



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

Decanato de Pesquisa e Pós-Graduação

Instituto de Ciências Biológicas

Instituto de Física

Instituto de Química

Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências

Mestrado Profissional em Ensino de Ciências

**Uma proposta de inserção de conteúdos de
Mecânica Quântica no Ensino Médio, por meio
de um Curso de Capacitação para Professores
em atividade**

Glauson Francisco Chaves

Brasília, DF

Março de 2010



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Decanato de Pesquisa e Pós-Graduação
Instituto de Ciências Biológicas
Instituto de Física
Instituto de Química
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências
Mestrado Profissional em Ensino de Ciências

**Uma proposta de inserção de conteúdos de
Mecânica Quântica no Ensino Médio, por meio
de um Curso de Capacitação para Professores
em atividade**

Glauson Francisco Chaves

Dissertação realizada sob a orientação da Prof^a Dr^a Célia Maria Soares Gomes de Sousa e apresentada à banca examinadora como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências - Área de concentração: Ensino de Física, pelo Programa de Pós Graduação em Ensino de Ciências da Universidade de Brasília.

Brasília, DF

Março de 2010

FOLHA DE APROVAÇÃO

GLAUSON FRANCISCO CHAVES

Uma proposta de inserção de conteúdos de Mecânica Quântica no Ensino Médio, por meio de um Curso de Capacitação de Professores em atividade.

Dissertação apresentada à banca examinadora como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Ensino de Ciências – Área de Concentração “Ensino de Física”, pelo Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências da Universidade de Brasília.

Aprovada em _____ de 2007.

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Dr^ª. Célia Maria Soares Gomes de Sousa
(Presidente)

Prof. Dr. Gerson de Sousa Mól
(Membro interno – IQ/UnB)

Prof^ª. Dr^ª. Iramaia Jorge Cabral de Paulo
(Membro externo - UFMT)

Prof^ª. Dr^ª. Maria de Fátima da Silva Lettere Verdeaux
(Suplente – IF/UnB)

Dedicatória

À minha orientadora, Professora Doutora Célia Maria Soares Gomes de Sousa, que tornou possível todo este trabalho e que me auxiliou, arduamente, na elaboração desta dissertação.

À todos os professores que participaram, de alguma maneira, da minha formação, pois foram fonte de inspiração para este trabalho e para minha trajetória profissional e acadêmica.

À minha esposa amada que por muitas vezes compreendeu meu esforço neste trabalho e se absteve de seus sonhos para incentivar a realização dos meus.

Ao meu filho Arthur, que é o meu bem mais precioso e mesmo na barriguinha da mamãe acompanhou a escrita desta dissertação.

A minha família amada, que se constituiu num reduto de compreensão e apoio durante todo o tempo deste longo processo de estudos.

Aos amigos e colegas de mestrado que sempre me incentivaram e e foram muitas vezes suporte para minha vida, no momentos difíceis.

Aos colegas professores que participaram deste trabalho e dedicaram muitas horas de suas vidas para o êxito desta pesquisa.

Aos meus queridos alunos; eles são a razão deste trabalho.

Glauson Francisco Chaves

Agradecimentos

Em primeiro lugar, aquele que ilumina meu caminho, me conduz pelas veredas da justiça, é meu salvador, fonte de inspiração para todas as coisas que penso e faço, misericordioso e que coloca seus obreiros queridos para me conduzir pela trilha do trabalho e do progresso, provendo-me forças e boas inspirações a cada passo da jornada. Obrigado Jesus

A minha família, em especial à minha mãe, por ter se esforçado para garantir uma formação de qualidade.

Aos meus amigos, Anselmo Rezende, Janduir Mendes, Leonardo Pereira, Patrícia Amaral, Tarcísio Lisboa, Werner Bessa, pelo incentivo e orações.

