do que vai ser observado, são descritas em termos de aspectos ondulatórios.* (Tipler e Llewellyn, 2001, p. 146. Cap.5.7)

Dela conseguimos compreender que a Dualidade é essa capacidade dos entes de se apresentarem ora como onda e ora como partícula, mas nunca ambos ao mesmo tempo. Além disso, o caráter "onda" está associado às previsões de resultados enquanto que o "partícula" é o comportamento que os entes assumem ao serem medidos, como se eles se propagassem como ondas e interagissem como partículas.

Nesta obra a Dualidade Onda-Partícula é apresentada de forma mais condensada e através de apenas uma formulação. Por outro lado, a conceituação final de ambas as obras assemelham-se – a radiação e a matéria apresentam-se como partícula quando são medidas, mas durante seu movimento a nossa previsão dos resultados, a causalidade, é probabilística, estando relacionada a uma função de onda. A onda é a probabilidade e a detecção é a partícula[6].

Apesar de formulações finais semelhantes, a Dualidade recebeu um maior importância na obra de Eisberg e Resnick, seja por causa da forma como a seqüência é organizada, pela quantidade de vezes que o conceito é abordado e principalmente porque mostra uma Dualidade que não possui uma única formulação, pensada em diferentes momentos do desenvolvimento da teoria quântica. O livro de Tipler e Llewellyn, por outro lado, expõe uma das formulações da Dualidade para explicar o comportamento da luz e da matéria.

2.4. Síntese

É importante deixar claro que os livros foram analisados sem ter como finalidade a comparação, sendo que o objetivo das análises é o de responder à questão inicial: "De que forma os conteúdos são estruturados e abordados?". A compreensão da estrutura dos temas modernos contribui, como decorrência, para o entendimento e superação das dificuldades de aprendizado diagnosticadas no primeiro capítulo.

Tal compreensão, por sua vez, depende do reconhecimento que os marcos de referência representam uma visão sobre os temas modernos. Assim abrem-se duas perspectivas: as considerações sobre o instrumento de análise (os marcos), e a resposta ao questionamento realizado ao início do capítulo.

[66] Trata-se da "versão fraca" da Dualidade Onda-Partícula (Osvaldo Pessoa, 2006).

De acordo com o relatado anteriormente, uma organização de fatos históricos que não tenha como objetivo a própria história recai numa quase história.

Whitaker (1979) desenvolve a concepção de quase-história. Trata-se de uma história linearizada, por vezes com inversões cronológicas e descontextualizada, que é elaborada com a justificativa de facilitar o entendimento dos conceitos, recorrendo a uma compreensão lógica. Em outras palavras, para auxiliar na compreensão, a quase-história omite as relações entre o fazer científico e sua época, os contatos existentes entre os cientistas e a importância da comunidade científica na aceitação e divulgação dos trabalhos.

> (...) discutirei outro tipo de material com aparência histórica, mas no qual há não uma tentativa de comunicar corretamente a história: o objetivo é somente externalizar fatos científicos, e a história está em prover uma estrutura interna na qual os fatos científicos são facilmente apropriados, parecem tomar sentido e ser facilmente lembrados para os propósitos de avaliação. (Whitaker, 1979, p.108)

Parece-nos assim que se incorre na quase-história toda vez que a história é contada com um objetivo que não seja a compreensão da história em si mesma, quando, por exemplo, seus objetivos são de análise, como fora o caso dos marcadores históricos elaborados na primeira parte do capítulo.

Portanto, reconhecemos os limites dos marcadores históricos enquanto instrumentos de análise específicos, criados por uma breve imersão histórica a partir dos livros didáticos e para se olhar esses materiais.

Diante desse quadro, pode-se afirmar que a abordagem oferecida pelos livros de Física Moderna parece-nos como a quase-história, no sentido de que o desenvolvimento da Física Quântica é apresentado mostrando as questões problemáticas que os cientistas enfrentaram, seus experimentos e resultados, mas exclui todos os conceitos intermediários que surgiram antes de uma formulação final, retira todas as hipóteses e experimentos que não deram certo e reduz os créditos a poucos cientistas quando, por vezes, a comunidade científica debruçara-se sobre o problema.

Por outro lado, a história, ao ser apropriada ao campo educacional, isto é, ao ser utilizada para auxiliar o ensino-aprendizado dos conteúdos, sofre em geral uma abordagem quase-histórica. Como a seqüência histórica do desenvolvimento não coincide com as seqüências didáticas, a quase-história consiste numa reescrita que a submete a história à seqüência didática, (...) *a descrição da física é lógica e*

ordenada, a impressão necessariamente dada é que essa seria também a maneira na qual as idéias historicamente surgiram. (Whitaker, 1979, p.109)

A quase-história, quando realizada sobre um livro didático, solapa elementos constituintes da natureza da ciência, isto é, ao mostrarem apenas os percursos "corretos", os conceitos finais e cientistas geniais, implicitamente renegam a física como uma construção humana, que seus conceitos evoluem com o debruçar do pensamento de uma comunidade científica. Um problema presente em tal abordagem, como aponta Whitaker, é que ela é adquirida subconscientemente ao invés de diretamente.

No que se refere à estruturação dos temas modernos, percebem-se diferenças na forma como cada livro apresenta seus conceitos. As diferentes seleções e organizações dos temas revelam conceitos mais importantes que outros, os "conceitos centrais", implícitos, mas que foram perceptíveis através da contraposição das obras.

Parece-nos que os temas expostos consistem em inúmeros fenômenos e idéias que foram encadeados e formulados a partir desses conceitos, o que justifica a estruturação dada aos temas em cada obra.

Portanto: "De que forma os conteúdos são estruturados e abordados?".

A estruturação dos conteúdos da Física Moderna não é única, ou seja, a ordem de apresentação dos temas e as suas formulações são variáveis de um livro didático de ensino superior a outro, apesar do pano de fundo quase-histórico. Por meio da análise, concluiu-se que essas diferenças são causadas por diferentes conceitos centrais, ou seja, pelos temas da Física Moderna que são considerados mais importantes do que outros.

A contrapartida para o aprendizado da existência dos conceitos centrais é o fato que eles não são explicitados nas obras, que em conjunto com a abordagem quase-histórica, constituem possíveis causas para as dificuldades de se perceber os temas relevantes e em estabelecer relações conceituais (e não quase históricas) entre eles.

Além disso, o mesmo conceito recebe diferentes formulações nas obras, que são atribuídas aos mesmos cientistas, dificultando a conceituação do aluno. Acreditamos que no caso da Dualidade Onda-Partícula, um aspecto que influenciou as respostas dos alunos apresentadas no primeiro capítulo foram as diferentes

formulações que o conceito recebeu ao longo dos livros didáticos utilizados/analisados.

O fato dos livros utilizarem a quase-história contribui para o desenvolvimento no professor de uma concepção de que a história da ciência é escrita sobre fatos (e não por meio de versões e com diversas formulações). O que é contradizer a natureza da ciência como resultado da coletividade humana, de seus acertos e desacertos, que dependem do contexto social de cada época.

Trata-se de uma abordagem que ensina implicitamente uma natureza de ciência diversa daquela que, por exemplo, é requerida no Ensino Médio, pois de acordo com as Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais, PCN+, um dos objetivos formativos consiste em *Compreender o conhecimento científico e o tecnológico como resultados de uma construção humana, inseridos em um processo histórico e social* (2002, p.29).[7]

Dessa forma, a figura a seguir apresenta os aspectos levantados em quanto à estruturação do conhecimento da Física Moderna no Ensino Superior, e de que forma merecem atenção durante o processo de ensino aprendizagem em Física.

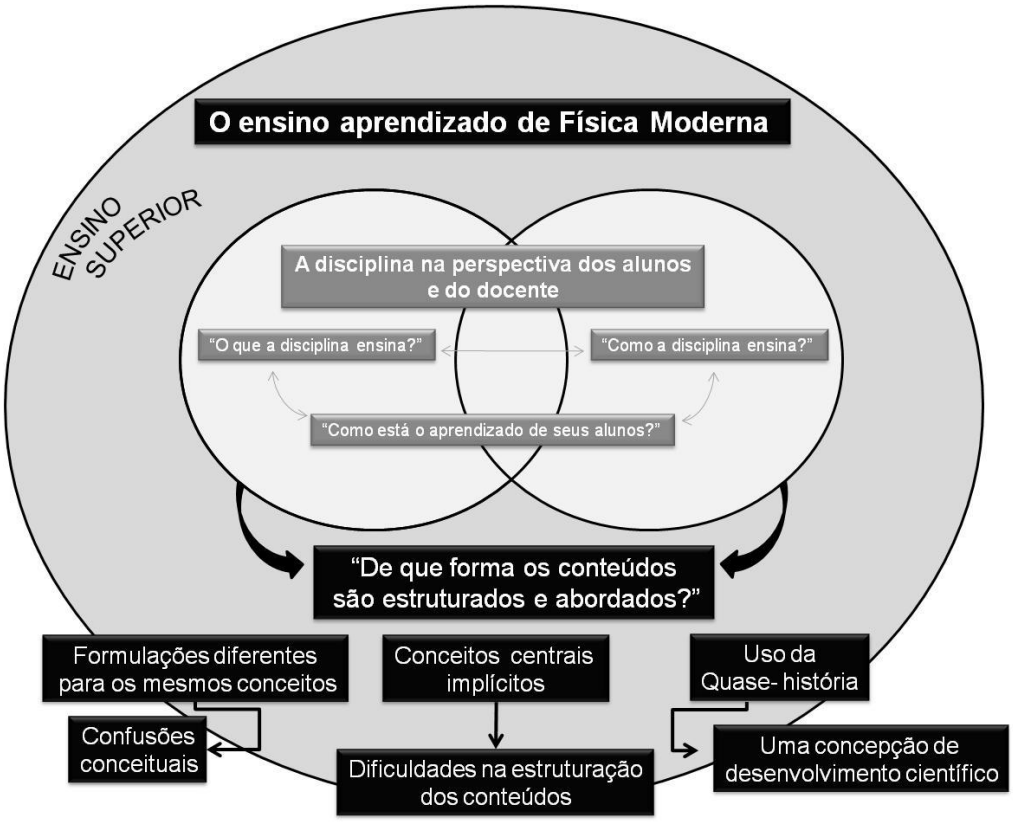


Figura 2.7: Fatores que interferem na estrutura dos conteúdos e que influenciam o aprendizado.

[7] Os parâmetros curriculares nacionais serão retomados amplamente na análise dos livros didáticos do Ensino Médio- capítulo 3.

Por meio dos resultados obtidos, cabe um questionamento semelhante em relação à escola básica, isto é, a compreensão de como o conhecimento da Física Moderna está estruturado no Ensino Médio. Além disso, é necessário um aprofundamento para compreender a origem dos diferentes conceitos centrais, assuntos que são tratados respectivamente nos capítulos 03 e 04.

CAPÍTULO 3. A análise de inserções da Dualidade Onda-Partícula no Ensino Médio

Vimos no capítulo anterior, na compreensão sobre o que é ensinado na disciplina, que os materiais didáticos de ensino superior trazem seleções de conteúdos e abordagens dos temas modernos, assim como dispõem de seqüências diferenciadas. Entretanto, compreender que existe uma seleção e organização de conteúdos na disciplina não implica necessariamente numa seleção e organização dos temas no Ensino Médio.

O presente capítulo trata da uma nova esfera de ensino-aprendizado da Física Moderna que consiste na sua estruturação na escola básica, expresso na figura a seguir:

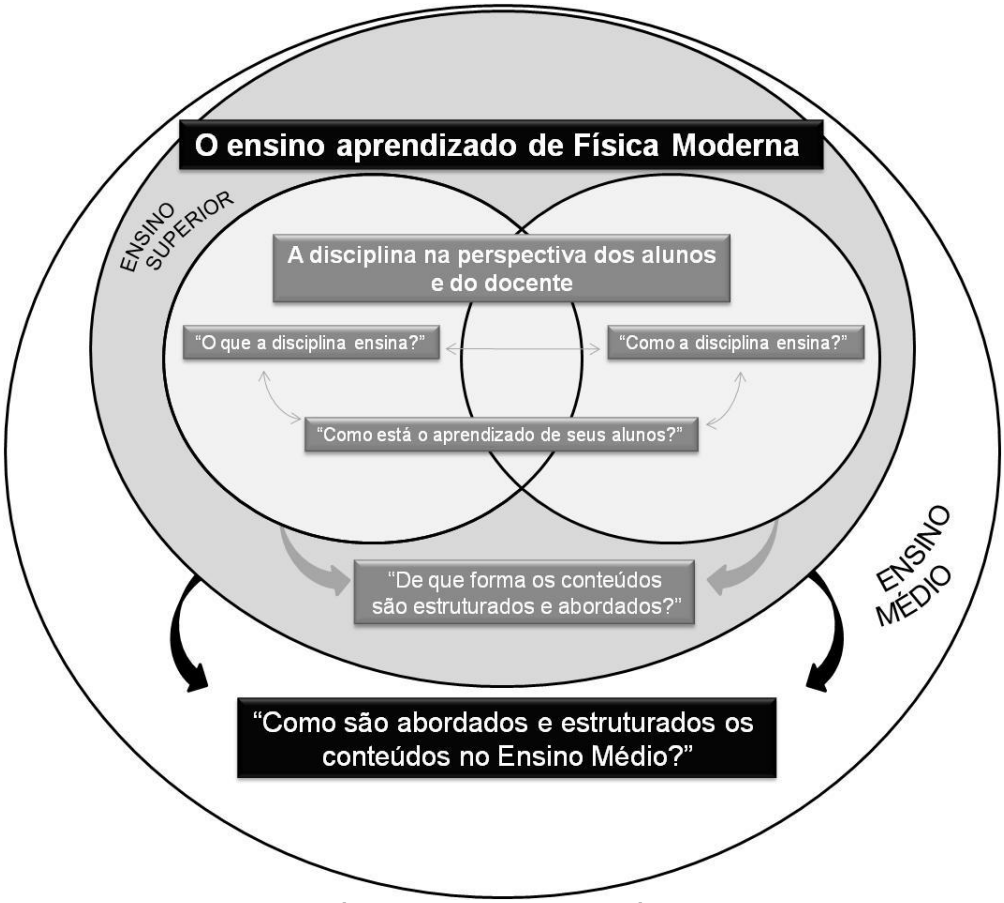


Figura 3.1: Articulação entre o diagnóstico da disciplina e a análise de propostas que inserem a Física Moderna no Ensino Médio.

Assim apresentamos nesse capítulo um aprofundamento da Física Moderna no Ensino Médio, realizado através da análise de propostas de ensino para

compreendermos de que maneira os temas da Física Moderna estão estruturados.

Novamente, como a Física Moderna é constituída por um vasto conteúdo, olharemos como os livros didáticos e as pesquisas acadêmicas inserem a Dualidade Onda-Partícula nas suas propostas para o Ensino Médio. Olharemos a dualidade quanto a sua presença ou ausência nos materiais, o local a ela reservado na seqüência dos conteúdos e a formulação que recebeu. Além disso, a análise considera as justificativas dos respectivos autores para a seleção, organização e formulação presentes em suas propostas.

Para responder à questão: "Como são abordados e estruturados os conteúdos no Ensino Médio?", a síntese retoma a análise realizada e a relaciona aos Parâmetros Curriculares Nacionais (Brasil, 2002) e aos resultados do capítulo anterior.

No processo de seleção dos livros didáticos consideramos algumas pesquisas sobre os conteúdos de Física Moderna presente nos livros de Ensino Médio[8], sendo que nos detivemos inicialmente no levantamento realizado por Valente (2009) e nos aprofundamos em dois dos livros destacados pela autora.

Quanto às propostas realizadas pelas pesquisas da área, selecionamos duas destinadas ao Ensino Médio que tratam especificamente da Dualidade Onda-Partícula.

O critério para a seleção dos livros e das propostas foi o de possibilitar maior diversidade na localização e formulação do conceito da dualidade.

3.1. Livros didáticos.

O levantamento de Valente (2009) contou com nove publicações freqüentemente usadas por professores de Ensino Médio do Estado de São Paulo que concentram a Física Moderna em um capítulo ao final da obra[9]. Através de sua tabela 2.2 (Valente, 2009, p. 42) pode-se perceber que sete livros[10] apresentam

[8] Valente (2009), Brockington (2005); Monteiro e Nardi (2008); Melo e Cruz (2008); Colbert (2004); Immich, Terrazzan e Nascimento (2005); Dias e Alves (2007); Canato Jr. (2003).

[9] Atualmente existem duas tendências para a inserção da Física Moderna nos livros didáticos do Ensino Médio, sendo uma deixar seus temas concentrados num capitulo final e a outra é pulverizá-la ao longo do livro, como uma atualização do conhecimento. Ver VALENTE, BARCELLOS, SALEM e KAWAMURA, 2007.

[10] Os livros são Amaudi, 1995; Bonjorno *et. al.*, 2003; Cabral e Lago, 2002; Gaspar, 2003; Ramalho *et. al.*, 2003; Sampaio e Calçada, 2003 e Paraná, 2003 *apud* Ligia VALENTE, 2009, p. 38.

explicitamente a Dualidade Onda-Partícula, mostrando que se trata de um conceito considerado relevante aos autores.

Tomamos as seqüências de temas da Física Moderna das respectivas obras através da mesma tabela, a qual traduzimos abaixo de acordo com o nosso olhar:

	Seqüência							
1	Corpo Negro	Planck	Efeito Fotoelétrico	**Dualidade**	Modelos Atômicos			
2	Corpo Negro	Planck	Efeito Fotoelétrico	Efeito Compton	**Dualidade**	Modelos Atômicos	Incerteza	
3	Corpo Negro	Planck	Efeito Fotoelétrico	Modelos Atômicos	**Dualidade**			
4	Efeito Fotoelétrico	**Dualidade**	Raios X	Corpo Negro	Planck	Modelos Atômicos	de Broglie	Incerteza
5	Planck	Efeito Fotoelétrico	**Dualidade**	Modelos Atômicos	De Broglie	Incerteza		
6	Efeito Fotoelétrico	Modelos Atômicos	de Broglie	**Dualidade**	Incerteza			
7	Corpo Negro	Raios X	Planck	Efeito Fotoelétrico	**Dualidade**	de Broglie	Modelos Atômicos	Incerteza

Figura 3.1 As seqüências de temas de Física Moderna presentes em livros de Ensino Médio.

Podemos identificar por meio dessa amostragem diferentes seleções e encadeamentos para os temas da Física Moderna. Além da dualidade, o efeito fotoelétrico e os modelos atômicos estão presentes em todas as obras enquanto raios X, efeito Compton e as ondas de de Broglie são temas minoritários.

Algumas seqüências inserem a Dualidade Onda-Partícula após os fenômenos de interação entre a luz e a matéria enquanto outros desenvolvem o tema em seguida de Modelos Atômicos ou mesmo após abordar as ondas de matéria de de Broglie.

Isso nos mostra que os conteúdos para serem levados ao Ensino Médio não sofrem uma simples transposição de algum referencial acadêmico, posto que não evidenciamos a presença dos mesmos temas nem das mesmas seqüências dos livros didáticos de Ensino Superior.

Assim selecionamos duas obras dos mesmos autores presentes no levantamento supracitado: Ramalho *et al* e Sampaio e Calçada (obras no. 5 e 6), porém em suas versões mais atuais[11] e em três volumes. Com essa mudança pudemos verificar um seqüenciamento dos temas diferente das versões anteriores, ou seja, a estruturação do conhecimento da Física Moderna nas obras não se mantém de uma edição à consecutiva.

[11] Francisco RAMALHO; Nicolau Gilberto FERRARO; Paulo Antônio de Toledo SOARES. Os fundamentos da física 3. 9ªed. rev. e ampl. São Paulo: Moderna, 2007. José Luiz SAMPAIO e Caio Sérgio CALÇADA. Universo da Física 3. 2ª. ed. São Paulo: Atual, 2005.

Sampaio e Calçada. Cap. 19 – Mecânica Quântica. (2005)	Nicolau, Ramalho e Soares. Cap. 19 – Física Quântica. (2007)
A radiação do corpo negro	Teoria dos *quanta*
O fóton	Efeito fotoelétrico
O efeito fotoelétrico	Célula fotoelétrica
Dualidade Onda-Partícula	O átomo de Bohr
O átomo de Bohr	A natureza dual da luz
A Mecânica Quântica	Dualidade Onda-Partícula: a hipótese de de Broglie
	Princípio de Incerteza, de Heisenberg

Figura 3.3: As seqüências de temas de Física Moderna presentes nos livros de Ensino Médio analisados.

Também podemos perceber uma seqüência de temas diferente entre as obras selecionadas: na colocação dos modelos atômicos antes ou depois da Dualidade Onda-Partícula. Veremos, pela leitura, se há diferenças nas formulações do conceito dual, se de alguma forma a diferença no encadeamento dos temas as influencia e se conseguimos obter indícios dos valores atribuídos aos conceitos pelos autores ao realizar sua seleção e organização.

Com a leitura integral dos capítulos acima referidos, pudemos identificar alguns trechos que se referem especificamente à Dualidade Onda-Partícula. O conceito é introduzido pela primeira vez nos livros em seguida do Efeito Fotoelétrico.

> *Alguns comportamentos da luz (e das radiações em geral) podem ser explicados supondo-se que ela seja uma onda. No entanto, outros comportamentos só podem ser explicados supondo-se que ela seja formada por um feixe de partículas (fótons). Mas, afinal, o que é a luz?*
>
> *Hoje aceitamos a dupla natureza da luz, fato chamado de dualidade onda-partícula. Para entender essa situação, o físico dinamarquês Niels Bohr (1885-1962) propôs o princípio de complementaridade:*
>
> *'Em cada evento a luz comporta-se como partícula ou onda, mas nunca como ambas simultaneamente'.* (Sampaio e Calçada, p. 478)

Vemos que a obra lança a questão sobre a natureza da luz, entretanto não a responde. A Dualidade Onda-Partícula parece ser aceita – não compreendida, porque o texto explica a natureza da luz como algo que se comporta (ou que pode ser explicada) como partícula ou como algo que se comporta como onda, dependendo do 'evento'.