Aos meus colegas e professores do Centro Educacional 07 de Ceilândia, do Colégio JK e do Colégio Ideal

As minhas diretoras Gislene, Lúcia, Norma e Zezé e ao meu diretor Firmino.

Aos colegas do GSRF – Grupo de Sistematização e Redação Final do PAS/UnB, em especial ao chefe, professor e amigo Ricardo Gauche.

Agradeço, finalmente, à minha orientadora. Sem seu trabalho e esmero este sonho não seria possível.

Glauson Francisco Chaves

"Eu quero saber como Deus criou este mundo. Não estou interessado neste ou naquele fenômeno, no espectro deste ou daquele elemento. Eu quero conhecer os pensamentos Dele, o resto são detalhes."

Albert Einstein

RESUMO

Neste trabalho foi realizada uma investigação a respeito da inserção de Mecânica Quântica no Ensino Médio, por intermédio de um curso de capacitação de professores em atividade, realizado com trinta e cinco professores que integram a rede pública e particular de ensino do Distrito Federal, com o intuito de promover a aprendizagem significativa, com a apresentação de uma proposta educacional, que apresentasse uma reunião de trabalhos testados em sala de aula, bem como, agregado a eles novas tecnologias de ensino, como softwares, vídeos, slides e outros que colaboraram no processo ensino aprendizagem. Para a construção deste material nos fundamentamos nos resultados de pesquisas já realizadas na área e especialmente na teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel, buscando uma compatibilidade com a interpretação de Copenhagen, que foi adotada nesta pesquisa como a interpretação de referência devido a sua consistência teórica e sua capacidade de nos fazer ter uma nova consciência de mundo. Os resultados encontrados, após a análise dos dados coletados por meio da aplicação de uma pesquisa de opinião e de uma entrevista estruturada, nos permitem inferir que houve aprendizagem significativa e que os professores que participaram do curso são multiplicadores desta aprendizagem aos estudantes.

Palavras chaves: Ensino de Física, Aprendizagem Significativa, Mecânica Quântica, Interpretação de Copenhagen.

ABSTRACT

In this work an investigation was undertaken regarding the inclusion of quantum mechanics in high school, through a training course for working teachers, held thirty-five teachers in the public and private schools of the Federal District, with to promote meaningful learning, by presenting an educational proposition, to make a reunion of work tested in the classroom as well, added to them new learning technologies, such as software, videos, slides and other involved in this procedure educative. For the construction of the material based on the results of past researches in the area and especially the theory of meaningful learning of David Ausubel, seeking compatibility with the Copenhagen interpretation, which was adopted in this research as the interpretation of reference due to its theoretical consistency and their ability to make us have a new awareness of world results found, after analyzing data collected through the application of a survey and a structured interview, allow us to infer that meaningful learning and that teachers who participated multipliers of this course are learning to students.

Keywords: Physics Teaching, Meaningful Learning, Quantum Mechanics, Copenhagen Interpretation.

LISTA DE Figuras

Figura 1	.....	64
Figura 2	.....	65
Figura 3	.....	67
Figura 4	.....	68
Figura 5	.....	70
Figura 6	.....	73
Figura 7	.....	76
Figura 8	.....	93

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	.....	83
Tabela 2	.....	84
Tabela 3	.....	86
Tabela 4	.....	87
Tabela 5	.....	88

LISTA DE Gráficos

Gráfico 1	.....	85
Gráfico 2	.....	89

ÍNDICE

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	10
Capítulo 2 - REVISÃO DE LITERATURA.....	16
I - Justificativas para a inserção de FMC no Ensino Médio	17
II - Tópicos de FMC como proposta curricular	22
III - A FMC e a formação de professores	27
a) Fundamentos metodológicos e/ou epistemológicas para a abordagem de FMC.....	32
b) Propostas testadas em sala de aula com apresentação de resultados de aprendizagem:	35
Capítulo 3 - REFERENCIAL TEÓRICO	41
3.1 - A abordagem cognitivista de Ausubel.....	41
3.2 - Aprendizagem verbal, significativa e receptiva	42
3.3 - Tipos de aprendizagem significativa	45
3.4 - O processo de assimilação.....	48
3.5 - Organização da estrutura cognitiva	51
3.6 - Princípios organizacionais para a apresentação de material instrucional.....	53
3.7 - Dimensões do processo educacional	58
Capítulo 4 – PROPOSIÇÃO INSTRUCIONAL	61
4.1 O Manual Didático.....	62
MÓDULO I.....	62
MÓDULO II	65
MÓDULO III	71
MÓDULO IV	72
MÓDULO V	74
MÓDULO VI.....	74
Capítulo 5 - METODOLOGIA.....	76
5.1 - Contexto Metodológico	77
5.2 –Fundamentos Metodológicos na aplicação do curso	79
Capítulo 6 - ANÁLISE DE DADOS E DISCUSSÕES.....	83
i) - Análise de Currículo das escolas:	89
ii) - Análise dos Livros didáticos do Ensino médio.....	91
iii) - Elaboração dos módulos didáticos.....	95
Capítulo 7 – CONCLUSÃO	109
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	113

Capítulo 1 - INTRODUÇÃO

Ao formular esta proposta investigativa associei minhas expectativas como professor de Física com a maneira pela qual os estudantes aprendem este corpo da Ciência.

A Física colocada como parte integrante da chamada filosofia natural, pelos antigos pensadores, é um componente fundamental na formação do pensamento humano e da visão de mundo. É nesta abordagem que se verifica que as quebras de paradigmas são intrínsecas à atividade humana; estas corroboram para o levantamento de hipóteses e estabelecimento de princípios e valores conceituais, tão importantes no mundo contemporâneo.

Após 12 anos de trabalho, exclusivamente com o Ensino Médio, e a experiência como coordenador de área de professores de Física, verifiquei que conteúdos importantes para a formação do indivíduo não estavam sendo ensinados aos estudantes, notadamente a Física Moderna e Contemporânea (FMC), o que acredito contribuir para que as aulas no Ensino Médio (EM) tornem-se enfadonhas e desmotivadoras. Lobato e Greca (2005) enfatizam que o debate sobre o ensino de Teoria Quântica (TQ) já é de relevância mundial. No Brasil, os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) contemplam a necessidade do ensino em uma matriz de habilidades e competências aos estudantes do Ensino Médio.

No entanto, a omissão do ensino de FMC, ou de FQ no ensino médio é muitas vezes atribuída à dificuldade matemática que o aluno terá para aprender os conceitos quânticos. Os excessos, como mostra Montenegro e Pessoa Jr. (2002), em um formalismo avançado da matemática não colaboram para aprendizagem de conceitos em FMC. Mas é necessário ressaltar que não se trata de uma Física matematizada em fórmulas, axiomas ou postulados, mas sim de uma ferramenta elementar para a compreensão do fenômeno.

Essa proposta investigativa vem de encontro às estes anseios de aproximação dos estudantes com a Física dos séculos XX e XXI, seus desdobramentos e suas aplicações. Por intermédio da revisão bibliográfica foi possível ratificar a proposta de inserção de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio, onde os artigos a respeito do objeto de pesquisa têm fornecido subsídios importantes para a abordagem de FMC no ensino médio. Greca e Moreira (2001) fizeram uma revisão nos principais periódicos da área, classificando os artigos sobre o tema em três diferentes segmentos de abordagem investigativa, como: a) A concepção de estudantes sobre os conteúdos de MQ; b) Críticas concernentes aos cursos introdutórios de MQ e c) Propostas para a atividade de professores.

Também foi de grande importância no levantamento bibliográfico, ter identificado a escassez de propostas investigativas, no ensino de Física Quântica, para professores em atividade, que reunisse em um mesmo material as várias propostas didáticas e a observação de que cada vez mais os estudantes de ensino médio têm se distanciado da Física iniciada no século XIX. Estes foram pontos determinantes para a escolha deste tema para o nosso trabalho.