Aos seus autores bastou relatar o comportamento da luz como dual. Tal concepção representa uma tendência positivista, na mesma linha da Complementaridade de Bohr, apesar do último ser mais complexo que o enunciado

pelos autores do livro didático, além de não ser restrito à dualidade da radiação. Em relação à Dualidade da radiação presente na obra de Ramalho e Soares:

> *(...) no caso da luz, foi a primeira vez em que duas teorias, completamente diferentes, são simultaneamente necessárias, completando-se mutuamente.*
>
> *Para conciliar tais fatos, apresentou-se a natureza dual da luz, isto é, em determinados fenômenos, a luz se comporta como se tivesse natureza ondulatória e, em outros, natureza de partícula.*(...).
>
> *As duas teorias da natureza da luz se completam; cada teoria por si só é correta para determinado fenômeno, não existindo fenômenos luminosos que nenhuma delas possa explicar.* (Nicolau, Ramalho e Soares, p. 442).

Novamente temos uma conceituação da Dualidade Onda-Partícula positivista, que faz uso apenas dos comportamentos, ora de onda, ora de partícula, de acordo com o fenômeno, para explicar a natureza da luz.

Em seqüência, apesar de denominações diferentes, os tópicos novamente versam sobre os mesmos assuntos. As obras adentram na investigação sobre a natureza da matéria.

> *Vimos que a luz às vezes se comporta como onda e às vezes se comporta como partícula. Em 1924, o físico francês Louis De Broglie propôs que as partículas materiais em movimento também poderiam se comportar como onda.*(...).
>
> *Mas o que isso significa? Isso significa que no mundo microscópico, o comportamento das partículas é descrito por equações que são semelhantes às equações que descrevem as ondas.* (...)
>
> *Porém, no mundo microscópico não há mais certezas. Quando vamos analisar o que acontece com um elétron em um átomo, por exemplo, as equações não fornecem a posição exata nem a velocidade exata do elétron. O que as equações nos fornecem é apenas a probabilidade de o elétron estar numa posição ou ter uma determinada velocidade.* (Sampaio e Calçada, p. 480-1).

A obra não explicita a Dualidade, relatando o comportamento das partículas segundo de Broglie. A discussão sobre o comportamento ondulatório das partículas é reduzida a uma formulação que se assemelha ao Princípio de Incerteza, além de ficar restrito ao mundo microscópico e a consistir numa descrição matemática semelhante a que utilizamos para as ondas.

> *Em 1924, o físico Louis De Broglie lançou a hipótese de que, se a luz apresenta natureza dual, uma partícula pode comportar-se de modo semelhante, apresentando também propriedades ondulatórias.*
>
> (...)
>
> *Segundo as leis clássicas de Newton, uma onda era uma perturbação propagando-se e uma partícula, um objeto material localizável. Todavia, fótons e elétrons não são entidades clássicas, não se devendo aplicar-lhes tais idéias. Um fóton não é nem uma onda nem uma partícula; é uma entidade que tem as características de onda e partícula, o mesmo acontecendo com um elétron.*
>
> *O advento da Mecânica Quântica não forneceu apenas uma descrição exata dos fenômenos atômicos. Com ela alterou-se profundamente a maneira de encarar a Natureza, de modo que, agora, pensa-se em termos de probabilidade, e nunca em termos de certeza.* (Nicolau, Ramalho e Soares, p. 442-3).

O aspecto ondulatório das partículas é citado, mas não há nenhum desenvolvimento posterior sobre de que forma esse aspecto é observado. De maneira semelhante ao que ocorre no livro anterior, a Dualidade Onda-Partícula não está presente no texto, enfatizando-se a questão da incerteza.

Por outro lado, essa obra desenvolve mais a natureza dos entes se comparada à outra, porque não se restringe ao comportamento dual e chega a afirmar que os fótons e os elétrons não são onda nem partícula: *Um fóton não é nem uma onda nem uma partícula; é uma entidade que tem as características de onda e partícula, o mesmo acontecendo com um elétron* (Nicolau, Ramalho e Soares, p. 442-3).

Os autores preferem a opção de apresentar a probabilidade aos alunos pelo Princípio de Incerteza do que pela interpretação física dada ao que seria a onda do elétron, ou seja, pela Dualidade Onda-Partícula.

Não podemos apenas julgar os trechos apelando para falhas conceituais dos autores, nem podemos resumir as questões surgidas tratando os autores como ignorantes da Física Moderna, posto que isso seria infantilizar nossa discussão e assumir que as fontes de conhecimento e suas formulações são extremamente rígidas.

Vale ressaltar que nossa análise se concentra na estruturação do conteúdo da Física Moderna presente nos livros. Pareceu-nos que para eles a Dualidade

Onda-Partícula é um conceito que explica melhor a luz, não a sua natureza, mas o seu comportamento.

Ao invés de considerarem a Dualidade Onda-Partícula como um entendimento final da questão dos comportamentos da radiação e da matéria (o que os levaria a discutir a onda do elétron), os livros utilizam o conceito dual como gancho para desenvolver a mecânica quântica, mas omitem as ondas de elétron e introduzem a probabilidade pelo Princípio de Incerteza.

Dessa forma, uma primeira aproximação à forma como o conhecimento da Física Moderna está estruturado no Ensino Médio mostra que diversas são as seleções e organizações apresentadas pelos livros didáticos. Além de serem diferentes comparando-se as obras de diferentes autores, a diferença também ocorre entre duas edições seguidas da mesma obra.

Tendo-se em vista as estruturas evidenciadas nos livros didáticos de Ensino Superior, é perceptível a pouca aproximação com o encadeamento dos temas no Ensino Médio.

Em outras palavras, a seleção e organização da Física Moderna no Ensino Médio não está estabelecida e as estruturas presentes não se configuram como uma transposição didática do que é tratado no Ensino Superior.

Quanto à abordagem da Dualidade Onda-Partícula, temos a presença do conceito sempre após o Efeito Fotoelétrico, a somente citação do caráter ondulatório da matéria e as diferentes formulações dadas ao conceito dual.

Entretanto, as justificativas das seleções e organizações realizadas pelos autores não se fazem explícitos na obra ou no manual do professor. Podemos pensar se as diferenças entre as seqüências dos livros são porque um conhecimento físico é mais importante do que outro, porque é mais interessante, ou porque, ao realizar determinada seqüência, o autor acredita que está apresentando o conhecimento com melhor progressividade.

Uma outra possível razão para as estruturas encontradas nos livros do Ensino Médio é levantada por Valente (2009), segundo a qual a ênfase desses materiais encontra-se nos temas passíveis de alguma matematização.

Segundo essa perspectiva, a Dualidade Onda-Partícula deixa de ser central em detrimento de temas como o Efeito Fotoelétrico ou o Princípio de Incerteza, que possuem relações matemáticas associadas e são os conceitos centrais da Física Moderna no Ensino Médio.

Assim, a inserção da Dualidade Onda-Partícula sempre em seguida do Efeito Fotoelétrico pode ser uma tentativa de responder ao aparente paradoxo da luz ser onda e partícula, ou seja, a Dualidade é elencada para atender ao Efeito Fotoelétrico, conceito central.

Em relação ao comportamento ondulatório da matéria ser apenas citado e a escolha do Princípio de Incerteza para a finalização dos capítulos, um possível motivo é a matematização associada ao princípio.

As formulações conferidas pelos livros de Ensino Médio e o local destinado ao conceito são diferentes em relação ao apresentado no Ensino Superior. Enquanto no último caso a Dualidade é utilizada como conceito síntese, finalizando os capítulos, nos livros do Ensino Médio o conceito é utilizado para explicar o comportamento da luz e não é explicitado ao se abordar o comportamento da matéria, explicado pelo Princípio de Incerteza. A Dualidade no Ensino Médio não se caracteriza como o conceito síntese, assim como nenhum tema é utilizado para colocar luz e matéria no mesmo quadro conceitual.

3.2. Propostas acadêmicas.

Recorremos agora a propostas acadêmicas que buscam inserir a dualidade no Ensino Médio. Apesar de existir uma boa quantidade de trabalhos sobre a Física Moderna, poucos abordam a temática de nosso interesse e apresentam propostas para sua inserção. Selecionamos duas: uma se faz presente na dissertação de mestrado de Aline Picoli Sonza (2007) e a outra na de Guilherme Brockington (2005). Elas foram escolhidas pelo mesmo motivo que realizamos a seleção nos livros didáticos, buscando uma maior diversidade na localização e formulação da Dualidade Onda-Partícula.

As propostas acadêmicas possuem um diferencial em relação aos livros didáticos para a nossa análise. Em relação aos livros tivemos que levantar hipóteses sobre suas justificativas, o que acreditamos não ser necessário realizar nas propostas acadêmicas, fruto de reflexões sobre o ensino, esperando que existam ao longo da dissertação justificativas de seleção, organização e conceituação.

As seqüências de tópicos de Física Moderna das propostas estão a seguir:

Sonza (2007)	Brockington (2005)
Radiação solar	Modelos no Cotidiano e na Física
Radiação dos corpos	Ondas e Partículas
Efeito fotoelétrico	Introdução às Propriedades Magnéticas e Elétricas da Matéria
Dualidade Onda-Partícula	Breve Discussão Sobre Campos: Elétrico, Magnético e Gravitacional
	O Campo Eletromagnético e a Indução Eletrostática
	Ondas Mecânicas e a Luz Como Onda Eletromagnética
	Luz: Cor e Visão
	Espectroscopia
	O Modelo Atômico de Bohr
	O Efeito Fotoelétrico
	Dualidade Onda Partícula

Figura 3.4: As seqüências de temas de Física Moderna presentes nas propostas acadêmicas analisadas para o Ensino Médio.

Uma diferença entre as propostas analisadas é a de que enquanto Sonza discrimina a necessidade de pré-requisitos (conhecimentos sobre ondas eletromagnéticas, interferência e difração), Brockington os desenvolve no interior de sua proposta, sendo os tópicos de Física Moderna os finais.

Pela leitura dos tópicos temos a sensação de que apenas a luz é apresentada como detentora da natureza dual devido à apresentação do conceito em seguida do efeito fotoelétrico, e nesse aspecto as propostas acadêmicas se aproximam dos livros didáticos.

Por outro lado, vemos que pelos sumários das propostas acadêmicas que elas não avançam no comportamento da matéria, assim em ambas a Dualidade Onda-Partícula aparece como conceito final a ser desenvolvido, como aquele sintetizador de toda proposta.

Por meio da leitura das duas dissertações buscamos as justificativas para a escolha e organização dos temas cima propostos. Ao longo de sua dissertação, Sonza aponta que tem como objetivo a inserção da Física Moderna relacionada ao cotidiano dos alunos e que com isso espera uma maior participação e interesse pelas aulas de Física. O seu foco está na abordagem dada aos conceitos e não em quais são e seu encadeamento.

> Vale a pena ressaltar que este Módulo Didático tem a função de trabalhar conceitos de forma teórica e por meio de reflexões presentes nas atividades, fazer uma conexão com fenômenos do cotidiano dos alunos. (Sonza, p. 53).

> Os tópicos abordados serão: radiação dos corpos, efeito fotoelétrico e dualidade onda-partícula os quais são sugeridos pelo currículo básico do PEIES. (Sonza, p. 41-2).

Anteriormente, quando realizamos a análise dos livros didáticos, ressaltamos essa característica, presente em todas as seqüências, de se introduzir o Efeito Fotoelétrico logo antes da Dualidade Onda-Partícula. Naquele momento, interpretou-se a partir das formulações que a Dualidade segue o Efeito apenas com o objetivo de explicá-lo. Por outro lado, Sonza (2007) explicita a função do Efeito Fotoelétrico para a discussão da Dualidade:

> Consideramos que a discussão da natureza da luz a partir do efeito fotoelétrico revela-se fundamental para a apresentação da dualidade onda-partícula de forma coerente, inteligível e, principalmente, sem dogmatismo, pois neste momento os alunos têm condições de perceber o impasse gerado por essa explicação totalmente contraditória com tudo que fora estudado até aquele momento. (p. 160).

Dessa maneira, a primeira aproximação ao conceito da Dualidade Onda-Partícula ocorre em seguida do tratamento do Efeito Fotoelétrico.

> *(...) somente em 1923, por meio de um experimento realizado pelo físico Arthur Compton, ficou comprovada a natureza dual da luz. Ou seja, a luz pode se comportar como onda ou como partícula depende da forma de observação que é utilizada no experimento.*
>
> *Em 1924, Louis de Broglie sugeriu, que não só a luz possui comportamento dual, mas toda a matéria. E, em um intervalo de dois anos, surge uma teoria completa da "Mecânica Quântica".* (Sonza, p. 73).

Já a formulação final oferecida à Dualidade diverge da oferecida pelos livros didáticos:

> *Segundo o princípio da complementaridade, o modelo ondulatório e o modelo corpuscular são complementares: se uma medida prova o caráter ondulatório de uma partícula, a mesma medida não pode provar seu caráter corpuscular, e vice-versa. A escolha do modelo a aplicar é determinada pelo caráter de medida. Além disso, a compreensão de uma partícula está incompleta a menos que se leve em conta tanto o seu caráter ondulatório quanto o seu caráter corpuscular.* (Sonza, p.88)

Trata-se de uma conceituação próxima do Princípio de Complementaridade de Bohr em sua versão forte, na qual o fenômeno (conjunto aparelho de medida mais os entes quânticos) pode ser enquadrado num modelo clássico de onda ou de partícula.

Por outro lado, no texto da dissertação de Brockington se fazem presentes as justificativas a sua proposta:

> Nossa intenção era a de introduzir alguns conceitos da Física Quântica a partir de uma seqüência didática que permitisse apresentar aos estudantes a dualidade onda partícula, revelando assim as características estranhas e deslumbrantes acerca da natureza da luz.
>
> Com isso, desejávamos que os alunos pudessem ter um entendimento, mesmo que pequeno, sobre os problemas físico/epistemológicos enfrentados pela Teoria Quântica. (p.127).

A Dualidade Onda-Partícula é inserida pela proposta do autor pela relevância que possui no contexto interno da física. Seu intento é por meio da dualidade desenvolver questões epistemológicas da Física Moderna e com isso aprofundar-se na natureza da física. Dessa forma, as justificativas da escolha pela dualidade são restritamente associadas a uma determinada visão da ciência.

O encadeamento dos temas, apresentado anteriormente também se faz justificado:

> Nossa principal intenção era a de que a estrutura por nós criada possuísse uma seqüência didática que culminasse nas implicações filosóficas e epistemológicas geradas pelas interpretações da dualidade onda-partícula. Com isso em mente, seria preciso traçar uma trajetória, buscar o melhor caminho possível para fazer a inserção dos conceitos desejados. Porém, não sabíamos de onde partir. Passamos, então, a procurar quais seriam os “marcadores” deste caminho.
>
> (...)
>
> Assim, estes “marcadores” atuaram como pontos de intersecção da nova estrutura gerada, permitindo, por exemplo, refazer os trajetos que unem os conceitos, bem como fornecer indícios sobre outros caminhos. (p.158)

Percebe-se que toda a seqüência didática foi selecionada e elaborada com o objetivo de tornar possível o aprendizado da Dualidade Onda-Partícula pelos alunos. Sua opção vai contra a forma tradicional/histórica como os temas são ensinados.

> Na construção de nosso curso, foi necessário que fizéssemos desvios cronológicos. Por exemplo, a questão da quantização proposta por Planck aparece, de alguma maneira, no próprio átomo de Bohr. Ou seja, apresentamos Planck através de Bohr, havendo aqui uma inversão histórica importante.
>
> (...)
>
> Assim, foi necessário que fizéssemos tais desvios, pois o nosso compromisso era com os marcadores. Os outros saberes e atividades são inseridos de forma que possam fazer sentido dentro da nova estrutura gerada, mesmo que estes não estejam historicamente conectados na ordem por nós exposta.
>
> (...)
>
> Assim, a estrutura que será apresentada aos alunos é uma estrutura regida também por uma lógica didática. Porém, o aluno deve, explicitamente, saber que os elementos desta estrutura estão dispostos fora da ordem de seu desenvolvimento. E, é preciso que ele perceba que isso foi feito para criar uma seqüência plausível, necessária para ser mais facilmente apreendida. (p.163).

Brockington destaca o papel dos marcadores dentro da lógica didática, segundo os quais elaborou sua proposta. Eles revelam como foram estruturados os conhecimentos, tanto os modernos, como os pré-requisitos necessários da Física Clássica.

O texto da proposta apresenta-se coerente com o sumário no sentido de que os feitos de Planck não são citados (posto que o autor optou explicitamente por não tratar a radiação de corpo negro), nem os trabalhos de de Broglie, porque a natureza dual da matéria não é objetivo da proposta.

Destacamos tal coerência porque nas demais obras analisadas muitas vezes são citados os feitos de de Broglie e o dual da matéria sem a intenção de desenvolver a Dualidade da matéria.

Como primeira conceituação dual da proposta:

> *No mundo da física as coisas são bem diferentes: as duas formas de apresentar as "coisas" da física são onda e partícula. São formas opostas que não podem, na física clássica, pertencer simultaneamente ao mesmo objeto.* (p. 6).

Atribuímos a diferença na relação entre a Dualidade Onda-Partícula e o Efeito Fotoelétrico às formulações recebidas pela dualidade. Se nas propostas anteriores nos pareceu que o conceito tinha a função de sanar questionamentos originados com o efeito fotoelétrico, na proposta de Brockington a formulação do conceito dual é diferente.

> *1. Interpretação ondulatória:*
>
> *Um fóton é uma onda, um "pacote de onda". Com isso, talvez o fóton possa de dividir em dois "meios fótons" ao chegar em S1 e esses se recombinariam em S2, como prevê a física clássica.*
>
> *Porém nenhum experimento feito até hoje foi capaz de detectar um "meio-fóton"...*
>
> *2. Interpretação corpuscular:*
>
> *O fóton é uma partícula. Esse experimento que mostramos não é bem explicado por essa interpretação.*
>
> *Uma saída possível é dizer que a lógica existente no mundo quântico é uma lógica diferente do mundo macroscópico.*
>
> *Com isso, o "ou" seria diferente e uma coisa poderia ser e não ser ao mesmo tempo.*
>
> *3. Interpretação dualista realista:*
>
> *A luz é um objeto quântico, que é composto por duas partes: o fóton e sua onda associada. Assim, o fóton segue uma trajetória, A ou B, mas sua onda se divide em duas partes, seguindo por A e B ao mesmo tempo.*
>
> *A partícula seria como um surfista, que só navega onda há onda. Como as ondas se cancelam próximas ao detector D2, o fóton é obrigado a seguir para D1.*
>
> *4. Interpretação da complementaridade:*
>
> *Um fenômeno pode ser ondulatório ou corpuscular, nunca os dois ao mesmo tempo.*
>
> *O experimento que vimos é um fenômeno ondulatório, já que não segue um caminho bem definido. Assim, não faz sentido perguntar onde está o fóton.* (p. 8).

Essa proposta traz interpretações para se compreender o fato da luz de ora se comportar como onda e ora como partícula, ou seja, discute-se a sua natureza. As interpretações são introduzidas no sentido de discutir a própria Dualidade e a natureza da ciência – tanto que o autor escreve na defesa de uma abordagem realista para o dual, e não a abordagem positivista fraca, presente nas demais propostas analisadas.

Vimos que os conceitos centrais da estruturação realizada por Brockington são justificados ao longo de sua dissertação. Diferentemente dos demais materiais, o autor também aborda os conceitos da Física Clássica que serão relacionados aos temas modernos.

Considera a Dualidade Onda-Partícula como conceito central, explicitando que tem como objetivo discutir as implicações filosóficas e epistemológicas causadas pelas interpretações da Dualidade.

Já Sonza é menos enfática quanto à importância do conceito dual, mas considera o Efeito Fotoelétrico como o meio mais proveitoso de se discutir o comportamento dual da luz.

Diferentemente dos livros didáticos de Ensino Médio, as propostas destacam a Dualidade Onda-Partícula como conceito central, dispondo o tema como o último a ser tratado. Outra diferença se refere à abordagem do comportamento da matéria, que não ocorre nas propostas acadêmicas e é abordado nos livros didáticos pelo Princípio de Incerteza.

Novamente, se compararmos as propostas acadêmicas com os livros didáticos de Ensino Superior, é perceptível a pouca aproximação entre o encadeamento dos temas nesses dois níveis de ensino.

3.3. Síntese

Relacionaremos a análise dos materiais com os aspectos destacados ao início do capítulo, que se referem à presença e lugar da Dualidade Onda-Partícula nas propostas de ensino, assim como as formulações recebidas e as justificativas dos autores. Além disso, também nos propomos a relacionar o desenvolvido nas propostas com os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN^+) para responder à questão: “Como são abordados e estruturados os conteúdos no Ensino Médio?”.

Do ponto de vista dos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (2002), a Dualidade Onda-Partícula consiste em um conteúdo que compõe o tema estruturador “Matéria e radiação”. Segundo as seqüências sugeridas pelos Parâmetros, tal tema é desenvolvido no último ano do Ensino Médio. Dessa forma a proposição da Dualidade Onda-Partícula e temas correlatos presente ao final dos livros e propostas vai ao encontro dos Parâmetros, com exceção da proposta de Sonza, que é destinada ao segundo ano do Ensino Médio.

Por outro lado, os PCN^+ propõem unidades temáticas para compor o tal tema estruturador, que acabam por formar uma seleção e organização dos temas modernos diferente das propostas e dos livros.