Durante muito tempo observamos que os professores de ensino médio colocavam-se na defensiva, quando o assunto era ensinar tópicos de Física Moderna e Contemporânea. Ao mencionar a Física Quântica este distanciamento, parecia ser maior entre aqueles que deviam orientar e/ou estimular os educandos a conhecer a ciência que os cercam. É fácil perceber em sala de aula que o conteúdo ministrado no Ensino Médio apresenta pelo menos cem anos de atrasos em relação à produção de conhecimento científico e não são sequer comentadas pelos professores, o que tem levado ao desconhecimento da Física do microcosmos e das aplicações que surgiram a partir do século passado.

Importantes trabalhos em ensino de ciências têm apontado para a capacidade que o aluno tem de internalizar conceitos de FQ, no ensino médio, bem como de abstrair fenômenos ligados a esta área do conhecimento científico, (Pinto e Zanetic, 1999). Ostermann e Moreira (2000) eles já alertam para a necessidade de atenção com os cursos de formação de professores a fim de promover uma melhor preparação destes professores com o intuito de atender as mudanças curriculares.

Esta visão do problema levou-me a buscar uma amostra heterogênea formada por professores da rede pública de ensino do Distrito Federal pois, a partir das propostas investigativas, anteriormente destacadas, percebemos a necessidade de propor um Curso Introdutório Conceitos de Mecânica Quântica, para inserção no EM, para professores em atividade, fundamentada na teoria de Ausubel.

A amostra aleatória não-probabilística foi constituída de 131 escolas, sendo 48 públicas e 83 privadas, totalizando 78 professores que participaram da primeira reunião, com a apresentação da proposta. No entanto, apenas 35 entrevistados demonstraram interesse em participar do curso, divididos em três grupos fundamentais: aqueles que trabalhavam exclusivamente em escolas públicas, aqueles que trabalhavam em escolas privadas e aquela que trabalhavam em ambas.

Por intermédio de um questionário de identificação da amostra foi possível separar os grupos e com os 35 professores, que compunham o perfil de professor de Física com experiência mínima de 05 anos e que estivesse trabalhando com turmas de Ensino Médio, em escolas públicas e/ou privadas.

Após este processo preliminar, foi montado, por intermédio de uma compilação de textos de apoio, applets, livres na *internet*, bem como de trabalhos de investigação científica, com alterações em seus textos ou não. A decisão de criar um produto educacional com este

formato veio de encontro à dificuldade e desconhecimento que os professores alegavam ter no acesso a estas informações, que segundo eles pareciam estar voltadas a um grupo restrito de pessoas que trabalhavam na área.

A proposição instrucional, chamado de módulos didáticos, serviu como balizador de discussões e muitas vezes como identificador de limitações conceituais profundas na área de Física Quântica. Um dos pontos importantes a ressaltar é a dificuldade de estabelecer uma estrutura filosófica, pois na concepção da maioria dos professores não era possível se estabelecer uma ligação entre o modelo clássico da Física e a FMC. Neste contexto, foi abordada, no módulo I, a discussão da abordagem de Copenhagen/Bohr, que adota o caráter não-determinista, não-casual e não-realista.

A gênese filosófica da FQ é realmente confusa nos aspectos em que os teóricos da área, muitas vezes não harmonizam seus pensamentos e defendem posições interpretativas quânticas diferentes. No entanto, visando fundamentar a nossa proposta, foi adotado nesta pesquisa e na proposição instrucional a abordagem de Copenhagen, devido a sua consistência teórica, aos resultados experimentais que ratificam a teoria e deixando de lado as dificuldades interpretativas da linearidade da Equação de Schrödinger e do colapso da função de onda, interpretações estas que neste curso não foram abordadas, pois entendemos que não contribuíam para a aprendizagem significativa do estudante de EM. Sendo esta proposta investigativa voltada à preparação de professores que trabalham com este público, tornou-se inócua a explicação destas dificuldades. Com isso, a interpretação de Copenhagen conduziu este trabalho.

Essa abordagem se fez necessária, pois iniciamos a condução do curso pela Óptica Física, assunto corriqueiro na Física Clássica (FC), o que foi possível, pois a maioria dos professores entrevistados informaram que, de uma forma ou de outra, tratavam assuntos de

FMC, como sendo clássicos, ou vice-versa. Esta didática comum no EM serviu como porta de entrada para o trato conceitual do experimento de dupla fenda, tão importante para esta abordagem e este trabalho.

Nesta dissertação, apresentamos no capítulo 2 a revisão da literatura, na qual procuramos apontar as fontes de pesquisa em periódicos, livros e materiais que foram úteis a esta investigação, ressaltando ainda o período compreendido na consulta, bem como destacando os trabalhos já publicados, mostrando a evolução do tema e estabelecendo a base que a revisão bibliográfica forneceu para a hipótese do trabalho e para a fundamentação teórica.

O capítulo 3 diz respeito ao referencial teórico, que no contexto dessa pesquisa é a Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel. Aqui procuramos explicitar a forma como a TAS pode representar metodologicamente uma teoria capaz de promover a aprendizagem significativa do sujeito, forma evidenciada na revisão bibliográfica como sendo eficiente na construção de conhecimentos em FMC, em particular em MQ

No capítulo 4 apresentamos a proposição educacional, onde iniciamos com o esclarecimento acerca das condições sob as quais o trabalho foi desenvolvido, a fim de mostrar a potencialidade deste material para a aprendizagem significativa de tópicos de MQ, num curso de capacitação para professores em atividade. Por fim, neste capítulo fornecemos uma descrição detalhada de como o material foi construído e aplicado com ênfase na relação professor-aluno.

Para o capítulo 5 apresentamos uma descrição detalhada dos métodos e materiais utilizados no estudo; buscando identificar o sujeito da pesquisa, caracterizando-o e apontando os dados coletados. O estudo teve caráter puramente qualitativo; no entanto, foi analisado a

partir do tratamento de dados quantitativos que serviram apenas de balizadores para ações e interpretações.

No capítulo 6 damos ênfase aos resultados e discussões, apresentando os resultados, agrupados e ordenados de forma a completar e dar continuidade ao capítulo anterior. É neste capítulo que reservamos um espaço para análise dos dados obtidos, apresentando as interpretações pertinentes em função da abordagem metodológica, indicando que há uma consonância entre a fundamentação teórica, ausubeliana, a abordagem de Copenhagen e o ensino de MQ no Ensino Médio, visando apresentar subsídios para a conclusão, a partir do desenvolvimento da discussão dos dados, com isso gerando as justificativas à hipótese levantada na situação problema.

Por fim, no capítulo 7 dedicamos à nossa conclusão apontando a proposta investigativa de inserção de conteúdos de Mecânica Quântica no Ensino Médio, por meio de um curso de capacitação para professores em atividade.

Capítulo 2 - REVISÃO DE LITERATURA

A Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio tem sido objeto de estudo de muitos pesquisadores desde a última década do século passado, onde foi possível identificar tendências e propostas de reforma curricular, bem como, de fundamentos que ratificam a inserção de tópicos desta área da Física no ensino básico.

Esta revisão literária teve como objetivo identificar trabalhos que foram publicados, que, de uma forma ou de outra, estejam relacionados à inserção da mecânica quântica no ensino médio. Buscamos levantar tais publicações em um período de 10 anos, entre 1997 e 2007, e de trabalhos de grande relevância para o nosso trabalho fora desse período.