Dentro do tema “Matéria e Radiação” temos as unidades: “Matéria e suas propriedades”, “Radiações e suas interações”, “Energia nuclear e radioatividade” e “Eletrônica e Informática”. Analisando seus conteúdos de forma pormenorizada, encontramos a Dualidade Onda-Partícula no interior da unidade “Radiações e suas

interações", ao se objetivar a compreensão sobre *os processos de interação das radiações com meios materiais para explicar os fenômenos envolvidos em, por exemplo, fotocélulas, emissão e transmissão de luz, telas de monitores, radiografias.*(BRASIL, 2002, p.78).

As seqüências presentes nos materiais contemplam parcialmente a proposta da unidade temática, porque desenvolvem a forma como a radiação interage com a matéria, mas nem todos apresentam aplicações voltadas à tecnologia e ao cotidiano.

Podemos perceber que os conteúdos associados ao comportamento ondulatório da matéria não são destacados pelos PCN$^+$. Tais conteúdos se fazem presentes nos livros didáticos, mas não nas propostas acadêmicas, mostrando uma maior aproximação das destas aos PCN$^+$, enquanto os livros didáticos aproximam-se dos materiais de Ensino Superior.

Os Parâmetros também propõem competências a serem desenvolvidas pelos alunos do Ensino Médio em Física. Analisando-se as competências contempladas nos materiais (dados em anexo), vemos que os livros didáticos contemplam o uso dos símbolos e nomenclaturas das grandezas físicas, assim como suas unidades de medida, as relações matemáticas existentes entre as grandezas e entre suas unidades na resolução de problemas.

São apresentados ao longo do texto e em exercícios gráficos, tabelas e diagramas que devem ser interpretados. Temos a presença de princípios de conservação de energia e momento linear, bem como o entendimento de modelos explicativos dos fenômenos, especificamente a partir do desenvolvimento histórico da Física Moderna.

Em relação aos textos e atividades presentes nas propostas acadêmicas, temos uma ampliação de competências desenvolvidas em relação às presentes nos livros didáticos. Nas propostas é demandado que o aluno construa tabelas e gráficos, são pedidas a leitura e interpretação de simulações, a escrita do entendimento sobre fenômenos e o desenvolvimento de modelos explicativos.

As competências presentes nos PCN$^+$ referem-se a todos os conteúdos da Física. Se as relacionarmos às justificativas da área de pesquisa em Ensino de Física para a inserção da Física Moderna no Ensino Médio, vemos que as propostas e os livros didáticos não refletem (ou apenas parcialmente) as justificativas da pesquisa, nem as competências associadas à importância das especificidades da

Física Moderna para a formação do aluno[12]. Apesar das várias competências presentes nos materiais, elas consistem nas mesmas competências desenvolvidas pelos conteúdos da Física Clássica.

Em relação à Dualidade Onda-Partícula, não se sabe ao certo qual o seu propósito em alguns os materiais, do porquê que a Dualidade da matéria não é aprofundada nas propostas acadêmicas ou por que os livros preferem abordá-la pelo Princípio de Incerteza.

Ao invés de considerarem a Dualidade Onda-Partícula como um entendimento final da questão dos comportamentos da radiação e da matéria, os livros utilizam o conceito dual para desenvolver a mecânica quântica. A Dualidade Onda-Partícula deixa de ser central em detrimento de temas como o Efeito Fotoelétrico ou o Princípio de Incerteza, possivelmente porque possuem relações matemáticas associadas, tornando-se os conceitos centrais da Física Moderna nos livros didáticos do Ensino Médio.

Por outro lado, as propostas destacam a Dualidade Onda-Partícula como conceito central, dispondo o tema como o último a ser tratado, e explicitam as razões de suas escolhas.

[12] Os motivos mais considerados são a importância da inserção da Física Moderna no Ensino Médio pela influência dos seus conceitos na tecnologia e na sociedade contemporânea (Terrazan,1992), porque traz uma ampliação dos fenômenos compreendidos e pela relevância histórica interna que tal desenvolvimento propiciou (Pinto & Zanetic, 1999) , no sentido que não basta ensinar a ciência, mas também sobre a ciência (Gil et al., 1987 apud Ostermann & Moreira, 2000).

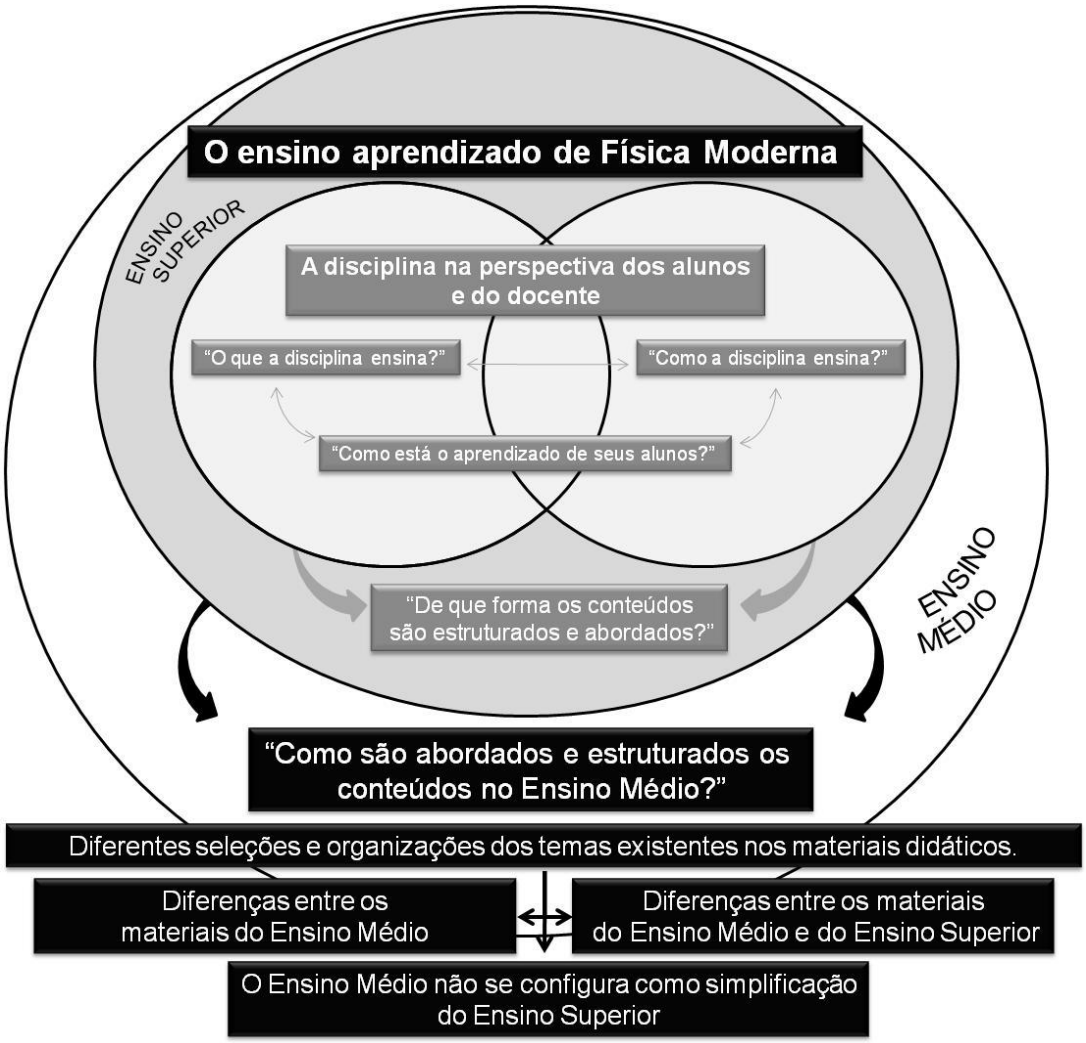


Figura 3.5: As diferentes seleções e organizações dos conteúdos nos materiais didáticos de Física Moderna no Ensino Médio.

A partir da figura, destaca-se que as estruturações dos conceitos da Física Moderna presentes nos materiais didáticos destinados ao Ensino Médio são diversas entre si (e entre duas edições da mesma obra) e em comparação com os livros de Ensino Superior. Além de diferentes conceitos centrais, seleções e organizações, as formulações dadas aos conceitos também divergem. Assim, a Física Moderna no ensino básico não é apresentada como um conhecimento estruturado e não se configura como uma simplificação da Física Moderna do Ensino Superior, que também não possui estrutura fixa.

Também é necessário se atentar ao fato de que os materiais que se propõem a inserir a Física Moderna no Ensino Médio não estão conseguindo incorporar os motivos pelos quais a pesquisa defende a inserção, nem contemplar competências além das tradicionalmente desenvolvidas nos cursos de Física Clássica.

Assim, a seleção e organização de conteúdos também é um aspecto importante para que os temas da Física Moderna sejam definitivamente inseridos no Ensino Médio.

Compreender o porquê das diferentes estruturações dos conteúdos da Física Moderna presentes nos materiais didáticos torna necessário o aprofundamento sobre o processo de seleção e organização dos conteúdos disciplinares, assunto do próximo capítulo.

CAPÍTULO 4. A Seleção de conteúdos e abordagens a partir das finalidades

Este capítulo apresenta-se como uma decorrência do que foi desenvolvido nos capítulos anteriores. Acreditamos ter mapeado adequadamente a nossa base de investigação e localizado certos aspectos sobre os quais pretendemos localizar nossa contribuição.

Diagnosticamos como está ocorrendo o aprendizado de alguns conteúdos de Física Moderna pelos alunos da Licenciatura do Instituto de Física da USP e identificamos alguns aspectos que consideramos como importantes para melhorar o ensino-aprendizado, associados à natureza do conhecimento da Física Moderna e à maneira como ele está estruturado.

Consideramos, em seguida, a importância dos conteúdos e abordagens da Física Moderna no Ensino Superior e a necessidade de analisarmos sua inserção no Ensino Médio. Partindo dos aprofundamentos realizados sobre tais aspectos, destacou-se a seleção dos conteúdos da Física Moderna, sua organização em seqüências e a formulação de seus conceitos.

A Física Moderna está estabelecida no Ensino Superior, mas não está estruturada no Ensino Médio.

Segundo nosso ponto de vista, a maneira como os conhecimentos estão sendo estruturados no Ensino Superior repercute no processo de ensino-aprendizado, que, em conjunto com as diferentes seleções e organizações dos temas no Ensino Médio, nos leva ao questionamento sobre os determinantes que agem na seleção, organização e formulação dos temas. Em outras palavras, supondo ser importante a seleção e organização dos conteúdos para o aprendizado, busca-se compreender quais são as causas que interferem na estruturação do conhecimento.

A maneira como os conteúdos estão organizados é por nós investigada por meio de uma perspectiva que vai além da estruturação elaborada pelo próprio conhecimento científico, objeto de estudos da epistemologia. Partindo dessa primeira estruturação, nossa investigação se debruçará sobre a forma pela qual ela é apropriada pela escola (de Ensinos Superior e/ou Médio), constituindo as seleções

e organizações dos conteúdos presentes nos livros didáticos e, em segunda instância, nos saberes escolares elaborados.

Para isso, nos aprofundamos na forma como se relacionam os conhecimentos com a cultura escolar por meio do currículo, ou seja, as seleções e organizações são analisadas sob uma perspectiva cultural. Veremos de que forma a cultura escolar associa-se ao conhecimento elaborando os saberes.

Portanto, o presente capítulo busca, primeiramente, a identificação e compreensão das causas das diferentes seleções, organizações e formulações de conteúdos a partir da influência cultural no currículo escolar e, como decorrência, definiremos um papel ao docente nessa dinâmica.

O ensino de Física Moderna, analisado até o presente momento nas esferas do Ensino Superior e Médio, é tomado no âmbito da organização curricular, para o qual endereçamos a questão do capítulo: *"Seleção, organização e formulação dos conteúdos: O que as determina? Como as determina?"*. Essa configuração atual é representada na figura a seguir:

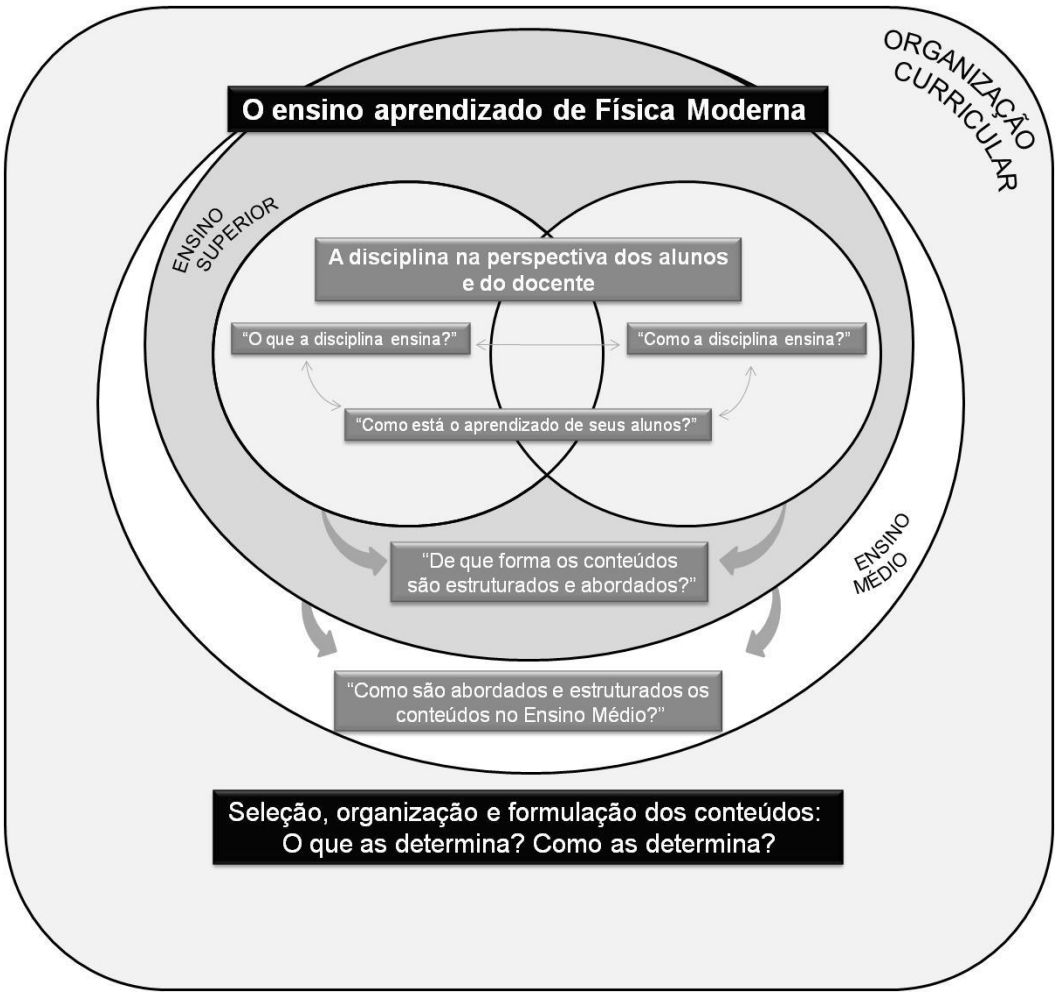


Figura 4.1: A busca pelos fatores que determinam a seleção e organização dos conteúdos.

A natureza da relação entre o conhecimento e a cultura acaba por atribuir ao professor um papel especial, no sentido de uma *Autonomia profissional* docente, que compõe a segunda parte do capítulo.

4.1. A cultura escolar, seus saberes e finalidades.

Para desenvolvermos uma perspectiva cultural, se faz necessária a definição de cultura. Entretanto, trata-se de um conceito que possui várias concepções, como destaca Santos (2006):

> Cultura está muito associada a estudo, educação, formação escolar. Por vezes se fala de cultura para se referir unicamente às manifestações artísticas, como o teatro, a música, a pintura, a escultura. Outras vezes, ao se falar na cultura da nossa época, ela é quase identificada com os meios de comunicação de massa, tais como o rádio, o cinema e a televisão. Ou então cultura diz respeito às festas e cerimônias tradicionais, às lendas e crenças de um povo, ou a seu modo de se vestir, à sua comida, a seu idioma. (p. 21).

Uma concepção clássica de cultura, ou mesmo uma das primeiras definições de cultura de acordo com Laraia (2007, p.25), é a atribuída ao inglês Edward Taylor, segundo o qual a cultura *inclui conhecimentos, crenças, arte, moral, leis, costumes ou qualquer outra capacidade ou hábitos adquiridos pelo homem como membro de uma sociedade* (1958, p. 01).

A definição de Taylor não está distante da contemporaneidade, sendo que se aproxima de definições de cultura encontradas em dicionários.

> Cultura: 2. *Fig.* O complexo dos padrões de comportamento, de crenças, das instituições, das manifestações artísticas, intelectuais, etc., transmitidos coletivamente, e típicos de uma sociedade. (Ferreira, 1993, p.156).

Assim, podemos perceber que a cultura é constituída ou tem como produtos, elementos simbólicos, materiais e práticas, expressos através das crenças, conhecimentos, artes, costumes e hábitos.

Tratar esses elementos como produtos atribui à cultura sua elaboração. A cultura não consiste em um conjunto ou agrupamento, mas em um sistema dinâmico, no qual seus constituintes alteram-se ao longo do tempo, sendo elaborados e reelaborados. Assim, a cultura é composta por produtos simbólicos, materiais ou procedimentais, que são continuamente elaborados e transmitidos ao

longo das gerações. Entretanto, a concepção tradicional da cultura não explicita quem são os produtores e/ou seus consumidores.

Historicamente, a cultura surge diante da necessidade de transmitir um patrimônio às novas gerações, de modo que todo o desenvolvimento não se perdesse com o tempo. No entanto, o que era considerado patrimônio dependia de quem o produzisse. Em outras palavras, não era qualquer pintura ou qualquer desenvolvimento científico que poderia ser considerado um produto cultural: dependia da pessoa que o produzira.

Quanto ao consumo desses produtos culturais, reduzido era o número de pessoas que tinham acesso a obras de arte, às literaturas ou outros desenvolvimentos do pensamento. O patrimônio cultural foi inicialmente produzido e consumido por classes sociais específicas.

No início do século XX, o consumo dessa cultura foi estendido a outras classes, o que ficou conhecido como democratização cultural. Os produtos materiais foram aos museus que, por sua vez, permitiam o acesso ao público em geral; as bibliotecas públicas incorporaram cada vez mais as formas de pensamento traduzidas em livros e a instituição escolar foi crescendo e abrindo cada vez mais seus portões.

Contudo, a produção do patrimônio cultural ainda permaneceu confinada a um pequeno grupo. Contra essa idéia ocorre uma alteração no conceito de cultura, definição que será utilizada no presente trabalho.

> (...) a cultura é algo presente em todas as partes, que impregna a tudo, que todos possuem e que não se esgota nas grandes obras, mas se manifesta em todos os atos e realizações humanas. (Puig e Trilla, 2004, p. 157).

A cultura se faz com a elaboração de todos que dela fazem parte, refletindo seus valores, práticas e gostos através de suas manifestações simbólicas e materiais. Todos produzem cultura, toda produção possui um valor em si como elaboração humana.

Analogamente, tudo aquilo que é produzido no interior de uma escola constitui um cultura, que denominamos por cultura da escola. Dessa forma cada escola é consumidora e produtora de uma cultura própria, resultado da forma como articula os conhecimentos disciplinares e as práticas pedagógicas, a sua realidade institucional e o cotidiano de seus alunos, professores e funcionários.

O que nos inclinou a essa análise fora o questionamento sobre as motivações da seleção, organização e formulação dos conteúdos. Constatamos, assim, que os conhecimentos, ao passarem por tais processos, são transformados e podem ser considerados como produtos culturais, resultado das ações que se dão no interior da escola.

Percebemos que existe um nível intermediário entre os conhecimentos e a cultura da escola, que consiste na transformação dos conhecimentos em conteúdos didáticos, que são selecionados e organizados, primeiramente de maneira genérica, para depois serem incorporados e reelaborados pela cultura da escola.

Dessa maneira, existe uma cultura intermediária, genérica, que se denomina por cultura **de** escola, e é nesse nível que estão inseridas as estruturações dos conhecimentos disciplinares.

> A escola é também um 'mundo social', que tem suas características e vidas próprias, seus ritmos e seus ritos, sua linguagem, seu imaginário, seus modos próprios de regulação e de transgressão, seu regime próprio de produção e de gestão de símbolos. E esta 'cultura da escola' (no sentido em que se pode também falar da 'cultura da oficina' ou da 'cultura da prisão') não deve ser confundida tampouco com o que se entende por 'cultura escolar', que se pode definir como o conjunto conteúdos cognitivos e simbólicos que, selecionados, organizados, 'normalizados', 'rotinizados', sob efeito de imperativos de didatização, constituem habitualmente o objeto de uma transmissão deliberada no contexto das escolas (Forquin, 1993, p. 167).

Em amplo espectro, a cultura **de** escola contempla os elementos culturais produzidos pelas escolas de maneira geral, assim como os fatores que interferem na sua produção/renovação. Em outras palavras, elementos culturais mais gerais da cultura escolar, que podem ser definidos externamente, compõem a cultura **de** escola. Por outro lado, os elementos específicos da cultura **da** escola só são definidos no interior de uma realidade escolar.

Voltando à nossa perspectiva, os encadeamentos e formulações dos temas selecionados nos materiais didáticos analisados são parte constitutiva da cultura escolar no seu âmbito geral (cultura **de** escola), aos quais se unem características de quem ensina, quem aprende e onde isso se dá, a cultura **da** escola.

Denominaremos esses dois âmbitos por *cultura escolar*, pois para compreendermos os determinantes da seleção e organização dos conteúdos é preciso investigar a transformação dos conhecimentos nos *saberes escolares*,

elementos integrantes da cultura escolar. Dessa forma, debruçamo-nos sobre um aspecto da cultura escolar, que é a constituição do *saber escolar*, e não a ela como um todo.

Forquin (1992, p. 33) define dois fatores que influenciam a produção dos saberes escolares e a cultura escolar: a academia e a sociedade; Ele *caracterizava a cultura escolar como seletiva, no que concerne à cultura social, e derivada, no que tange à sua relação com a cultura de criação ou invenção das ciências fonte* (Faria Filho, et al. 2004, p.146). Entretanto, ele questiona se a cultura escolar é apenas uma justaposição entre a seleção dos produtos sociais e a transposição da cultura acadêmica, ou a constituição de algo novo.

> Mas é preciso ir mais longe na análise e reconhecer que estes conceitos de transposição didática ou de rotinização acadêmica da cultura não permitem dar conta de certos aspectos mais específicos dos saberes escolares enquanto objetos de ensino. Pode-se perguntar se de fato todos os saberes ensinados nas escolas não são verdadeiramente senão o resultado de uma seleção e de uma transposição efetuadas a partir de um corpo cultural pré-existente, e se não se pode considerar a escola como sendo também verdadeiramente produtora ou criadora de configurações cognitivas e de 'habitus' origininais que constituem de qualquer forma o elemento nuclear de uma cultura escolar ´sui generis´.(Forquin, 1992, p.34)

O autor denomina os conhecimentos produzidos pela cultura escolar por *saberes*, e é o aprofundamento que realiza sobre a constituição dos saberes que o faz problematizar a natureza da cultura escolar. Os saberes escolares são produzidos no interior das escolas, em cada disciplina escolar, estando estritamente relacionados à cultura escolar através de uma influência mútua: os saberes constituem a cultura escolar e também resultam dela.

Por se tratar de uma troca ininterrupta entre as culturas acadêmica e a social, que por sua vez também são dinâmicas, os saberes são continuamente alterados.

Assim, quando nos referimos aos saberes escolares, tomamos um sentido mais amplo, que abrange além dos conteúdos em si, também a seleção e organização que sofrem, suas diferentes formulações, formas de abordagem e as práticas estabelecidas em sala de aula. O saber é um elemento central daquilo que é produzido e consumido no interior da cultura escolar.

Entretanto, se para Forquin a escola como produtora de sua própria cultura aparece como questão, Chervel (1990), por sua vez, afirma essa característica, considerando a escola como produtora de saberes originais.

Para o autor, o estudo das disciplinas *leva a por em evidência o caráter eminentemente criativo do sistema escolar e, portanto, a classificar no estatuto do acessório a imagem de uma escola encerrada na passividade, de uma escola receptáculo dos sub-produtos culturais da sociedade* (Chervel,1990, p.184).

Dessa forma, aquilo que é ensinado e aprendido na escola por meio de suas disciplinas não é mera transposição do que é produzido na academia ou o atendimento cego e espontâneo às demandas sociais, nem a justaposição dos dois fatores. Existem inúmeros aspectos internos e externos que se articulam de modo a influenciar a dinâmica do que é ensinado e aprendido no interior das escolas, sobre os quais nos debruçaremos.

> A concepção de escola como puro e simples agente de transmissão de saberes elaborados fora dela está na origem da idéia, muito amplamente partilhada no mundo das ciências humanas e entre o grande público, segundo a qual ela é, por excelência, o lugar do conservadorismo, da inércia, da rotina. Por mais que ela se esforce, raramente pode-se vê-la seguir, etapa por etapa, nos seus ensinos, o progresso das ciências que se supõe ela deva difundir. (...) quando a escola recusa, ou expulsa depois de uma rodada, a ciência moderna, não é certamente por incapacidade dos mestres de se adaptar, é simplesmente porque seu verdadeiro papel está em outro lugar, e ao querer servir de reposição para alguns "saberes eruditos", ela se arriscaria a não cumprir sua missão. (Chervel,1990, p.182)

Os saberes escolares não são a união da transposição dos conhecimentos acadêmicos à uma rotinização, dessa maneira a escola aceitaria prontamente as atualizações dos conhecimentos produzidos pela academia. A resistência à contemporaneidade não se deve apenas a uma inércia escolar, mas ao tempo necessário para a compreensão da missão que esses conhecimentos podem ter na cultura escolar.

Deve-se perceber que aquilo que é ensinado nas disciplinas escolares não possui apenas um fim em si mesmo: os conteúdos acadêmicos não são ensinados apenas pelo valor que possuem como patrimônio cultural (segundo a concepção tradicional); Eles tornam-se um meio para objetivos que estão além do seu entendimento puro – eles possuem ‘missões’ no interior da escola.

Tais missões relacionam-se ao que Chervel (1990) chama de finalidades. Uma missão possui um objetivo que deve ser cumprido – o objetivo é o cerne da missão, a sua finalidade. O autor atribui à finalidade o fato de se desenvolver

determinados saberes no interior da escola ao invés de outros, mas não a detalha nem a caracteriza – que finalidade seria essa?

> A instituição escolar é, em cada época, tributária de um complexo de objetivos que se entrelaçam e se combinam numa delicada arquitetura da qual alguns tentaram fazer um modelo. É aqui que intervém a oposição entre educação e instrução. O conjunto dessas finalidades consigna à escola sua função educativa. Uma parte somente entre elas obriga-a a dar uma instrução. Mas essa instrução está inteiramente integrada ao esquema educacional que governa o sistema escolar, ou o ramo estudado. As disciplinas escolares estão no centro desse dispositivo. Sua função consiste em cada caso em colocar um conteúdo de instrução a serviço de uma finalidade educativa.
>
> Percebe-se então por que o papel da escola não se limita ao exercício das disciplinas escolares. A educação dada e recebida nos estabelecimentos escolares é, a imagem das finalidades correspondentes, um conjunto complexo que não se reduz aos ensinamentos explícitos e programados. (Chervel,1990, p.188)

Assim, voltamos a algumas questões iniciais. Perguntávamos inicialmente qual a relação entre os conhecimentos e a cultura escolar, no âmbito do currículo. Como decorrência dessa investigação aproximamo-nos do significado de cultura escolar e dos saberes escolares, que consistem naquilo que é ensinado e aprendido no interior da cultura, resultados da reelaboração criativa dos conteúdos disciplinares. Além disso, questionamos de que forma a cultura acadêmica e as demandas sociais influenciam o que é ensinado e aprendido na escola.

Para a resposta dessas questões cabem as finalidades de Chervel. Os conteúdos são selecionados, encadeados e abordados não apenas pelo valor que possuem em si, mas são modificados e transformados em saberes (seleção, encadeamentos, formulações, abordagens e práticas) de acordo com finalidades. Da mesma forma que influenciam a seleção e organização dos conteúdos, visam um aprendizado além do próprio conteúdo, sendo que a materialidade dessas finalidades, ou seja, os saberes escolares, ainda são influenciados pelas condições da escola, pela comunidade que a circunda, ou seja, pelas práticas e relações estabelecidas.

Os fatores que influenciam a produção dos saberes escolares também são destacados na obra de Forquin:

> Sabe-se que, por um efeito de desconhecimento estrutural próprio de todo empreendimento de transmissão simbólica, aquilo que pode haver de contingente, de arbitrário, de 'socialmente construído' ou ideologicamente enviesado nos conteúdos de ensino, está destinado o mais das vezes a permanecer despercebido; na 'naturalização' da coisa ensinada estando no coração da legitimação profissional do docente.
>
> O próprio de uma reflexão sociológica ou histórica sobre os saberes escolares é o de contribuir para dissolver esta percepção natural das coisas, ao mostrar como os conteúdos e os modos de programação didática dos saberes escolares se inscrevem, de um lado, na configuração de um campo escolar caracterizado pela existência de imperativos funcionais específicos (conflitos de interesses corporativos, disputas de fronteiras entre as disciplinas, lutas pela conquista da autonomia ou da hegemonia no que concerne ao controle do currículo), de outro lado na configuração de um campo social caracterizado pela coexistência de grupos sociais com interesses divergentes e com postulações ideológicas e culturais heterogêneas, para os quais a escolarização constitui um trunfo social, político e simbólico. (Forquin, 1992, p.43)

No que se refere às influências sofridas pelo saber escolar, o autor aponta que os saberes escolares são configurados pelos imperativos e por lutas pelo controle social. Os imperativos[13] de Forquin nos parecem como os vencedores das batalhas que se revelam nas práticas escolares e nas quais estão inseridas as finalidades de Chervel – o imperativo é o que governa as práticas e as finalidades associadas.

As finalidades formativas podem ter diversas naturezas. Entretanto, existem finalidades que são conflitantes entre si e de tal disputa resulta majoritariamente uma, em geral àquela que mais facilmente se associa às práticas, tornando-se um imperativo.

As finalidades formativas são selecionadas de acordo com imperativos funcionais, no sentido que devem apresentar valores de apresentação e clarificação, progressividade, divisão formal, possibilitarem escritas explicativas ou condensadas, pesquisas de concretização, questões e exercícios (Forquin, 1992, p.34).

Assim, tanto as finalidades, as práticas, quanto os imperativos funcionais didáticos possuem uma mesma ação: são influências na produção dos saberes

[13] im.pe.ra.ti.vo adj (lat imperativu) 1 Que ordena, que governa, que manda com autoridade. 2 Autoritário, arrogante. 3 Que tem caráter de ordem. sm 1 Gram Modo dos verbos que exprime ordem, exortação ou súplica. 2 Ordem, ditame, dever.

escolares. Por exemplo, podemos ter como finalidade a formação de um cidadão crítico ou o ensino para a continuação dos estudos. Essas duas finalidades, associadas a características institucionais da escola e ao corpo discente constituem uma região de conflito e exclusão mútua, na qual apenas uma das duas finalidades se refletirá nas práticas, influenciando a seleção e organização dos conteúdos.

Enquanto possíveis finalidades, tem-se a disseminação de uma herança cultural e/ou social. Alguns saberes podem ser selecionados pelo valor que possuem, ou seja, por serem mais gerais, mais constantes ou mais incontestáveis; outros, podem adentrar pela importância na formação do cidadão ou por permitirem a compreensão do cotidiano. Nesse caso, trata-se de finalidades epistemológicas[14] e sociais, respectivamente.

Também existem finalidades externas, presentes em normas e legislações ou implicitamente em avaliações nacionais, internacionais e exames de ingresso. Ainda. configuram-se algumas vezes finalidades ideológicas. E, por fim, existe o atendimento às necessidades dos alunos, que também se configura como uma finalidade.

Dessa forma, os conteúdos que são transformados em saberes no interior da escola são selecionados por servirem a mais finalidades que apenas o valor que possuem em si mesmo.

Vale ressaltar que apesar do saber escolar possuir essas inúmeras influências, elas passam despercebidas durante o processo de ensino-aprendizado. Em especial, no que se refere às finalidades, os por quês daquilo que é ensinado (tão questionados pelos alunos) parecem implícitos aos professores, restando o apego à importância do conhecimento em si ou à continuação dos estudos.

Trata-se da ‘naturalização’ e ‘neutralização’, da inserção de finalidades de modo a ficarem despercebidas, o que Forquin atribui a um ‘desconhecimento estrutural’ da transmissão simbólica. O autor relata que a dinâmica de ensino aprendizado acaba por naturalizar finalidades pela maneira como elas estão intrincadas ao conteúdo selecionado e organizado, tornando-se também neutras, no sentido que se tornam implícitas e não demonstram qualquer vínculo ideológico, transmitindo a mensagem de que tal seleção de conteúdos é o conhecimento em si

[14] A concepção utilizada de epistemologia é a que se refere ao que se pode conhecer e como se pode conhecer e não como sinônimo de teoria do conhecimento. O objetivo epistemológico, como veremos mais a frente, se refere a escolha de conteúdos, formulações e abordagens com base no valor que os conceitos possuem em si mesmos, em sua relevância para a Física.

e não o resultado de uma elaboração. Assim, os professores possuem um papel principal nessa dinâmica do que é ensinado e aprendido: são eles quem atendem em suas disciplinas às finalidades tão diversas, realizando a neutralização e a naturalização.

> No coração do processo que transforma as finalidades em ensino, há a sua do docente. Apesar da dimensão "sociológica" do fenômeno disciplinar, é preciso que nos voltemos um instante em direção ao indivíduo: como as finalidades lhe são reveladas? Como ele toma consciência ou conhecimento delas? E sobretudo, cada docente deve refazer por sua conta todo o caminho e todo o trabalho intelectual que levam às finalidades ao ensino? Um sistema educacional não é dedicado, de fato, à infinita diversidade dos ensinamentos, cada um trazendo a cada instante sua própria resposta aos problemas colocados pelas finalidades?(...)
>
> A realidade de nossos sistemas educacionais não coloca os docentes, a não ser excepcionalmente, em contato direto com o problema das relações entre finalidades e ensinos. A função maior da "formação dos mestres" é a de lhes entregar as disciplinas inteiramente elaboradas, perfeitamente acabadas, as quais funcionarão sem incidentes e sem surpresas por menos que eles respeitem o seu ‘modo de usar’. (Chervel,1990, p.191)

Chervel, acima, destaca a importância das finalidades como função do professor e questiona a forma como elas são apresentadas durante o processo de formação docente. Dessa forma, as finalidades relacionam os conhecimentos à cultura, devendo servir como critério para a seleção e organização dos conteúdos e das práticas.

Quando a dimensão das finalidades é clara ao docente, este passa a perceber seu papel na cultura escolar, desnaturalizando e desneutralizando o que é ensinado e aprendido, o que também contribui para uma atuação docente autônoma.

Portanto, diante do levantamento dos vários fatores que determinam a estruturação dos conhecimentos disciplinares – as finalidades, o professor surge como aquele que deve compreender e escolher as finalidades, que em associação com as práticas constituem os saberes escolares. Nessa perspectiva, a escolha pelas finalidades e práticas constitui uma ação docente que deve ser autônoma, no sentido que será definido a seguir.

4.2. A autonomia docente através das escolhas

Antes de continuarmos o desenvolvimento anterior, é necessária a definição da Autonomia docente que será utilizada, posto que a palavra possui *diferentes pretensões e significados, em que diferentes pessoas estejam entendendo ou querendo dizer coisas diversas (...), embora aparentemente todos digam o mesmo* (Contreras, 2002, p. 23).

No sentido de contribuir para esse campo de discussão, Contreras identifica três diferentes concepções de autonomia docente, sendo que cada uma delas corresponde a uma dada compreensão sobre a formação, atuação e função do professor, denominados por *modelos de formação*.

Segundo esse autor, os modelos de professores são denominados por *Especialista técnico*, *Profissional reflexivo* e *Intelectual crítico,* reconhecendo, ainda, que esses mesmos perfis podem estar presentes, com diferentes denominações, em trabalho de outros autores, como em Pereira (2002).

A cada um desses modelos formativos o autor associa um tipo de autonomia docente e, dentre os diversos aspectos e características que compõem cada um dos modelos, nos restringiremos ao âmbito que trata das escolhas e decisões tomadas pelo professor em sua atuação.

Para o *Especialista técnico*, a concepção de autonomia consiste na independência do professor para o julgamento de situações escolares e das medidas a serem aplicadas. Nesses casos, o docente é autônomo no julgamento de uma dada situação escolar, sua escolha e decisão referem-se a aplicar ou não as medidas cabíveis, porém deve obedecer a critérios e diretrizes externamente estabelecidos.

Situações que não se enquadram ou não são previstas por critérios externos não são resolvidas pelo docente, o que requer um encaminhamento da situação a uma instância competente.

Em relação ao modelo do *Profissional reflexivo*, a concepção de autonomia envolve, além da autonomia de julgamento, a capacidade para resolver criativamente problemas, posto que a sala de aula é um local onde se desvendam situações com determinantes complexas.

Se no modelo anterior os critérios possuem elaboração externa, nesse modelo há critérios e decisões que são escolhas do professor, já que nem sempre essas situações podem ser identificadas em critérios previamente estabelecidos, reconhecendo que este tenha a capacidade para analisar a situação escolar e justificar seus atos.

Por fim, o modelo *Intelectual crítico* traz uma concepção de autonomia que ultrapassa a reflexão e ação sobre a prática no interior da sala de aula. Nele, a autonomia está associada a um questionamento que ultrapassa *as dependências ideológicas que impedem a tomada de consciência da função real do ensino, das limitações pelas quais nossa prática se vê submetida e da forma pela qual estas dependências são assimiladas como naturais e neutras* (Contreras, 2002, p. 203).

Nesse último caso, trata-se de uma autonomia em um sentido mais abrangente, que inclui a problematização de suas ações, questionando até que ponto elas são naturais e neutras (ou se são tornadas assim) na sua prática e na de seus colegas. Há a busca da compreensão dos porquês daquilo que faz sentido (ou não) ser realizado no interior da escola, assim como das razões pelas quais as atividades são de determinado modo (e não de outro), buscando explicitar o que as determinam e a intenção por traz delas.

Entretanto, Contreras se apropria de críticas realizadas ao modelo intelectual-crítico. De fato, esse modelo superou o do professor reflexivo ao definir um conteúdo para essa reflexão, posto que o professor que reflete sobre a própria prática pode acabar por referendar interesses sociais que reflitam mais valores tecnocráticos do que o desejo pela igualdade e justiça. Isso torna necessário um distanciamento crítico do professor. de modo que as práticas não se resumam a uma acomodação de finalidades, mas a uma articulação que é analisada a partir de valores indispensáveis.

Além de definir o conteúdo para a reflexão docente, outra questão em relação ao modelo do professor como intelectual-crítico é a figura do “ilustrado”, aquele que define externamente o conteúdo da reflexão e se propõe a emancipar os professores.

Assim, as críticas realizadas sobre o modelo questionam até que ponto a definição externa de um conteúdo para a reflexão docente, e a necessária emancipação dos professores de acordo com esse conteúdo. representam aspectos repressores ou libertários.

> A insuficiência daquelas concepções sobre os professores como profissionais reflexivos, a falta de um conteúdo concreto que refletisse um programa para a prática de deliberação que fosse expressão de um compromisso social emancipador, nos fez dirigir o olhar para os modelos que entendem os professores como intelectuais críticos com intenção transformadora. Porém, agora corremos o risco de que este modelo, embora represente claramente um conteúdo, uma orientação, acabe, contudo, expressando imagens que não consigam tradução prática ou impondo uma visão de mundo baseada em sua suposta universalidade. (Contreras, 2002, p. 177).

Diante desse quadro, Contreras procura definir sua concepção de Autonomia docente traçando alguns aspectos:

- independência de juízo com a responsabilidade pelas convicções pedagógicas;
- constituição da identidade e dos valores no contexto das relações e não no isolamento;
- manutenção de um certo distanciamento critico. para não praticar uma reprodução social;
- consciência da nossa parcialidade em relação à compreensão dos outros;
- reconhecimento de nossas próprias parcialidades;
- reconhecimento das práticas pessoais a partir do contraste com o outro.

Dentre os aspectos, destaca-se a importância atribuída aos professores, ao considerar que eles, coletivamente, devem definir o conteúdo de suas reflexões.

> Não podemos, por conseguinte, abandonar o que a idéia de autonomia sugere como aceitação da diferença, como expressão da variedade de formas pelas quais os professores vivem suas experiências de contradição, de opressão ou de exclusão e de como superá-las. Não podemos abandonar, em definitivo, o que sugere a autonomia como variação das posições e aspirações humanas e a singularidade com que os docentes podem viver as crenças, as esperanças e as utopias para sua vida e seu trabalho. Porém, tampouco podemos renunciar à idéia de compromisso ao qual se abre a emancipação e a perspectiva do intelectual critico, de tal maneira que a autonomia não se transforme em uma busca pessoal insensível às diferenças que revelam injustiças, opressões e marginalizações, diferenças que encontramos também na prática educativa e que amiúde são provocadas ou sustentadas por ela.
>
> (...) No encontro com os outros (tanto os alunos como as mães e pais, colegas e outros setores sociais), a autonomia profissional ou, caso se queira, a emancipação, deveria começar juntamente com essa sensibilidade moral, pelo reconhecimento dos nossos próprios limites e parcialidades na forma de compreender os outros. Um reconhecimento que não é espontâneo, mas buscado de forma auto-exigente e trabalhosa, mas tampouco imposto ou dogmaticamente estabelecido mediante verdades ´já´ libertadoras. (Contreras, 2002, 187-8).

Ao se propor um elaborar coletivo do conteúdo da reflexão sobre a prática docente, sua definição não deve ocorrer com o propósito da universalidade, isto é, a intenção não deve ser a busca por um padrão ou regra geral sobre a qual os professores devem atuar – o que recairia num caráter coercivo. A definição do conteúdo passa pelo reconhecimento da diversidade existente nas práticas, que também se desdobra no auto-reconhecimento a partir do contraste com o outro.

4.3. Síntese

Em nosso trabalho, tomamos a Autonomia conforme essa última definição. Nesse caso, ela significa mais do que o professor possuir o poder de julgamento sobre as situações de sala de aula e a capacidade para resolver criativamente problemas Implica em que suas escolhas e decisões envolvem descobrir e recriar a função do ensino – em atribuir-lhe finalidades.

Assim, associamos o exercício da Autonomia, através do questionamento sobre a função real do ensino, às finalidades discutidas anteriormente. A desnaturalização e desneutralização daquilo que é ensinado, através da explicitação coletiva da diversidade de práticas, finalidades e entendimentos, é o que nos mostra o caminho para a Autonomia.

Para Contreras a Autonomia consiste na *tomada de consciência da função real do ensino*, enquanto Chervel aponta que *o conjunto dessas finalidades consigna à escola sua função educativa*. Dessa forma, a tomada de consciência das finalidades pelos professores promove a sua autonomia.

As finalidades que atuam nos saberes escolares o fazem principalmente através do professor de cada disciplina. Por outro lado, elas são tantas que umas tendem a limitar as outras e o professor se vê determinado a escolher ou aceitar umas em detrimento das demais (os imperativos) – escolha por vezes feita despercebidamente.