Os artigos pesquisados tratam sobre ensino de física e foram publicados em periódicos nacionais e internacionais, em atas de encontros nacionais de Pesquisa em Educação em Ciências, livros didáticos, dissertações e teses, e, também, em materiais disponibilizados na internet. Também relacionamos o material pesquisado com os Parâmetros Curriculares Nacionais.

O universo de trabalhos é constituído do total de artigos publicados nos periódicos nacionais - A Física na Escola, Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Ciência & Educação, Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências, Investigações em Ensino de Ciências, Revista Brasileira de Ensino de Física e Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências - e internacionais - American Journal of Physics, Enseñanza de la Ciencia; International Journal of Science Education; Journal of Research on Science Education, Physics Education; Revista Electrónica de Enseñanza de la Ciencias, Science Education e Science & Education - , no

período de 1997 a 2007. O levantamento desse universo teve início em janeiro de 2007 e resultou em uma amostra de 108 artigos.

A definição dos temas foi feita a partir da análise do conteúdo presente nos trabalhos e procurou-se, desde o início, enquadrar a diversidade dos temas abordados em categorias que fossem mais abrangentes.

Assim buscamos, a partir do tema da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio, classificar os artigos relacionados dentro das seguintes categorias:

- I. Justificativas para a inserção de FMC no Ensino Médio;
- II. Tópicos de FMC como proposta curricular;
- III. A FMC e a formação de professores
- IV. Fundamentos metodológicos e/ou epistemológicas para a abordagem de FMC.
- V. Propostas testadas em sala de aula com apresentação de resultados de aprendizagem;

A seguir, será apresentada uma breve exposição dos trabalhos revisados, por categoria.

I - Justificativas para a inserção de FMC no Ensino Médio

Terrazzan (1994), em sua tese de doutorado, mostra como a literatura internacional adota posturas diferentes a respeito das justificativas para a inserção de FMC no Ensino Médio. Em seu trabalho ele identifica que Arnold Arons justifica a inserção de FMC no ensino médio pela sustentação na Física Clássica para se abordar tópicos de FMC, bem como,

intercede em favor da seleção de tópicos que não exijam o rigor matemático para sua abordagem.

Nesta busca por justificativas para a inserção de FMC no ensino médio Daniel Gil Pérez e Jordi Solbez (em TERRAZZAN, 1994), propõem que a introdução da FMC no Ensino Médio, seja feita tomando como ponto de partida as fragilidades conceituais que originaram a crise da Física Clássica e nos parece recorrer ao contexto histórico científico, e mesmo epistemológico, como podemos constatar em Terrazzan (1994, p.72);

(...) o grupo de Gil defende uma apresentação da Física Moderna em bases construtivistas, respeitando de forma incisiva a evolução histórica dos conceitos físicos, como parâmetro para elaboração de uma estratégia didática.

Nesta mesma linha, Terrazzan discute a inserção dessa temática, aplicada em etapas, nas quais é necessário rever as principais contribuições da Física Clássica, formar uma imagem do conceito de matéria compatível com a Física Clássica, reconhecer que a Física é construída a partir do senso comum, limitado em seu poder explicativo sobre problemas relevantes e perceber a Física Clássica como um corpo coerente de conhecimento que consegue explicar quase todos os problemas da Física do século XIX, falhando em uns poucos casos.

Na visão de Paulo (2006), quando os alunos conseguem acompanhar a evolução histórica dos conceitos chegam a detectar as limitações da Física Clássica para explicar um determinado fenômeno físico. Então, sob o ponto de vista dessa autora, há um salto conceitual e aprendizagem significativa dentro da FMC, em uma tentativa de reproduzir em sala de aula os eventos científicos que levaram ao surgimento desse corpo de conhecimento.

A defesa de uma metodologia que é sustentada pela evolução histórica, nos parece ter o intuito de preencher lacunas advindas das fragilidades conceituais da Física Clássica. Assim

nesta proposta é mais importante para os alunos que se conheça aqueles fenômenos físicos que na Física Clássica não são explicados de forma coerente e firmemente sustentados.