Dessa maneira, o esclarecimento das finalidades aos professores, com decorrente desneutralização e desnaturalização dos saberes, traz a consciência de suas escolhas e o entendimento de que alguns conflitos vividos são um reflexo de finalidades divergentes, que não podem ser contempladas ao mesmo tempo.

Cabe a ele a percepção das demandas e olhar os conteúdos de modo a selecioná-los, organizá-los e estabelecer práticas coerentes com algumas finalidades – que também são selecionáveis.

Nessa perspectiva, as finalidades surgem como determinantes à função do professor, posto que ele deve buscar contemplá-las, ainda que se elas atendem a interesses por vezes divergentes, torne-se impossível o cumprimento de todas.

O questionamento do porquê das suas escolhas e do porquê daquilo que não pode ser escolhido só pode ser realizado a partir do entendimento e contraste com o outro, numa ação coletiva docente, o que permite a posterior reformulação e assunção das finalidades que o professor julgar necessárias - esse é o cerne da nossa concepção da Autonomia.

É urgente se pensar a função real do ensino e de que forma as disciplinas e seus professores selecionam saberes de modo a atender determinadas finalidades, implícitas e conflitantes entre si. A Autonomia deve ser exercitada como um descortinar de espaços – a explicitação das finalidades que se tornam, a partir de então, também passíveis de seleção pelo docente.

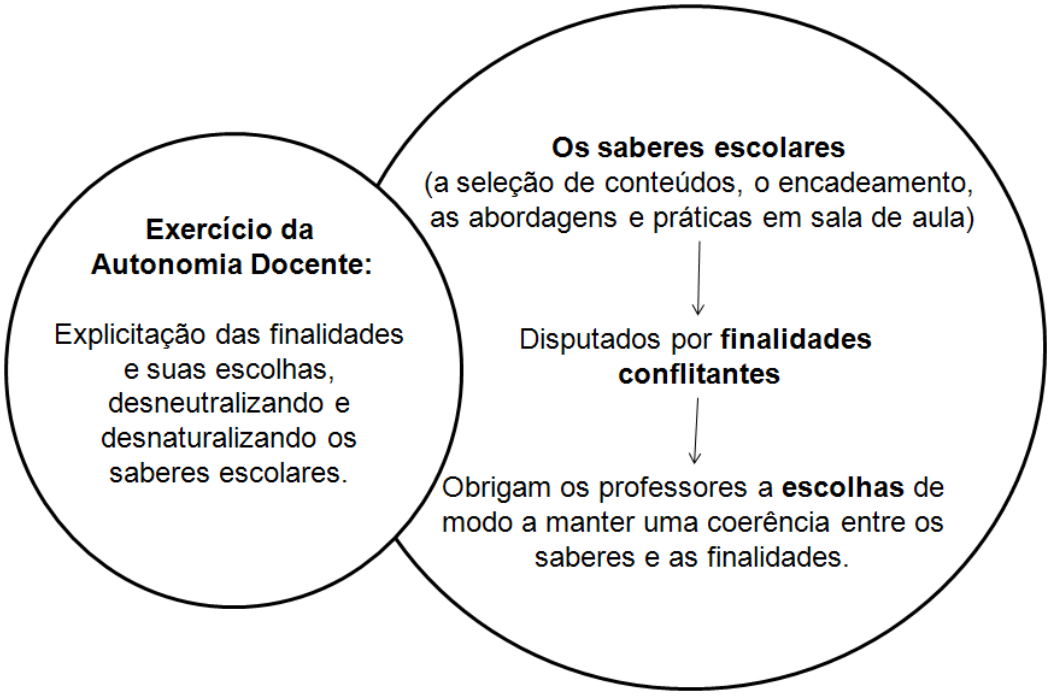


Figura 4.2: A dinâmica para o estabelecimento dos saberes escolares e a função do professor.

A dimensão das dinâmicas culturais a qual pertence essa perspectiva permite compreender melhor a escola, as influências externas que sofre e as elaborações

que ocorrem em seu interior, pontuando as próprias disciplinas como um produto simbólico da cultura escolar.

Dessa forma, os saberes escolares podem fornecer um caminho para a Autonomia docente, desde que se promova o questionamento e o entendimento coletivo daquilo que aparenta ser natural. Esses questionamentos, a explicitação e o entendimento das finalidades das seleções realizadas, permitem uma reconstrução daquilo que se ensina com base nas finalidades escolhidas.

> Os problemas e suas circunstancias mudam no tempo e no espaço, transformando-se e singularizando-se, e as soluções devem ser aceitas como aproximações provisórias que tentam adequar como tentativa de circunstancias concretas de cada caso ou escola particular (...) O que se espera é que os professores desenvolvam por si mesmos seus próprios currículos e as estratégias de ensino em função de seu contexto de trabalho e das necessidades de mudança educativas desse meio. (Contreras, 2002, p. 234)

Percebemos que a autonomia não se trata de uma faculdade, mas o resultado de um exercício. Ela se estabelece através de decisões, que podem ocorrer em diversos níveis e possuir naturezas várias. Ela tem que ser exercida, para poder ser apreendida.

> Ninguém é autônomo primeiro para depois decidir. A autonomia vai se constituindo na experiência de várias, inúmeras decisões, que vão sendo tomadas. (Freire, 1996, p. 41).

Como vimos, as escolhas e decisões ao serem tomadas pelo professor ocorrem em âmbitos diferentes, mas progressivos. Inicia-se com a decisão de tomar ou não alguma ação numa determinada situação escolar para, depois, poder escolher qual ação tomará, até que se reflete sobre quais as finalidades desta ação, um descortinar que ocorre a partir do agir coletivo e que possibilita ao docente pensar sobre novas ações que não necessariamente se encontram restritas à prática em sala de aula.

> A instituição educativa representa um espaço sobre o qual se projetam, de forma contraditória e conflituosa, diferentes pretensões e aspirações, tanto culturais como econômicas e sociais. O trabalho do professor não pode, portanto, ser compreendido à margem das condições sociopolíticas que dão credibilidade à própria instituição escolar. (Contreras, 2002, p.69)

Portanto, o ser autônomo só se desenvolve sendo, escolhendo, decidindo, sendo necessária a existência de situações que o obriguem a atuar por meio de suas escolhas. O professor deve ser consciente da possibilidade de escolhas.

> (..) Ninguém é sujeito da autonomia de ninguém. (...). A gente vai amadurecendo todo dia, ou não. A autonomia, enquanto amadurecimento do ser para si, é processo, é vir a ser. (...). É neste sentido que uma pedagogia da autonomia tem de estar centrada em experiências estimuladoras da decisão e da responsabilidade, vale dizer, em experiências respeitosas da liberdade. (Freire, 1996, p. 41).

Ao mesmo tempo, essa autonomia possui dentro de si não apenas a independência de juízo, mas a importância da ação autônoma a partir e com o outro (professores, alunos e comunidade). Assim, a escolha pelas finalidades é um fazer coletivo que envolve o reconhecimento dos valores e dos juízos de todos, ou seja, o reconhecimento das parcialidades como forma de constituição de finalidades identificadoras e não coercivas.

Defendemos uma formação de professores que permita e incentive os professores a realizarem o mapeamento do terreno de sua prática, instigando a exploração de terras até então inabitadas, e a forjarem a sua Autonomia.

Partindo do questionamento que realizamos sobre as diferentes formulações, seqüências e seleções de temas da Física Moderna presentes nos livros didáticos de ensino superior, perguntamo-nos o porquê dessas diferenças, o que as moveriam.

Nessa investigação, vimos que a seleção, organização e formulação dos conteúdos são uma produção cultural, ou seja, aquilo que é apresentado nos livros didáticos trata-se de uma re-elaboração de seus autores sobre a Física Moderna.

Tudo aquilo que é ensinado e aprendido são denominados por saberes escolares, para os quais contribuem os livros didáticos. Assim, tanto os livros como os saberes disciplinares são produtos elaborados visando atingir objetivos diversos.

Diferentemente do que se concebe usualmente, de que aquilo que é ensinado e aprendido depende apenas da relevância do conhecimento em si, vimos que aspectos didáticos, sociais e até ideológicos influenciam tal dinâmica.

Os saberes escolares não são a união da transposição dos conhecimentos acadêmicos, dessa maneira a escola os aceitaria prontamente. A resistência à contemporaneidade é uma etapa de ressignificação que os conhecimentos sofrem quanto a finalidades e práticas escolares.

Assim tanto a re-elaboração que a Física Moderna sofreu ao ser transformada em livro pelos seus autores, como qualquer saber ensinado e aprendido. depende de finalidades formativas. Ou seja, cada conteúdo selecionado,

a forma como se concebeu a seqüência dos temas e até as formulações elaboradas são resultado de missões conferidas a elas – há um propósito, por vezes implícito, para tais escolhas. Esses propósitos são as finalidades.

Dessa forma, adentramos na questão das finalidades e percebemos que reconhecer e atribuir uma função ao ensino é o cerne da autonomia da profissão professor, exercendo o questionar sobre as finalidades de modo a desnaturalizar e desneutralizar o processo de ensino-aprendizado, o que lhe abre caminhos para decidir quais as finalidades formativas ele almeja aos alunos com seu ensino.

As finalidades formativas surgem como resposta à nossa questão inicial: *"Seleção, organização e formulação dos conteúdos: O que as determina? Como as determina?"*. E a ação autônoma docente é trazida de maneira propositiva, respondendo uma questão que não foi proposta inicialmente: *"Quem as determina?".*

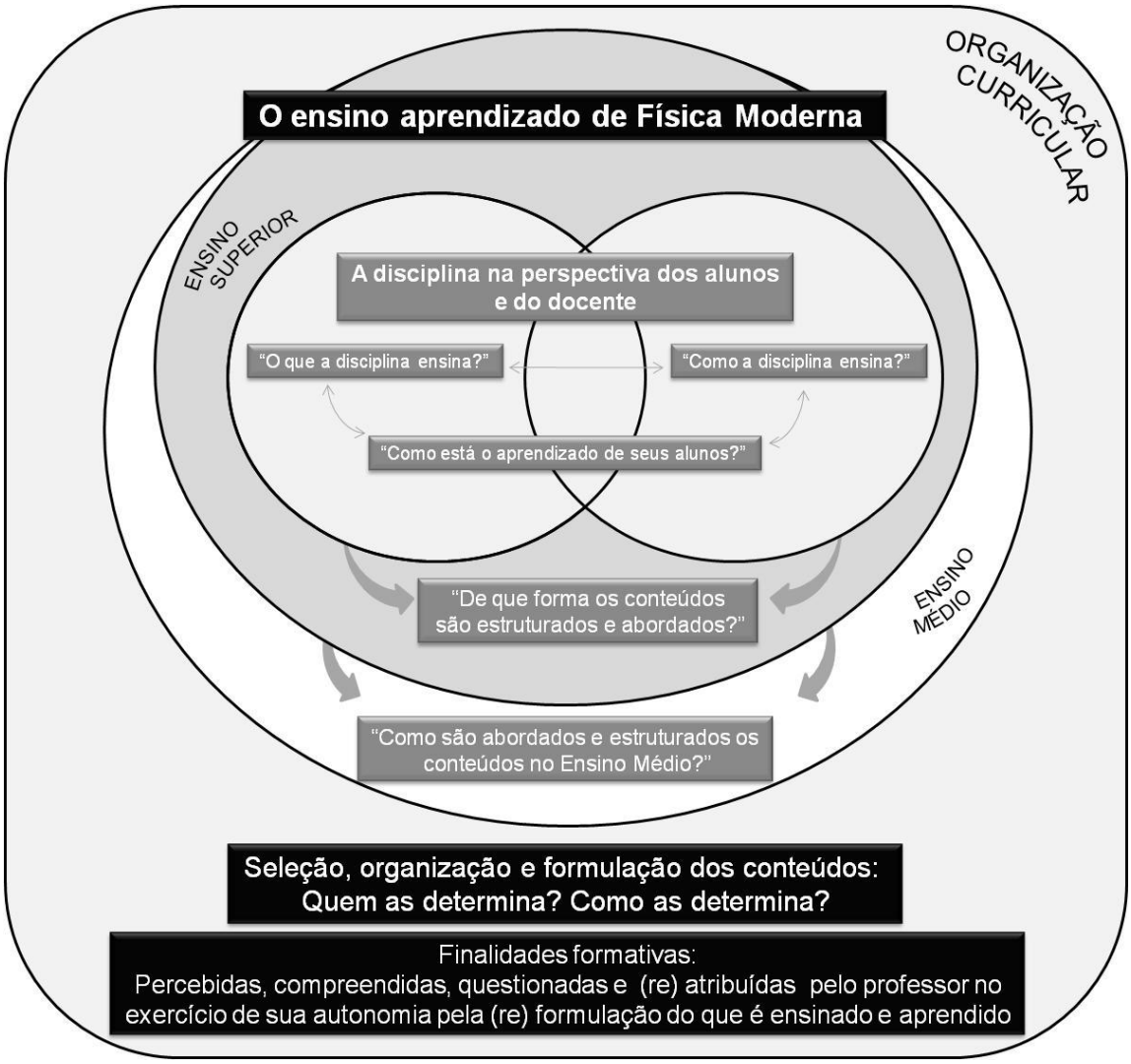


Figura 4.3: As finalidades formativas como os determinantes da seleção, organização e formulação dos conteúdos.

Cabe, nesse momento, definir e articular os elementos discutidos até esse momento com a formação inicial analisada no primeiro capítulo.

CAPÍTULO 5. A Autonomia Docente e as Finalidades Formativas como elementos de articulação na disciplina de Física Moderna

O presente capítulo traz um aprofundamento e novas considerações a partir de uma releitura das análises anteriormente realizadas à luz dos saberes escolares, as finalidades formativas e a autonomia profissional docente.

Ao longo do trabalho, fomos desenvolvendo alguns aspectos merecedores de uma maior atenção, quando pensamos na formação do professor. O aspecto de caráter mais geral consiste em indagar quais são os elementos que durante a formação inicial podem contribuir com a ação autônoma do docente formador e com a autonomia dos futuros professores. De maneira mais específica, há que refletir sobre a possível apropriação desses elementos na disciplina específica de Física Moderna I, contribuindo para a formação do professor formador e do licenciando.

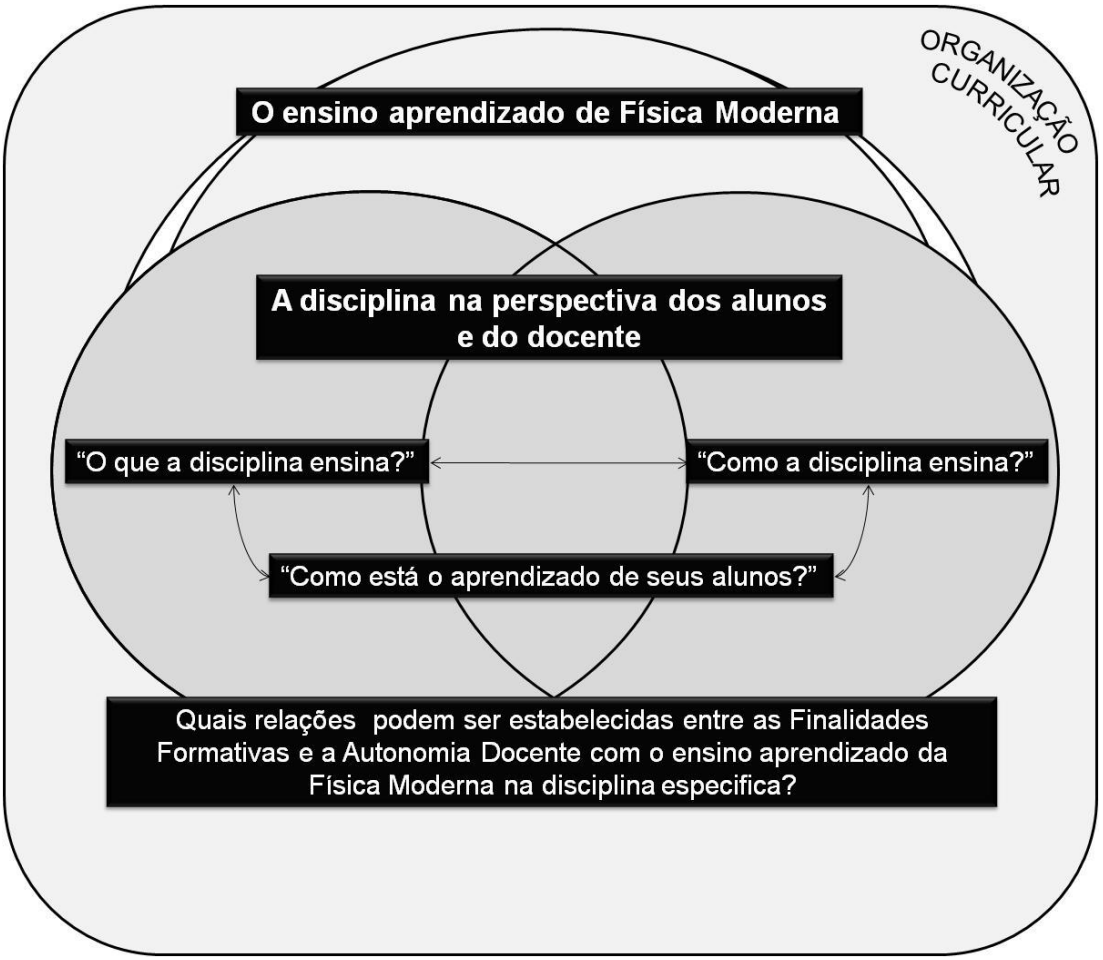


Figura 5.1: A busca pelos elementos que contribuam com a disciplina de Física Moderna I.

Na figura anterior sintetizamos esse caminho, representado pela questão: *"Quais relações podem ser estabelecidas entre as Finalidades Formativas e a Autonomia Docente com o ensino aprendizado da Física Moderna na disciplina especifica?"*.

Assim, desenvolvemos nesse capítulo, em sua segunda parte, um (re) olhar sobre o diagnóstico da disciplina específica, à luz das finalidades formativas e da autonomia docente e, posteriormente, adentramos num âmbito um pouco mais propositivo, que consiste numa aproximação do pensar das finalidades para a melhoria das aulas, propiciando um aprendizado mais efetivo e crítico, o desenvolvimento da autonomia profissional e a posterior inserção da Física Moderna no Ensino Médio.

Portanto, olhamos a articulação entre as finalidades e a autonomia docente com a formação inicial e com a disciplina específica, sendo que o olhar sobre a disciplina se desdobra na compreensão do diagnóstico anteriormente realizado e em primeiras proposições.

5.1.Os elementos na formação inicial

No capítulo anterior, a Autonomia foi inserida nas perspectivas de três identidades docentes, que buscam identificar *modelos* de professores, a partir de suas práticas. Entretanto, o autor não trata especificamente da formação inicial. Além disso, e segundo nossa leitura, parece que os modelos docentes são, de certa forma, estanques, devendo o professor ser enquadrado neles. Paralelamente, buscamos a compreensão de um professor real.

O que expressamos por meio dessas duas contrapartidas: o olhar sobre a formação inicial e o professor real, é que extrapolaremos a autonomia de Contreras e para isso faremos uma reinterpretação dos modelos docentes.

Acreditamos que o desenvolvimento de uma identidade pelo docente passa por uma formação gradativa. Da mesma forma que os modelos de professores evoluíram a partir das limitações e dificuldades dos modelos anteriores, acreditamos que a identidade de um professor também se desenvolve a partir da percepção dos limites que determinadas concepções carregam. Por exemplo, durante a formação inicial, o licenciando muitas vezes pede que lhe ensinem como dar aulas, mas seu professor formador o informa de que não existe receita para a docência. Dessa

forma, o formador o está privando de reconhecer os limites do modelo da racionalidade técnica, mesmo porque existem elementos de tecnicalidade que precisam ser aprendidos para que tal modelo seja superado. Nesse sentido, deve-se oferecer uma tecnicalidade básica ao licenciando. E nesse sentido, requer-se uma formação gradativa.

Assim, além de tomar os modelos por processuais, consideramos que cada um desses modelos possui elementos importantes à prática profissional, que devem ser aprendidos para que a preocupação/ pensamento/ ação docentes possam se debruçar sobre a autonomia. Na concepção de Contreras, a autonomia docente resulta da relação de seis aspectos, que podem ser sintetizados como a definição de valores e de finalidades a sua prática educativa, responsabilizando-se o professor por eles.

Além disso, tal definição ocorre a partir do *outro*, da compreensão da diversidade de práticas existentes, o que por sua vez necessita do reconhecimento da nossa parcialidade em relação à concepção do *outro* e de um certo distanciamento crítico em relação a tal diversidade. Requer, portanto, o reconhecimento do trabalho em um coletivo escolar.

Reconhecemos que há elementos para uma ação autônoma que podem ser desenvolvidos na formação inicial e outros que apenas se darão durante a prática docente. Tais elementos não estão diretamente associados à autonomia de Contreras, mas são aspectos decorrentes dos modelos docentes propostos, e que devem ser aprendidos pelos licenciandos de modo a ser superados.

Retomando o exemplo anterior, os elementos da racionalidade técnica podem ser contemplados na licenciatura, exatamente porque tal modelo é racionalizável, burocrático e se toma por genérico para qualquer realidade escolar.

Quanto aos elementos do modelo reflexivo, a perspectiva de refletir na ação e a perspectiva do professor como artista, por exemplo, só podem acontecer no contexto da prática ou em situações que a simulem. Entretanto, tal dimensão pode ser discutida na formação inicial como resposta preliminar às dificuldades encontradas no modelo da racionalidade técnica. Ou pode ser explicitada, com uma análise mais distanciada das práticas dos diversos professores formadores.

A dimensão do professor como intelectual crítico pode ser adiantada pela discussão da função da escola, dos determinantes gerais que atuam na cultura de escola e pela importância das finalidades formativas, de modo que os licenciandos,

ao ingressarem em suas escolas, possuam elementos para olhar os conteúdos e as práticas, desvelando o que é tomado como natural e neutro.