O Ensino Médio brasileiro, a partir da promulgação da Lei das Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDBEN) (BRASIL, 1996), regulamentada em 1998, pelas Diretrizes do Conselho Nacional de Educação (BRASIL, 1998), foram constituídos novos parâmetros que passam a regulamentar a definição geral dada na LDBEN, chamados Parâmetros Curriculares Nacionais, os PCN.

Os PCN têm como objetivo difundir e orientar os professores quanto aos princípios da reforma curricular na busca de novas metodologias para o ensino. Segundo esses parâmetros, *“a formação do aluno deve ter como alvo principal a aquisição de conhecimentos básicos, a preparação científica e a capacidade de utilizar as diferentes tecnologias relativas às áreas de atuação”* (BRASIL, 1999, pág.15).

A Secretaria de Educação Básica, tendo como mediador o Departamento de Política do Ensino Médio, encaminhou aos estados no ano de 2006, para as redes estaduais de ensino, as *Orientações curriculares para o ensino médio*, com a intenção de promover a prática docente em parâmetros nacionais.

Desta forma, foi difundido que os professores de Ensino Médio deveriam buscar alternativas para o trabalho pedagógico; então, as diretrizes expostas nas *orientações curriculares para o ensino médio*, apresentavam a inclusão de teorias da Física do século XX no ensino médio. Assim, assuntos como a Mecânica Quântica e o uso das novas tecnologias são aspectos de grande importância na aprendizagem do estudante, em suas motivações para o desenvolvimento do interesse formativo.

Os PCN destacam que o conhecimento de Física contribui para a formação de um cidadão contemporâneo, assim:

Trata-se de construir uma visão da Física voltada para a formação de um cidadão contemporâneo, atuante e solidário, com instrumentos para compreender, intervir e participar na realidade. Nesse sentido, mesmo os jovens que, após a conclusão do ensino médio, não venham a ter mais qualquer contato escolar com o conhecimento da Física, em outras instâncias profissionais ou universitárias, ainda terão adquirido a formação necessária para compreender e participar do mundo em que vivem (BRASIL, 2002, p.59).

Nesse sentido, o trabalho pedagógico deve ser dirigido pelas orientações da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional/1996, que estabelece que o professor deve buscar proporcionar um ensino da Física que vise a formação cidadã e, desta forma, levar o estudante a interagir numa realidade social, dando uma nova visão de mundo, menos determinista, mas de compreensão dos processos produtivos com o intuito de alcançar um desenvolvimento intelectual que o aproxime do desenvolvimento tecnológico e científico que o cerca.

Por isso entendemos que o ensino de Física Quântica, no Ensino Médio, deverá funcionar como um facilitador da formação do cidadão contemporâneo, com criticidade cultural e que corresponda a uma visão de mundo pautado na própria consciência de que é necessário tomar conhecimento de conceitos e desenvolvimentos tecnológicos, iniciados com o advento dos estudos fundamentais da FQ, para assim propiciar uma formação com construção conceitual.

Para Bastos Filho 1995, (em WEBBER 2006), a inserção da Física Quântica no currículo das escolas de Ensino Médio tem um grande significado cultural no mundo contemporâneo, aproxima, de forma histórica, o ser humano da Física Moderna e as prováveis dificuldades inerentes à aprendizagem dos conceitos quânticos não impede que seja trabalhada no Ensino Médio, pois tais dificuldades não são exclusivas da Física Quântica, estando presentes também na Física Clássica. Além disso, esses empecilhos envolvem

inúmeras razões que estão sendo sistematicamente apontados pelas pesquisas em Ensino de Ciências.