Entretanto, cabe-nos perguntar de que maneira tais aspectos podem ser contemplados numa disciplina de conteúdo específico. Nessa perspectiva, retomamos a questão da seleção e organização dos conteúdos, os saberes escolar de Forquin e as finalidades de Chervel.

A dimensão curricular permite aproximações aos elementos da técnica, da reflexão e da crítica durante a formação inicial, além de propiciar uma discussão sobre as finalidades formativas e a transformação dos conteúdos em saberes escolares – elementos conceituais que podem contribuir para uma ação autônoma docente.

Vimos, segundo Chervel, que as disciplinas escolares têm como função *colocar um conteúdo de instrução a serviço de uma finalidade educativa.*(1990, p.188). Em outras palavras, qualquer disciplina é restritamente concebida, planejada e lecionada para atender finalidades formativas.

Dessa forma, uma primeira contribuição dos elementos conceituais refere-se ao formador, professor da disciplina específica. É necessário a desnaturalização e desneutralização daquilo que é ensinado e aprendido, com a explicitação das finalidades. É através da percepção desses elementos que o professor formador pode exercer sua autonomia, atribuindo sentidos a sua prática, permitindo-lhe selecionar e organizar os conteúdos de maneira coerente, e transitando por eles segundo essa lógica explícita.

No que se refere ao licenciando, a percepção desses aspectos já se constitui como um elemento que contribui para sua atuação futura. Reconhecer que os conteúdos que estão sendo ensinados e aprendidos não são o conhecimento em si, mas uma reelaboração do docente. Identificar que a finalidade do docente é outra que não a apresentação de um rol de conteúdos, porque esse rol está distante da totalidade dos conhecimentos existentes, tratando-se, de qualquer maneira, de uma seleção e organização. Reconhecer a existência de um espaço entre o conhecimento aprendido e o conhecimento a ser ensinado, e que esse último não é o objeto direto da disciplina de conteúdo específico no curso inicial.

Inverte-se a lógica tradicional de que é imperativo apresentar a totalidade dos temas por meio de práticas como exercícios de aplicação em listas e provas. As finalidades devem pautar as práticas, conferindo uma nova natureza ao imperativo.

Assim, mesmo numa disciplina de conteúdo específico, na qual não se tenha nenhuma prática que vise a futura sala de aula, por parte do docente, ou atividades com esse objetivo, é possível uma contribuição para a formação do licenciando no sentido de inserir a Física Moderna no Ensino Médio. Essa contribuição advém do vislumbrar da ação autônoma do docente formador no selecionar de finalidades, práticas, conteúdos e na liberdade de transitar entre as temáticas com clareza conceitual e justificativa pedagógica.

5.2. Os elementos em articulação na disciplina de Física Moderna – diagnóstico e proposições

A investigação realizada sobre a estruturação dos conhecimentos da Física Moderna, definindo os aspectos que influenciam ou mesmo determinam essa estrutura, nos auxilia na análise do diagnóstico em relação à disciplina de Física Moderna I, discutido no capítulo um.

Dentre as dificuldades apresentadas pelos alunos no processo de ensino-aprendizagem da disciplina, destacaram-se a seguintes:

- dificuldades com os conceitos da Física Clássica importantes para a compreensão da Física Moderna;
- dispersão dos conceitos e sentidos da Física Moderna, a dificuldade em compreender os temas mais relevantes e em expressar o seu aprendizado;
- confusão conceitual em relação à Dualidade Onda-Partícula.

Ao longo do processo de entendimento das origens dessas dificuldades, pudermos situá-las como decorrentes de um problema estrutural do conhecimento da Física Moderna, tratando-se de uma questão de âmbito curricular. Esse problema é elementar e não está restrito a uma disciplina em especial, ou seja, não consiste num problema cuja causa – e possível resolução – possa ser atribuído à didática do docente, em sua proposta, ou nas dificuldades de cognição dos licenciandos.

Através das análises dos materiais didáticos, sejam os que se dedicam à Física Moderna do Ensino Superior ou do Médio, percebemos que os temas abordados são diferentes, assim como o encadeamento a eles conferido.

Atribuímos tais distinções ao ato autoral, destacando a existência de diferentes seleções, organizações e formulações dos conteúdos. Entretanto, utilizando-se o olhar das finalidades sobre essa característica dos materiais

didáticos de Física Moderna, aprofundamos nosso entendimento ao perceber que as distinções são originadas por diferentes finalidades formativas, que são de escolha (por vezes implícitas) de seus autores.

Por exemplo, durante a análise dos materiais didáticos destinados ao Ensino Médio, pode-se perceber dois possíveis usos ao conceito da Dualidade Onda-Partícula. Um deles consiste em utilizá-la para resolver o impasse representado pelo Efeito Fotoelétrico, ou seja, o aparente paradoxo da radiação, que antes era tomada como onda, ser considerada como partícula nesse efeito. Outra apropriação feita do conceito, nas seleções e organizações analisadas, foi considerar a Dualidade Onda-Partícula pela sua relevância filosófica, como um conceito que sistematiza a nova física, diferentemente do uso anteriormente explicitado, mais utilitarista.

Há uma dinâmica entre os conteúdos modernos e as finalidades formativas que resulta na seleção e organização de conteúdos presente tanto nos materiais didáticos como nas disciplinas escolares. De forma geral, as finalidades formativas se fazem enviesadas nos conteúdos ensinados, por vezes com a intenção de serem implícitas, naturalizando e neutralizando o que é ensinado.

Os livros didáticos de Ensino Superior analisados apresentaram suas seleções e organizações pautadas em abordagens da quase-história, ou seja, buscam apresentar os conteúdos da Física Moderna segundo uma cronologia que tende a convencer o estudante de que esta é a maneira como o conhecimento foi construído e que sua forma de produção é razoavelmente lógica, confundindo-se com sua estrutura. Entretanto, os dois materiais por nós analisados, sob forma de dois didáticos, ainda que aparentemente equivalentes, apresentam diferenças nas suas seleções e organizações, revelando que consideram diferentes conceitos da Física Moderna como centrais, assim como os conceitos de cada obra se relacionam de maneira diferente.

Apesar de tomarem o fundo histórico para naturalizar o conhecimento apresentado, uma obra destaca a importância da Dualidade Onda-Partícula e sua relação com a interpretação probabilística da função de onda, enquanto outra destaca a quantização como conceito central e propõe a interpretação probabilística como ruptura à idéia de quantização.

Mesmo inserido numa perspectiva restrita do conteúdo da Física Moderna, ou seja, sem salientar finalidades externas, é perceptível que a Dualidade Onda-Partícula recebeu implicitamente diferentes formulações, funções e lugares nas

estruturas dos materiais analisados, o que contribui para as dificuldades no entendimento do conceito pelos licenciandos. Podemos afirmar que tanto os materiais didáticos de Física Moderna como a disciplina de formação de professores não possuem finalidades formativas explícitas.

As finalidades formativas da disciplina de Física Moderna I não estão claras apenas por se utilizam de livros texto que não as explicitam, mesmo porque essa é uma característica comum à maioria dos livros didáticos. O principal argumento consiste num aspecto que remete às finalidades presente no diagnóstico da disciplina, que consiste nas expectativas/avaliações dos alunos quanto ao ensino-aprendizado. Eles “pedem” abordagens diferenciadas aos conteúdos da disciplina, como as aplicações tecnológicas, uma ênfase no cotidiano ou mesmo na história e filosofia da ciência. De certa forma, talvez esperem abordagens que consideram os aproximar mais das práticas futuras.

As expectativas dos alunos são frustradas ao longo da disciplina, eles relatam aspectos que faltaram nela, que são em maioria os mesmos que foram relatados nas expectativas. A disciplina parece não ter como fim o que seus alunos esperam dela.

Destacamos, nesse momento, as expectativas/avaliações dos alunos porque à luz dos novos elementos advindos da investigação, percebe-se que a falta de “abordagens diferenciadas” refletem a falta de sentido dos conteúdos da Física Moderna na visão deles, ou seja, há a carência de finalidades como, por exemplo, outra, a de se pensar no Ensino Médio.

Existe um tímido questionamento sobre o “para quê serve isso” por parte dos alunos, que pode ser interpretado como a falta de clareza em relação às finalidades formativas que estão implícitas na estruturação dos conhecimentos da Física Moderna oferecida pela disciplina. Além disso, falta clareza aos licenciandos de que as finalidades formativas que estruturam a disciplina de Física Moderna I são diferentes daquelas que estruturarão os conteúdos no Ensino Médio.

A falta de sentido e as dificuldades de aprendizagem em relação ao conhecimento estruturado da Física Moderna decorrem do processo de naturalização e neutralização daquilo que é ensinado. Por meio desse processo, os conteúdos passam a ser visualizados como o conhecimento em si, e tornam-se implícitas as finalidades formativas que originaram a sua seleção, organização e formulação.

Assim, se para os alunos o aprendizado da Física Moderna carece de sentido, ao docente da disciplina esse aprendizado tem como fim ensinar o conteúdo como fim nele mesmo, ou como uma base para fins que serão determinados depois – trata-se novamente da naturalização e neutralização dos conteúdos.

A dimensão autônoma surge desneutralizando e desnaturalizando os conhecimentos de Física Moderna ensinados, por meio da explicitação, questionamento e escolha das finalidades formativas.

Esses aspectos nos levam a crer que a Física Moderna não está qualitativamente estabelecida enquanto disciplina escolar em qualquer nível de ensino. Seja porque não estão bem definidas as suas finalidades, ou se fazem implícitas. Seja porque, ainda que claramente definidas (como as justificativas da inserção da Física Moderna no Ensino Médio), os professores (formadores e da escola básica) não estão conseguindo fazer seu uso na elaboração das disciplinas.

Por outro lado, a dinâmica de naturalização e neutralização dos conteúdos, assim como da implicitação das finalidades, está presente em todas as disciplinas específicas da formação inicial. Nessa perspectiva, nos cabe o questionamento sobre as causas de não serem encontradas as mesmas dificuldades de aprendizado dos alunos nas disciplinas que tratam da Física Clássica. Ou, pelo menos, de por que tais dificuldades não sejam tão explícitas.

Acreditamos que tais dificuldades surjam no processo de ensino-aprendizado de qualquer conteúdo, seja ele da Física Moderna ou da Clássica. A diferença entre as “duas físicas” consiste na maneira como os conteúdos estão estruturados no Ensino Médio.

Vimos que a Física Moderna presente no Ensino Médio possui diferentes seleções e organizações em seus conteúdos, ou seja, não está devidamente estruturada nesse nível de ensino – diferentemente dos temas da Física Clássica.

As dificuldades de aprendizado dos professores em formação em relação aos temas da Física Moderna merecem uma maior atenção, exatamente porque esta física não está devidamente estabelecida na escola básica, o que fora percebido pela análise de algumas propostas.

Mesmo tendo o futuro professor dificuldades conceituais, quando o são em assuntos da Física Clássica, sua atividade profissional não ficará tão comprometida quanto ficaria se fosse com temas da Física Moderna, porque a Física Clássica já

está estruturada no Ensino Médio, e o futuro professor conta com materiais e com o aprendizado tácito que teve quando era aluno.

Em outras palavras, ao ensinar Física Clássica cabe ao licenciado realizar a ponte entre a sua formação e aquilo que realiza em sala de aula, porque os extremos que a ponte une estão bem estabelecidos. Entretanto, quando falamos da Física Moderna, ele precisa construir a ponte e ainda alicerçar o terreno de uma das extremidades, precisa definir o que realizar em sala de aula.

Assim, acreditamos que a dificuldade dos futuros professores em desenvolver os conteúdos da Física Moderna no Ensino Médio é, principalmente, devido às dificuldades de aprendizado da formação inicial e porque a seleção e organização dos conteúdos não estão estabelecidas na escola básica.

Por mais que os alunos apresentem dificuldades em compreender os conteúdos clássicos da Física, a estruturação fixa presente no Ensino Médio oferece aos alunos uma compreensão de como devem ser as coisas nesse nível de ensino. Em outras palavras, por mais que permaneçam implícitas as finalidades da Física Clássica no Ensino Médio, o fato desse conteúdo já estar consensualmente organizado. suprime os questionamentos e dificuldades que surgem no aprendizado da Física Moderna.

Para os licenciandos, fica a impressão de que existe a Física Clássica do Ensino Superior e a do Ensino Médio. E como as diferentes finalidades formativas se fazem implícitas, a justificativa das diferentes organizações de conteúdos consiste em que a física do Ensino Médio é uma simplificação daquela tratada no Ensino Superior, suprimindo-se os conceitos mais difíceis ou de matemática mais complexa. Nessa perspectiva, tal formação nos temas da Física Clássica não contribui para uma posterior atuação docente autônoma, no sentido que não explicita as diferentes finalidades formativas existentes entre a licenciatura e o Ensino Médio, suprimindo os elementos que auxiliarão os professores a selecionar seus conteúdos e abordagens coerentemente com as finalidades que devem ter em uma cultura escolar específica.

Destacada a importância das finalidades para desnaturalização e desneutralização dos conteúdos ensinados e, como decorrência, para a autonomia docente, podemos levantar algumas primeiras proposições sobre como poderiam ser articulados esses elementos na disciplina de Física Moderna I.

Acreditamos que a simples explicitação das finalidades formativas e a desnaturalização da seleção e organização dos temas presentes na disciplina de Física Moderna I consistem, por si só, em elementos que sinalizam para uma formação autônoma e contribuem para a melhoria da aprendizagem dos licenciandos.

Defendemos que as finalidades da disciplina devem ser explicitadas aos/ pelos professores formadores e seus alunos. Elas precisam ser destacadas e discutidas para que a disciplina seja pensada de modo a cumprir a sua missão.

A existência das finalidades implícitas nos processos de ensino-aprendizado é o cerne da falta de sentido do aprendizado. Os conteúdos passam a ser justificados pelo discurso da tradição, da importância do conhecimento para si próprio ou que seu aprendizado é importante para continuar estudando.

Referimos-nos ao discurso, porque nenhum processo de ensino-aprendizagem tem como resultado apenas o aprendizado do conteúdo em si; seu objetivo não é apenas ensinar conteúdos precursores de outros conteúdos. A partir do objetivo de ensinar os conteúdos, são elencadas atividades, exercícios, questões, textos, entre outros. Por outro lado, é necessário definir quais são os conteúdos que serão aprendidos, e nessa seleção apresentam-se outros fins, dentre os quais os epistemológicos e profissionais, ou seja, quais são os conteúdos importantes para a própria física e quais são aqueles com relevância para formar o professor? Dessa maneira, a disciplina vai se estruturando e se justificando.

Além de ter claro em quais finalidades a disciplina está pautada, se faz necessário o esclarecimento destas aos alunos – eles devem saber o que podem esperar dela. Ou, de certa forma, buscar contemplar suas expectativas, seus objetivos, reformulando a disciplina em questão.

A Física Moderna somente se constitui como disciplina escolar a partir do momento que lhe são atribuídas finalidades formativas. Explicitar os “por quês?” e “para quês?” é o melhor movimento a ser realizado para a (re)formulação de qualquer proposta de ensino, porque ter consciência deles atribui um significado ao ato pedagógico e também porque as finalidades – por serem inerentes - estarão presentes de qualquer forma, mesmo que implícitas.

Ao esclarecer quais são suas finalidades, todas as escolhas realizadas na disciplina são justificadas. Não somente a seleção, organização e formulação dos

conteúdos, mas as abordagens e práticas desenvolvidas ao longo da disciplina têm uma razão de ser.

A nossa defesa é a de que a Física Moderna deva ser estabelecida no Ensino Médio pelo próprio professor e que para realizar tal feito de forma autônoma é necessária a percepção e discussão das finalidades.

Ao professor, ao conjunto docente e até mesmo à comunidade escolar, cabe a escolha das finalidades formativas. Ao mesmo tempo que a autonomia reside no distanciamento crítico, no entendimento das demandas e numa concepção da função da escola, ela somente pode ser construída pelo professor ao longo de suas escolhas.

É com essa intenção que Freire (1996, p.41) se faz tão relevante: a autonomia só se faz presente e se desenvolve quando é exercida.

> "É com ela, a autonomia, penosamente construindo-se, que a liberdade vai preenchendo o "espaço" antes "habitado" por sua *'dependência'*. Sua autonomia que se funda na *'responsabilidade'* que vai sendo assumida." (p. 36-7)

A formação do professor deve contribuir para esclarecer sobre as diversas possibilidades em que sua atuação pode (e deve) realizar-se diante da complexidade educacional e, além disso, oferecer aos licenciandos oportunidades para exercitar escolhas.

Tais ações transferem ao futuro professor a responsabilidade de uma atuação autônoma. Entender quais são as finalidades da disciplina de Física Moderna I, por que o são e o contexto no qual se inserem, sinalizam ao licenciando as possibilidades de sua ação no que se refere ao currículo, por meio de escolhas conscientes e autônomas enquanto professor.

Dessa forma, cabe o questionamento de Chervel de como as finalidades são reveladas aos professores, como *cada docente deve refazer por sua conta todo o caminho e todo o trabalho intelectual que levam às finalidades ao ensino?* (p.191)

Portanto, diante das dificuldades de aprendizado, de inserção no Ensino Médio e o não atendimento às expectativas dos futuros professores, é que defendemos a importância dos formadores em relação às finalidades formativas das disciplinas que ministram, de modo que a seleção de seus conteúdos, a seqüência, as abordagens conferidas, as práticas estabelecidas, tudo reflita o professor que se deseja formar.

Dessa forma, a discussão sobre as finalidades pode contribuir para a inserção da Física Moderna no Ensino Médio, através desses futuros professores. Seus conteúdos precisam receber missões que motivem sua inserção e, a partir do momento que as finalidades sejam delegadas aos conteúdos pelos professores em atuação, a Autonomia se faz associada.

Por isso, defendemos que perceber a seleção e organização dos temas da Física Moderna nos materiais e, além disso, propor escolhas aos professores em formação com base em finalidades, são ações que expressam o exercício da autonomia, posto que devem ser realizadas escolhas explícitas de finalidades que refletem uma concepção de ensino.

> "(...) Como professor, tanto lido com minha liberdade quanto com minha autoridade em exercício, mas também diretamente com a liberdade dos educandos, que devo respeitar, e com a criação de sua autonomia bem como com os ensaios de construção da autoridade dos educandos. Como professor não me é possível ajudar o educando a superar sua ignorância se não supero permanentemente a minha. Não posso ensinar o que não sei. Mas, esta, repito, não é saber de que apenas devo falar e falar com palavras que o vento leva. É saber, pelo contrario, que devo viver concretamente com os educandos. O melhor discurso sobre ele é o exercício de sua prática."(Freire, 1996, p.37).

As finalidades como objeto de ensino não se configuram como um conteúdo a ser explanado, mas como uma prática, um exercício da Autonomia, considerando que ela é uma característica do professor que queremos formar.

As finalidades formativas permitem ao professor justificar a escolha de temas realizados e as abordagens que realiza. Além de inserir a Física Moderna no Ensino Médio, não o faz de qualquer forma, mas exercitando sua autonomia, ao atribuir finalidades formativas àquilo que ensina, tornando-o mais significativo ao seu aluno.

De maneira análoga, desejamos professores formadores autônomos e que promovam a autonomia aos futuros professores, por isso cabe ao professor formador o questionamento sobre a função do seu ensino, no sentido de perceber e reelaborar os saberes ensinados com base em finalidades escolhidas. Ele, num atuar autônomo, estabelece o processo de ensino-aprendizado pautando-se no que objetiva como resultados.

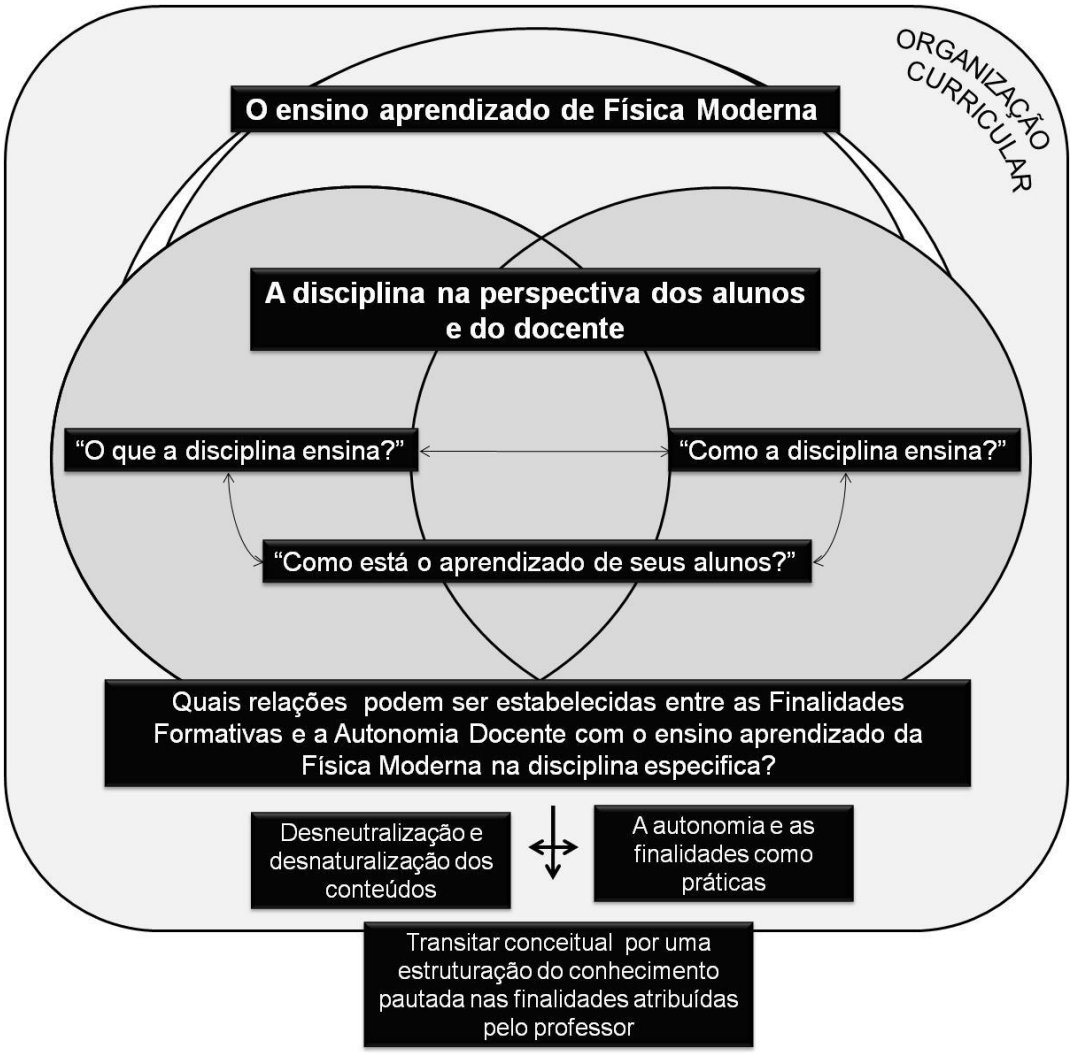


Figura 5.2: A relação entre as finalidades formativas e a autonomia docente na disciplina de Física Moderna I

Ao serem questionadas as finalidades formativas atreladas à seleção e organização dos conteúdos da Física Moderna processa-se a desnaturalização e desneutralização dos temas, permitindo e propiciando uma reestruturação coerente dos temas pelo professor e o seu transitar conceitual nessa nova estrutura. Todas as relações entre as finalidades, a autonomia docente e a disciplina de Física Moderna I referem-se à proposição de práticas ao professor formador e ao licenciando e foram sintetizadas na figura anterior.

Discutidas a partir do olhar sobre a seleção e organização dos conteúdos, acreditamos que a explicitação das finalidades possa representar uma forma de desnaturalizar o conteúdo da Física Moderna e contribuir para um transitar conceitual do professor formador e dos licenciandos. Essa explicitação possibilita, como decorrência, a melhoria significativa de aprendizado dos conteúdos da Física

Moderna na formação inicial e a inserção da Física Moderna no Ensino Médio por meio de uma autonomia profissional.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho surge diante da necessidade de compreensão das dificuldades de aprendizado relacionadas à disciplina de Física Moderna I, oferecida ao curso de licenciatura pelo Instituto de Física da Universidade de São Paulo. Seu objetivo é contribuir para um aprendizado mais significativo da nova física pelos futuros professores, ainda na sua formação inicial.

Diante das dificuldades levantadas por meio do diagnóstico, optou-se por investigar aquelas aparentemente relacionadas com a estruturação dos conteúdos da Física Moderna. Dessa maneira, enveredou-se pela seleção e organização dos seus temas, presente nos materiais didáticos utilizados no Ensino Superior assim como os livros didáticos e propostas acadêmicas voltadas ao Ensino Médio. A partir desse estudo, percebeu-se que a física do século XX não se apresenta qualitativamente estruturada em nenhum nível de ensino. Ela é apresentada com diferentes encadeamentos e formulações, além de estar revestida do que alguns autores denominam como quase-história, especialmente no ensino superior. Paralelamente, as seleções adotadas na maior parte dos livros de ensino médio carecem até mesmo de lógica interna.

A partir desses resultados, percebeu-se que não havia motivos explícitos que justificassem as diferentes seleções, organizações e formulações, o que nos levou ao questionamento sobre quais são os seus determinantes, ou seja, de por que se instauraram dessa forma. Além dos aspectos epistemológicos que estruturam os conhecimentos científicos, investigou-se numa perspectiva cultural, qual a relação entre os conhecimentos científicos estruturados e os conteúdos abordados nos processos de ensino aprendizado. Nessa perspectiva, buscamos definir a cultura escolar como o resultado de uma reelaboração criativa das culturas presentes na sociedade e na academia, e não como meras transposições.

A cultura presente nas escolas é materializada por meio da elaboração de saberes escolares, sobre os quais agem imperativos que unem as práticas didáticas às finalidades formativas, sendo que as últimas acabam por ficar implícitas no processo de neutralização e naturalização sofrido pelos saberes ensinados e aprendidos nas instituições escolares.

A naturalização e neutralização dos saberes dificultam uma atuação autônoma do professor, pois para isso precisaria definir qual a função do ensino e ser ele quem atribui finalidades formativas a sua ação pedagógica.

Assim, a estruturação do conhecimento da Física Moderna I possui finalidades formativas implícitas, que percebemos sutilmente nos materiais didáticos analisados pelos diferentes conceitos centrais, no caso dos livros do Ensino Superior, e das diferentes seleções e organizações presentes nos materiais destinados ao Ensino Médio. Tal implicitação das finalidades, em conjunto com a abordagem quase-histórica conferida aos conteúdos, reforça que a estrutura apresentada é a única possível – trata-se da naturalização e neutralização dos conteúdos modernos que dificulta o aprendizado e a seleção e organização autônomas.

Retomando-se a disciplina de Física Moderna I à luz das finalidades formativas e da autonomia docente, percebe-se que além das dificuldades dos futuros professores relacionadas à estrutura da nova física, a falta de significado nesse aprendizado, por meio das expectativas frustradas dos licenciandos em relação à disciplina, mostra a falta de clareza de quais são suas finalidades formativas. Com isso, não estamos descartando que existam também outras dificuldades de aprendizado, especialmente considerando, como já exemplificamos, no caso da dualidade onda-partícula, até mesmo a ausência de consolidação de conceitos clássicos básicos.

Nessa perspectiva, a autonomia docente e as finalidades podem ser articuladas à disciplina de Física Moderna I objetivando-se a clareza e explicitação das finalidades por parte do professor formador, que acaba por poder estruturar autonomamente a disciplina, pautando-a nas finalidades escolhidas.

Além disso, a divulgação ou discussão dessas finalidades com os licenciandos, e de que forma elas estruturam a disciplina, contribuem para a formação autônoma do futuro professor, no sentido que este vislumbra a possibilidade de selecionar e organizar os conceitos a partir das finalidades que também serão por eles, no futuro, escolhidas. Acreditamos que tal compreensão também possa contribuir para o aprendizado mais significativo dos conceitos da Física Moderna e para sua posterior inserção autônoma no Ensino Médio, pois permite que o futuro professor compreenda os conceitos mais relevantes de acordo com as finalidades escolhidas, que ele perceba a possibilidade de reestruturar e

reformulá-los, sendo que para isso o entendimento da Física Moderna é fundamental.

Sabe-se que a presente investigação encontra-se mais no diagnóstico do problema apontado do que na proposição de soluções, constituindo uma de suas limitações. Por outro lado, temos os primeiros elementos e indícios para trilharmos a busca por propostas que concretizem o até então desenvolvido. Algumas iniciativas preliminares já foram, inclusive, pensadas e implementadas, nos oferecendo aproximações iniciais ao problema.

Nossa sensação é de que seja possível, de fato, tomar as finalidades formativas como elementos que estruturem os conceitos da Física Moderna. Nesse sentido entra a dimensão autônoma do fazer docente, pois a seleção das finalidades, conteúdos e abordagens consistem em ações que compõem o seu papel.

BIBLIOGRAFIA

ALVARENGA, B., MÁXIMO, A. *Curso de física*. v.3. São Paulo: Scipione, 1997*[15]

_____ *Curso de física*. v.3. São Paulo: Scipione, 2000*

ALVETTI, M. A. S., DELIZOICOV, D. Ensino de física moderna e contemporânea e a Revista Ciência In: *VI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física.* Florianópolis, 1998.*

AMALDI, U. *Imagens da Física: As idéias e as experiências, do pêndulo aos quarks.* Vol. único. São Paulo: SCIPIONE, 1995.*

AUBRECHT, G. J. Redesigning courses and textbooks for the twenty-first century. *American Journal of Physics,* Woodbury, v. 57, n. 4, p. 352-359, Apr. 1989. *

BARBOSA, Jr. U. B.; PACCA, J. L. A mecânica quântica no ensino médio: como ser construtivista. In: *XVII Simpósio Nacional de Ensino de Física, São Luís, 2007.*

BARDIN, L. *Análise de conteúdo.* Lisboa: Edições 70, 1995.

BARRELO JR. & CARVALHO, A. M. P. Argumentação no discurso oral e escrito de alunos do ensino médio em uma sequência didática de física moderna. In: *XII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física.* Águas de Lindóia, 2010

BASTOS FILHO, J. B. O ensino de mecânica quântica e o paradoxo da compreensão. In: *IX Encontro de Pesquisa em Ensino de Física.* Jaboticatubas, 2004.

BONJORNO, J. R.; BONJORNO, R. A.; BONJORNO, V.; RAMOS, C. M. *Física: história & cotidiano 3*. São Paulo: FTD, 2003.

BORN, M. *Natural Philosophy of Cause and Chance*, Londres: Oxford University Press, 1949.*

BRASIL. *PCN+ Ensino Médio: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio.* Ciências da natureza, Matemática e suas tecnologias. Ministério da Educação/Secretaria da Educação Média e Tecnológica, Brasília, 2002.

BROCKINGTON, G. & PIETROCOLA, M. O ensino de física moderna necessita ser real?¥. In: *XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física*. Rio de Janeiro, 2005.

BROCKINGTON, J. G. de O. *A realidade escondida: a dualidade ondapartícula para aluno do ensino médio*, 2005. Dissertação. Universidade de São Paulo. São Paulo.

CABRAL, F.; LAGO, A. *Física 3*. São Paulo: Harbra, 2002.*

CAMARGO, A. J. *A introdução de física moderna no 2o grau*: obstáculos e possibilidades. Dissertação. UFSC. Florianópolis, 1996. *

CANATO JUNIOR, O. *Texto e contexto para o ensino de física moderna e contemporânea na escola média*, 2003. Dissertação. Universidade de São Paulo. São Paulo.

[15] As referências terminadas com * consistem nas citadas indiretamente no corpo da dissertação.

CARRON, W. e GUIMARÃES, O. *As faces da Física.* Vol. Único. Ed. Moderna. São Paulo – SP, 1997. *

CHERVEL, A. História das disciplinas escolares: reflexões sobre um campo de pesquisa. *Teoria & Educação*, Porto Alegre, v. 2, p. 177-229, 1990.

CHEVALLARD, Y. *La Transposición Didáctica: Del Saber Sabio Al Saber Enseñado.*La Pensée Sauvage, Argentina, 1991.*

COLBERT, F. *Uma perspectiva sócio-histórica do conteúdo de Física Moderna nos livros didáticos para o ensino médio no Brasil (1950-2000)*, 2004. Dissertação. Universidade Federal da Bahia. Salvador.

COMPTON, A. A quantum theory of the scattering of x-rays by light elements. *The physical review*, College Park, v. 21, n. 5, p. 483-502, may 1923.

COMPTON, A., SIMON, A. Measurements of *β*-Rays Associated with Scattered X-Rays. *Phys. Rev.*, v. 25, n. 3, p. 306-313, mar 1925.

CONTRERAS, J. *Autonomia de professores.* São Paulo: Cortez, 2002.

CUCHE, D. *A noção de cultura nas Ciências Sociais.* Lisboa: Fim de Século Edições, 1999.

DIAS, A. S.; ALVES, E. de O. A Inserção da Física Moderna no Ensino Médio e a Utilização de Figuras na Abordagem do Conteúdo Dualidade Onda-Partícula em Livros Didáticos de Física do Ensino Médio. In: *XVII Simpósio Nacional de Ensino de Física.* São Luiz, 2007.

EINSTEIN, A. Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt. *Annalen der Physik* 17: 132-148. 1905. [16]

_____. Über die Entwicklung unserer Anschauungen über das Wesen und die Konstitution der Strahlung. *Verhandlungen der Deutsche physikalische Gesellschaft* 7: 487-500, 1909. [17]

EISBERG & RESNICK. *Física Quântica*. 4. ed.. Rio de Janeiro: Campus, 1986.

FARIA FILHO, L. M. *et al*. A cultura escolar como categoria de análise e como campo de investigação na história da educação brasileira. *Educação & Pesquisa*, vol. 30, n. 1, jan/abr. 2004, p.139-160.

FERREIRA, A. *Minidicionário da língua portuguesa*. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1993;

FISCHLER, H., LICHTFELDT, M. Modern physics and students' conceptions *International Journal of Science Education*, London, v. 14, n. 2, p. 181-190, Apr./June 1992. *

FORQUIN, J. Saberes escolares, imperativos didáticos e dinâmicas sociais. *Teoria & Educação*, Porto Alegre, n. 5, p. 28-49, 1992.

[16] Tradução em português: EINSTEIN, A. Sobre um ponto de vista heurístico a respeito da produção e transformação da luz. In: STACHEL, J. (org.). *O ano miraculoso de Einstein: Cinco artigos que mudaram a face da Física.* Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 2001.

[17] Tradução em português: EINSTEIN, A. Sobre o desenvolvimento das nossas concepções sobre a natureza e a constituição da radiação. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 27, n. 1, p. 77 - 85, mar 2005, traduzido por Carola Dobrigkeit Chinellato.

FREIRE JR., O. *Estudo sobre interpretações (1927-1949) da Teoria Quântica: Epistemologia e Física*, 1990. Dissertação. Universidade de São Paulo. São Paulo.

FREIRE, P. *Pedagogia da Autonomia: saberes necessários à prática educativa.* São Paulo: Paz e Terra, 1996.

GARCÍA-CASTAÑEDA, M.. An abuse with the wave properties of matter. *American Journal of Physics*, College Park, v. 53, n. 4, p. 373-374. Apr. 1985*

GASPAR, A. *Física - Eletromagnetismo, Física Moderna*. v.3. São Paulo: Ática, 2000.*

_____ *Física: Eletromagnetismo e Física Moderna 3*. São Paulo: Ática, 2003.*

GAUTHIER, C. (org.). *Por uma teoria da pedagogia: pesquisas contemporâneas sobre o saber docente.* Ijuí: Editora UNIJUÍ, 1998.

GIL, D. P., SENENT, F., SOLBES, J. La introducción a la física moderna: un ejemplo paradigmático de cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, p. 209-210, set. 1987. n. extra.*

GIL, D. P., SOLBES, J. The introduction of modern physics: overcoming a deformed vision of science. *International Journal of Science Education*, London, v. 15, n. 3, p. 255-260, May/June 1993. *

GRECA, I.; MOREIRA, M. A. Uma revisão de literatura sobre estudos relativos ao ensino da Mecânica Quântica introdutória. *Investigações em Ensino de Ciências,* Porto Alegre, v. 6, n. 1, p. 29-56, mar. 2001.

GRUPO DE REELABORAÇÃO DO ENSINO DE FÍSICA. São Paulo: Editora da USP, v.1 Mecânica, 1993a.*

_____. São Paulo: Editora da USP, v.2 Física térmica e óptica, 1993b.*

_____. São Paulo: Editora da USP, v.3 Eletromagnetismo, 1995.*

HOLTON, G. As raízes da Complementaridade. *Revista Humanidades*, Brasília, v.2 n. 9, p. 49-70, out./dez. 1984.

IMMICH, V.; TERRAZAN, E. A. NASCIMENTO, T. B. Caracterização de “problemas” de física moderna em livros didáticos de física. In: *XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física.* Rio de Janeiro, 2005.

JAMMER, M. *The conceptual development of quantum mechanics.* New York: McGraw-Hill, 1966.*

_____ *The philosophy of Quantum Mechanics: The interpretations of QM in historical perspective.* New Jersey: John Wiley and Sons, 1974.

JONES, D. G. C. Teaching modern physics: misconceptions of the photon that can damage understanding. *Physics Education*, Bristol, v. 26, n. 2, p. 93-98, Mar. 1991*

JULIÀ, D. A cultura escolar como objeto histórico. *Revista Brasileira de História da Educação*, Campinas, n. 1, p. 9-44, 2001.

KALMUS, P. I. Particle physics at A-level-the universities’ viewpoint. *Physics Education*, Bristol, v. 27, n. 2, p. 62-64, Mar. 1992. *

KIDD, R.; ARDINI, J. & ANTON, A. Evolution of the modern photon. *American Journal of Physics* 57: 27-35, 1989. *

KRAGH, H. A sense of History: history of science and the teaching of introductory quantum theory. *Science & Education*, Dordrecht, v. 1, p. 349-363, 1992.*

KUHN, T. S. *Black-body theory and the quantum discontinuity (1894- 1912)*. Oxford: Oxford University Press, 1978.*

_____. Revisiting Planck, *Hist. Stud. Phys. Sci*. 14, 231 (1984). *

LARAIA, R de B. *Cultura: um conceito antropológico.* Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editora, 2007.

LOCHI, J. & GARCIA, N. M. D. Física Moderna e Contemporânea no planejamento dos professores de Física das Escolas Públicas do Estado do Paraná. In: *XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física*. Vitória, 2009.

LORENTZ, H. A. Sur l'application au rayonnement Du théorème de l'équipartition de l'énergie. Pp. 12-39, in: LANGEVIN, P. & DE BLOGLIE, M. (eds.). *Théorie Du rayonnement et les quanta*. Paris: Gauthier-Villars, 1912.*

LUDKE, M. & ANDRÉ, M. E. D. A. *Pesquisa em Educação: Abordagens qualitativas.* São Paulo: EPU, 1986

MEHRA, J. & RECHENBERG, H. *The historical development of quantum theory.* New York: Springer, 1982- 1987. 5 vols.*

MELO, A. C. S. de; CRUZ, F. F. de S. O gênero histórico priorizado em textos didáticos de física: contribuições ou distorções para o estudo da natureza da luz. *XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física.* Curitiba, 2008.

MERZBACHER, E. How shall we teach physics in the 21st century? *American Journal of Physics*, Woodbury, v. 58, n. 8, p. 717, Aug. 1990*

MILLIKAN, A. R. A direct photoeletric determination of Planck's "*h*". *Physical Review*, v.7, n.3, p. 355-390, 1916.

MONTEIRO, M. A.; NARDI, R. As abordagens dos livros didáticos acerca da física moderna e contemporânea: algumas marcas da natureza da ciência. In: *XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física.* Curitiba, 2008.

MONTENEGRO, R.L. & PESSOA Jr., O.: "Interpretações da Teoria Quântica e as Concepções dos Alunos do Curso de Física", *Investigações sobre Ensino de Ciências 7(2)*, 2002.

MOREIRA, E; LIMA, M. C. A. FÍSICA MODERNA: Conteúdo para Vestibular das Universidades Públicas. In: *XVII Simpósio Nacional de Ensino de Física.* São Luiz, 2007.

MOSELEY, M.A. The High-Frequency Spectra of the Elements – Parte II. *Phil. Mag.*, n. 26, 1913.

NICOLAU, G. F.; PENTEADO, P. C.; TOLEDO P. e TORRES, C. M. *Física Ciência e Tecnologia*. Vol. Único. Ed. Moderna. São Paulo - SP, 2001. *

NUSSENZVEIG, M. *Curso de física básica.* São Paulo: Edgard Blücher, 1998. v.4 Ótica, relatividade e física quântica*

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa "física moderna e contemporânea no ensino médio". *Investigacões em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v. 5, n. 1, p. 23-48, mar. 2001.

OSTERMANN, F., PRADO, S. D., RICCI, T. F. Evolução conceitual de professores de física do ensino médio sobre o fenômeno da interferência quântica. In: *X Encontro de Pesquisa em Ensino de Física.* Londrina, 2006.

OSTERMANN, F. & RICCI, T. F. Conceitos de física quântica na formação de professores: relato de uma experiência didática centrada no uso de experimentos virtuais. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 22(1), 9-35, abril, 2005.

PAULO, I. J. C. de. *Elementos para uma proposta de inserção de tópicos de física moderna no ensino de nível médio*. Dissertação. UFMT. Cuiabá, 1997.*

PEREIRA, J. D. A pesquisa dos educadores como estratégia para construção de modelos críticos de formação docente. In: PEREIRA, J.D. & ZEICHNER, K. M (orgs.). *A pesquisa na formação e no trabalho docente.* Belo Horizonte: Editora Autêntica, 2002.

PEREIRA, O. da S. *Raios cósmicos:* introduzindo física moderna no 2o. grau. Dissertação. Universidade de São Paulo. São Paulo, 1997.*

PESSOA JR., O. *Conceitos de Física Quântica.* 3. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2006.

PINTO, A.C. e Zanetic, J. É possível levar a física quântica para o ensino médio? *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, 16(01), p. 07-34, abr 1999.

PORLÁN ARIZA, R. *et al*. Conocimiento profesional y epistemología de los profesores I: teorías, métodos e instrumentos. *Enseñanza de las ciencias*, Barcelona, 15 (2), p. 155-171, 1997.

POTENZA, B. G. G.; SIGHEMATSU, P. T.; KAWAMURA, M. R. D.; BECHARA, M. J. Um levantamento do aprendizado da dualidade onda partícula em cursos de graduação. In: *XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física.* Curitiba, 2008.

POTENZA, B.G.G.; KAWAMURA, M. R. D.; BECHARA, M. J. A Dualidade Onda-Partícula através de atividades na formação inicial de professores. In: *XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física*. Vitória, 2009.

PUIG & TRILLA. “Animação sociocultural”, In: *Pedagogia do Ócio.* Porto Alegre: Artmed, 2004.

RAMALHO, F.; FERRARO, N. G.; SOARES, P. A. de T.*Os fundamentos da física 3*. 8ªed. rev. e ampl. São Paulo: Moderna, 2003.*

RAMALHO, F. Jr.; NICOLAU G. F. e TOLEDO P. A. *Os Fundamentos da Física.* Vol. 3. Ed. Moderna. São Paulo – SP, 2003. *

ROSA, P. S. *Louis de Broglie e as ondas de matéria*, 2001. Dissertação. UNICAMP. Campinas.

SANTOS, J. L. dos S. *O que é cultura*. São Paulo: Brasiliense, 2006.

SANTOS, F. F. & OLIVEIRA, A. L. Sobre a inserção de tópicos de física moderna no ensino médio à perspectiva de professores. In: *XIX Simpósio Nacional de Ensino de Física*. Manaus, 2011

SAVIANI, N. A conversão do saber científico em saber escolar. In: *Saber escolar = currículo e didática*. Campinas: Autores Associados, 1954.

SEGRÈ, E. *Dos raios X aos quarks*. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1987.

SHULMAN, L. S. Knowledge and Teaching: Foundations of the New Reform. *Harvard Educational Review*, Cambridge, v.57, n.1, p.4-14, fev 1987.

SINGH, C. (2008). Student understanding of quantum mechanics at the beginning of graduate instruction, *American Journal of Physics*, 76(3), 277-287.

SILVA, D. N. *Física Paraná - volume único* – série novo Ensino Médio- 6ª ed. São Paulo: Ática, 2003.*

SILVA, I. L. & SILVA, A. P. B. A Teoria de Bohr-Kramers-Slater para a mecânica quântica: perspectivas para o Ensino de Física. In: *XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física.* Curitiba, 2008.

SILVA, M. P., BARROS, M. A., LABURÚ, C. E. Dificuldades de Implementação de Tópicos de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio por Futuros Professores. In: *XIX Simpósio Nacional de Ensino de Física*. Manaus, 2011.

SILVA, P. R. B. DA & TERRAZAN, E. A. Utilizando atividades didáticas baseadas em textos de divulgação cientifica como recurso para o ensino de física moderna e contemporânea. In: *XVII Simpósio Nacional de Ensino de Física.* São Luiz, 2007.

SIQUEIRA, M. & PIETROCOLA, M. A transposição didática aplicada a teoria contemporânea: a física de partículas elementares no ensino médio. In: *X Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Física*. Londrina, 2006.

SONZA, A. P. *Uma introdução de tópicos de Física Moderna no Ensino Médio*, 2007. Dissertação. UNIFRA. Santa Maria.

SONZA, A. P. & FAGAN S. B. Investigação sobre abordagens de física moderna no ensino médio. In: *V Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*. Bauru, 2005.

STANNARD, R. Modern physics for the young. *Physics Education*, Bristol, v. 25, n. 3, p. 133, May 1990. *

STUDART, N. Invenção do Conceito de Quantum de Energia segundo Planck. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 22, n. 4, p. 523-535, dez. 2000.

TERRAZZAN, E.A. A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de Física na escola de 2º grau. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, 9(3), p. 209-214, dez 1992.

_____. *Perspectivas para inserção da Física Moderna na escola média*. Tese. Universidade de São Paulo. São Paulo. 1994*

TIPLER & LLEWELLYN. *Física Moderna*. 3. ed.. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

VALENTE, L. *A Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio: caminhos para a sala de aula*. Dissertação. Universidade de São Paulo. São Paulo. 2009.

VALENTE, L., BARCELLOS, M. E., SALEM, S., KAWAMURA, M. R. D. MC^2: Uma abordagem para a física moderna e contemporânea no ensino médio. In: *XVII Simpósio Nacional de Ensino de Física.* São Luiz, 2007.

VERTCHENKOA, L. & WERKHAIZERB, F. E. Trabalhando fundamentos de mecânica quântica no mestrado profissionalizante. In: *XVII Simpósio Nacional de Ensino de Física.* São Luiz, 2007.

WHEATON, B. R. *The tiger and the shark. Empirical roots of wave-particle dualism.* London: Cambridge University Press, 1983.*

WILSON, B. Particle physics at A-level - a theacher's viewpoint. *Physics Education*, Bristol, v. 27, n. 2, p. 64-65, Mar. 1992. *

WHITTAKER, M. A B. History and quasi-history in physics education – part 1. *Physics Education*, Bristol, v.14, n.2, p. 108-112, mar 1979.

ZANETIC, J.; MOZENA, E. R.. *Evolução dos conceitos da física*. São Paulo: Instituto de Física da Universidade de São Paulo, 2004 (Notas de aula).

ANEXOS

Programa da disciplina Física Moderna I elaborado pelo docente

Programação

A imagem (modelo) de Matéria. As evidências químicas de que toda a matéria constituída de mesmos elementos (químicos) e que as massas desses elementos são quantizadas. Evidências físicas da quantização da massa: grandezas físicas da Termodinâmica: a energia interna e sua observação através do calor específico molar a volume constante para gases e sólidos. Bases da estatística clássica Maxwell-Boltzmann e o teorema de Boltzmann para as distribuições de grandezas físicas em um sistema de muitas partículas (clássicas). Evidências de existência de cargas na matéria neutra: Eletrólise. O Experimento de Thomson. O experimento de Millikan. Radiação de um corpo por efeito de temperatura. Leis (empíricas) de emissão: lei de deslocamento de Wien e Lei de Stephan-Boltzmann. Determinação da radiança espectral segundo Rayleigh-Jeans. A proposta de Planck para a energia dos osciladores da matéria e a radiança espectral.

A proposta de Einstein de caráter dual da radiação eletromagnética – onda e partícula – apresentando os fótons. O que difere da proposta de Planck no caso da radiação por efeito de temperatura. A energia, a intensidade e o momento linear da radiação eletromagnética: no eletromagnetismo clássico e na visão fotônica. A compatibilidade entre as duas. O efeito fotoelétrico – o que é e suas principais características. A proposta de Einstein para descrever o efeito fotoelétrico. Espalhamento de raios X pela matéria – efeitos Thomson e Compton. A produção de raios X - características do espectro. As linhas finas (monocromáticas) ou espectro característico (das transições atômicas no material a serem revisitadas). Difração de raios X por cristais – o caráter ondulatório revelado na difração de Bragg. Produção de um par de partícula-antipartícula pela absorção de um fóton pela matéria. A aniquilação de um par de uma partícula e sua anti-partícula gerando (pelo menos) dois fótons. A competição entre os vários processos associados à absorção e espalhamento de radiação eletromagnética em função da freqüência da radiação. O espectros de linhas de emissão (e de absorção) emitidas pelo átomo de H - comprimentos de onda emitidos em forma de séries. O modelo de Thomson – sucesso e problemas. O experimento de Rutherford. Hipóteses de Rutherford para a interação que ocorre entre as partículas alfa do feixe e o alvo com núcleos de ouro. Determinação da Seção de Choque para o espalhamento de Rutherford. O modelo de Bohr para a estrutura dos átomos e as transições atômicas. Hipóteses. Resultados: raios, velocidades, momento angular e energia do movimento relativo do elétron (em relação ao núcleo). As transições entre estados atômicos do H segundo o modelo de Bohr e as linhas espectrais emitidas experimentalmente. O princípio de correspondência de Bohr. O princípio de de Broglie sobre o caráter dual da matéria. O princípio de incerteza e a energia de ponto zero. As funções de onda na interpretação probabilística de Max-Born As equações de autofunções de energia ou equação de Schroedinger independente do tempo. Os auto valores de energia do potencial infinito. O caso da partícula livre - auto-estados não normalizáveis e energias não quantizadas. Reinterpretação da conservação da partícula e as energias (não quantizadas). A partícula diante de uma barreira de potencial – o efeito túnel.

Questionário 1: acerca da aprendizagem da dualidade

Disciplinas de Física Moderna I ou Física V – Avaliação!

Este questionário faz parte de uma pesquisa que busca elementos para melhorar o ensino/aprendizado das disciplinas introdutórias de Física Moderna nos cursos de Física. Por favor, responda ao questionário com sinceridade. Nas questões de conteúdo, responda com o seu conhecimento do momento, sem consulta a livros/notas de aula. Não é necessário se identificar.

1. Você cursou ☐ Física Moderna I Ano em que cursou _____ Diurno ☐ Noturno ☐
   ☐ Física V Ano em que cursou _____ Diurno ☐ Noturno ☐
2. Quanto aos materiais didáticos utilizados, assinale o que você de fato utilizou nessa disciplina?
   ☐ Lista de exercícios. Quantas? ☐ Todas ☐ Mais de 50% ☐ Menos de 50%
   ☐ Notas de aula. Quantas? ☐ Todas ☐ Mais de 50% ☐ Menos de 50%
   ☐ Sites. Quais? _____
   ☐ Livros. Quais? _____
   ☐ Livros de divulgação científica. Quais? _____
   ☐ Outros materiais _____
3. Como você avalia sua aprendizagem, nessa disciplina, em relação a
   aspectos conceituais (idéias físicas) Nota: _____ (atribua nota de 1(pouco) a 5(muito))
   Foi agradável o estudo deste aspecto? Nota: _____ (atribua nota de a 5)
   Foi útil o estudo desse aspecto? Nota: _____ (atribua nota de a 5)
   domínio do formalismo (quantitativo) Nota: _____ (atribua nota de 1(pouco) a 5(muito))
   Foi agradável o estudo deste aspecto? Nota: _____ (atribua nota de a 5)
   Foi útil o estudo desse aspecto? Nota: _____ (atribua nota de a 5)
4. Como você avalia a disciplina que cursou? Quais aspectos introduziria para melhorá-la, do ponto de vista do aprendizado, dos temas abordados, das condições, etc...? Especifique o que considera útil modificar e com qual propósito.

_____
_____
_____
_____
_____

5. Enumere o que você aprendeu de mais relevante, em termos de conceitos, fenômenos, idéias, técnicas, etc.

_____
_____
_____
_____

6. Se você tivesse que explicar, aos alunos ingressantes no curso, em poucas linhas, o que a Física entende por dualidade onda-partícula, o que diria?

_____
_____

7. Represente um fenômeno da interação da radiação eletromagnética com a matéria na qual se mostre o caráter de partícula da radiação, à sua escolha, deixando claro: quem interage com a matéria, se há alguma modificação na estrutura dela, e quem sai da matéria após a interação.

Matéria

8. Escreva a equação de conservação de energia do fenômeno esquematizado na figura acima, do ponto de vista da física quântica, sem deixar de mencionar os termos de energia que foram desprezados por serem pequenos, se este for o caso.

9. Partindo dos conceitos de física clássica, como se explicaria, ou por que não se explicaria o fenômeno que você escolheu?

10. O caráter dual (onda-partícula) está presente no processo de produção de pares? Justifique.

Comentários ou observações que considerar importantes em relação a essa disciplina:

Questionário 2: acerca dos pré-requisitos

Instituto de Física da USP

Questionário sobre as disciplinas introdutórias de Física Moderna

2º semestre de 2007

Este questionário faz parte de uma pesquisa que busca elementos para melhorar a disciplinas introdutórias do tema de Física Moderna nos cursos de Física. Por favor, responda com consciência e sinceridade. ***Não é uma avaliação sua; não é necessário se identificar.***

1) **Você cursa:**
Física Moderna I ☐ Física V ☐
Diurno ☐ noturno ☐

2) **Assinale os temas que já viu ou está vendo** em outras disciplinas:
☐ Cargas e seus movimentos - disciplinas:_____Anos:_____. Semestres:____
☐ Relatividade – disciplinas:_____Anos:_____ Semestres:_____
☐ Ondas mecânicas - disciplinas:_____ Anos:_____. Semestres:_____
☐ Movimentos de partículas – disciplinas:_____, Anos: _____. Semestres:___
☐ Quantizações de grandezas Físicas - disciplinas:_____, Anos: _____ Semestres:_____

3) **Escreva sucintamente o que espera** desta disciplina (expectativas "sentimentais" e de conhecimento)_____
_____
_____
_____
_____

4) **Dê uma nota** de hum a cinco ao seu preparo em **Física** para cursar esta disciplina: _____

Se sua nota não for cinco aponte os temas/aspectos nos quais você se considera **menos** preparado.
_____
_____
_____
_____

5) **Dê uma nota** de hum a cinco ao seu preparo em **Matemática** para cursar esta disciplina: _____

Se sua nota não for cinco aponte os temas/aspectos nos quais você se considera **menos** preparado
_____
_____
_____

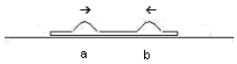
6) Quanto tempo, em **média, você imagina seja necessário se dedicar semanalmente ao estudo** desta disciplina para aprender o seu conteúdo:

( ) menos de 2 horas ( ) entre 2 e 4 horas ( ) entre 4 e 6 horas ( ) mais de 6 horas

7) **Você tem esse tempo disponível**: ☐sim ☐não

8)Duas esferas de mesmo tamanho vão em direção a um tapete com **velocidades iguais em direções opostas** (t_1) e, em seguida, entram embaixo do tapete(t_2). Ao mesmo tempo outro tapete está sobre uma corda e no instante t_1 são provocados **dois pulsos de onda nesta corda de velocidades iguais e contrárias e com a mesma fase**, estes pulsos continuam se propagando sob o tapete (t_2). Desenhe **o que ocorre com as esferas e com as ondas quando se encontram no centro do tapete (t_3) e em instante seguinte ainda sob o tapete (t_4).**

(t_1) (t_2) (t_3) (t_4)

(t_1) (t_2)  (t_3) (t_4)

Como você pode diferenciar as esferas das ondas?_____

_____

_____

09) Você conhece alguma grandeza física que seja quantizada (tenha valores discretos) no movimento de partículas clássicas? E nas ondas clássicas mecânicas? E nas ondas eletromagnéticas?

☐ Não

☐ Sim – Nesse caso diga qual(ais) grandeza(s) quantizada(s) e em que situação(ões) física(s).

_____

_____

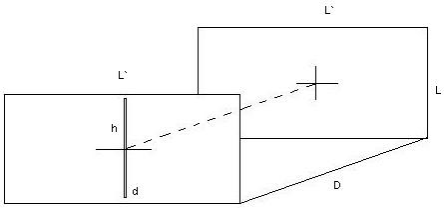
_____

_____

_____

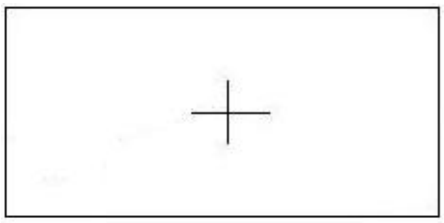
_____

10) ***Uma situação experimental***



Há uma superfície plana de largura L` e altura L com uma fenda vertical de largura *d* e altura h (h>>d e h<L'). Atrás dessa superfície com fenda existe um anteparo, também plano, de mesmas dimensões LxL', colocado paralelamente à superfície com fenda a uma distância D (D>>d). **Um feixe retangular** (com dimensões maiores do que a fenda, mas menores do que a superfície com fendas) **de "algo" incide perpendicularmente à superfície com fenda** (pela frente, ou seja, no lado oposto ao do anteparo).

a-) Desenhe a imagem deixada no anteparo se o tal feixe for de partículas pequenas (grãos de areia de diâmetro 2r)com velocidade na horizontal e 2r ≅ d.



b-) Desenhe a imagem no anteparo se o feixe for de luz com velocidade horizontal e a abertura da fenda d for igual ao comprimento de onda λ da luz.

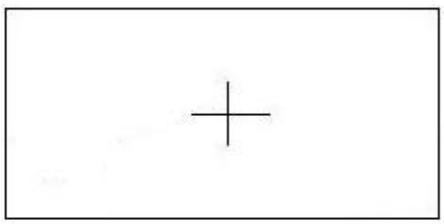


Tabela 1: sobre as competências dos PCN^{+} contempladas pelos materiais didáticos.

Competências	Sampaio e Calçada	Nicolau, Ramalho e Soares	Sonza e Fagan	Brockington e Pietrocola
Representação e comunicação				
Símbolos, códigos e nomenclaturas de ciência e tecnologia				
Reconhecer e saber utilizar corretamente símbolos, códigos e nomenclaturas de grandezas da Física.	**X**	**X**	**X**	**X**
Conhecer as unidades e as relações entre as unidades de uma mesma grandeza física para fazer traduções entre elas e utilizá-las adequadamente.	**X**	**X**	**X**	**X**
Articulação dos símbolos e códigos de ciência e tecnologia				
Ler e interpretar corretamente tabelas, gráficos, esquemas e diagramas apresentados em textos.	**X**	**X**	**X**	
Construir sentenças ou esquemas para a resolução de problemas; construir tabelas e transformá-las em gráfico.			**X**	
Compreender que tabelas, gráficos e expressões matemáticas podem ser diferentes formas de representação de uma mesma relação, com potencialidades e limitações próprias.				
Análise e interpretação de textos e outras comunicações de ciência e tecnologia				
Ler e interpretar informações apresentadas em diferentes linguagens e representações (técnicas).			**X**	**X**
Acompanhar o noticiário relativo à ciência em jornais, revistas e notícias veiculadas pela mídia, identificando a questão em discussão e interpretando, com objetividade, seus significados e implicações para participar do que se passa à sua volta.				
Elaboração de comunicações				
Descrever relatos de fenômenos ou acontecimentos que envolvam conhecimentos físicos.			**X**	**X**
Elaborar relatórios analíticos, apresentando e discutindo dados e resultados.				
Expressar-se de forma correta e clara em correspondência para os meios de comunicação ou via internet, apresentando pontos de vista, solicitando informações ou esclarecimentos técnico científicos.				
Discussão e argumentação de temas de interesse de ciência e tecnologia				
Compreender e emitir juízos próprios sobre notícias com temas relativos à ciência e tecnologia, veiculadas pelas diferentes mídias, de forma analítica e crítica.				

Argumentar claramente sobre seus pontos de vista, apresentando razões e justificativas claras e consistentes.				
Investigação e compreensão				
Estratégias para enfrentamento de situações-problema				
Frente a uma situação ou problema concreto, reconhecer a natureza dos fenômenos envolvidos, situando-os dentro do conjunto de fenômenos da Física e identificar as grandezas relevantes.	**X**	**X**	**X**	**X**
Reconhecer a relação entre diferentes grandezas, ou relações de causa-efeito, para ser capaz de estabelecer previsões.	**X**	**X**	**X**	**X**
Identificar regularidades, associando fenômenos que ocorrem em situações semelhantes para utilizar as leis que expressam essas regularidades na análise e previsões de situações do dia-a-dia.				
Reconhecer a existência de invariantes que impõem condições sobre o que pode e o que não pode acontecer em processos naturais, para fazer uso desses invariantes na análise de situações cotidianas.				
Identificar transformações de energia e a conservação que dá sentido a essas transformações, quantificando-as quando necessário.	**X**	**X**	**X**	**X**
Reconhecer a conservação de determinadas grandezas, como massa, carga elétrica, corrente etc., utilizando essa noção de conservação na análise de situações dadas.	**X**	**X**	**X**	**X**
Medidas, quantificações, grandezas e escalas (p.66)				
Fazer uso de formas e instrumentos de medida apropriados para estabelecer comparações quantitativas.				
Fazer estimativas de ordens de grandeza para poder fazer previsões.				
Compreender a necessidade de fazer uso de escalas apropriadas para ser capaz de construir gráficos ou representações.				
Modelos explicativos e representativos				
Conhecer modelos físicos microscópicos para adquirir uma compreensão mais profunda dos fenômenos e utilizá-los na análise de situações-problema.	**X**	**X**	**X**	**X**
Interpretar e fazer uso de modelos explicativos, reconhecendo suas condições de aplicação.			**X**	**X**
Elaborar modelos simplificados de determinadas situações, a partir dos quais seja possível levantar hipóteses e fazer previsões.				
Relações entre conhecimentos disciplinares, interdisciplinares e interáreas				
Construir uma visão sistematizada dos				

diversos tipos de interação e das diferentes naturezas de fenômenos da física.				
Identificar e compreender os diversos níveis de explicação física, microscópicos ou macroscópicos.				
Adquirir uma compreensão cósmica do Universo, das teorias relativas ao seu surgimento e sua evolução.				
Na utilização de um conceito ou unidade de grandeza, reconhecer ao mesmo tempo sua generalidade e o seu significado específico em cada ciência.				
Reconhecer, na análise de um mesmo fenômeno, as características de cada ciência.				
Contextualização sócio-cultural				
Ciência e tecnologia na história				
Compreender a construção do conhecimento físico como um processo histórico, em estreita relação com as condições sociais, políticas e econômicas de uma determinada época.				
Compreender o desenvolvimento histórico dos modelos físicos para dimensionar corretamente os modelos atuais, sem dogmatismo ou certezas definitivas.	**X**	**X**	**X**	**X**
Compreender o desenvolvimento histórico da tecnologia, nos mais diversos campos, e suas conseqüências.				
Perceber o papel desempenhado pelo conhecimento físico no desenvolvimento da tecnologia e a complexa relação entre ciência e tecnologia ao longo da história.				
Ciência e tecnologia na cultura contemporânea				
Compreender a Física como parte integrante da cultura contemporânea, identificando sua presença em diferentes âmbitos e setores.				
Promover e interagir com meios culturais e de difusão científica, (...) para incluir a devida dimensão da Física e da ciência na apropriação dos espaços de expressão contemporâneos.				
Compreender formas pelas quais a Física e a tecnologia influenciam nossa interpretação do mundo atual.				
Ciência e tecnologia na atualidade				
Acompanhar o desenvolvimento tecnológico contemporâneo.				
Ciência e tecnologia, ética e cidadania				
Compreender a responsabilidade social que decorre da aquisição de conhecimento, sentindo-se mobilizado para diferentes ações.				
Promover situações que contribuam para a melhoria das condições de vida da cidade onde vive ou da preservação responsável do				

ambiente.				
Reconhecer que, se de um lado a tecnologia melhora a qualidade de vida do homem, do outro ela pode trazer efeitos que precisam ser ponderados quanto a um posicionamento responsável.				
Reconhecer, em situações concretas, a relação entre Física e ética.				
Reconhecer que a utilização dos produtos da ciência e da tecnologia nem sempre é democrática, tomando consciência das desigualdades e da necessidade de soluções de baixo custo.				