Há três anos (final de outubro de 1995), estive presente à apresentação do trabalho de Olival e Rodolfo em Minneapolis, por ocasião do Third International History Philosophy and Science Teaching Conference. Achei a idéia de levar a Física Quântica ao 2º grau felicíssima, importantíssima e creio que não exageraria se dissesse, mesmo, que se trata de uma necessidade premente. A razão precípua dessa necessidade é o fosso que existe entre o conteúdo que é ensinado no 2º grau, que às vezes não vai além da Física de Galileu e de Newton, e o mundo moderno de final do segundo milênio, tão povoado de quanta (BASTOS FILHO, 1997, p. 127).

A necessidade da inserção de conteúdos de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio não é limitada a discussões entre pesquisadores da área de Ensino de Ciências. Os currículos oficiais do ciclo básico de ensino do país têm dado a devida importância a Teoria Quântica, na cultura tecnológica atual, onde a integração destes conteúdos são cada vez mais freqüentes em documentos oficiais que sugerem o norteamento do ensino de FMC no Ensino Médio, tal como encontramos nos objetos de avaliação do Programa de Avaliação Seriada – PAS¹, da Universidade de Brasília, que tem como proposta uma avaliação seqüencial e sistemática de estudantes do Ensino Médio, que visam o acesso ao Ensino Superior, por intermédio de uma matriz de habilidades e competências, dentre elas a competência do estudante em compreender os fenômenos naturais, da produção tecnológica e intelectual, das manifestações culturais, artísticas, políticas e sociais, bem como dos processos filosóficos, históricos e geográficos, identificando articulações, interesses e valores envolvidos.

¹ O Programa de Avaliação Seriada – PAS- tem como um de seus pressupostos que o sistemas de acesso à Universidade têm uma influência inegável no ensino médio, tanto no conteúdo ministrado quanto no seu enfoque epistemológico. Os vestibulares, tais como vêm sendo feitos na maior parte das instituições de ensino superior, têm privilegiado o adestramento, o ensino livresco, fragmentado, alienante e anacrônico, e a memorização mecânica. Aquela influência, entretanto, pode ser positiva se houver convergência entre o sistema de acesso e os objetivos próprios do ensino médio, como a formação da cidadania, a preparação geral para o trabalho e o desenvolvimento de competências e habilidades. O processo educacional deve estar centrado nos conteúdos relevantes para a formação do cidadão, respeitadas as especificidades das diferentes disciplinas. Para o acesso ao ensino superior, o estudante deve ser avaliado quanto ao desenvolvimento de competências e habilidades, por meio da aprendizagem significativa daqueles conteúdos. Programa de avaliação seriada (PAS) - Universidade de Brasília - Justificativas e pressupostos em: <http://www.cespe.unb.br/PAS/oquepas/principios/principiospas.htm>

Esta é a competência que bem articula-se com a habilidade de planejar, de forma a selecionar modelos explicativos, formular hipóteses e prever resultados, ou seja, habilidade de grande relevância para a interpretação probabilística da FMC em especial da MQ.

II - Tópicos de FMC como proposta curricular

Nesta revisão bibliográfica foi possível identificar trabalhos pioneiros que defendem a inserção de FMC, como uma nova proposta da matriz curricular no Ensino Médio, de forma a potencializar sua aprendizagem, dando ao estudante condições de relacionar as evoluções tecnológicas com as bases e fundamentos científicos do século passado.

Ferreira (1990), busca apresentar uma relação entre os conceitos da Física com os alicerces da visão de mundo dos homens de cada época; assim, vê na crise o referencial da mudança e, desta forma, reflete sobre a FMC, como uma nova concepção de mundo, mais voltada para a formação do ser humano e da ecologia.

A viabilidade da inserção da Física Quântica no Ensino Médio tem uma relação direta com o tipo de impacto de aprendizagem que os conteúdos podem promover, no entendimento da formação do conhecimento e da relação com a cultura geral dos estudantes, como coloca Terrazzan (1992, p.210) “(...) *bem como a inserção consciente, participativa e modificadora do cidadão neste mundo, define, por si só, a necessidade de debatermos e estabelecermos as forma de abordar tais conteúdos no ensino médio*”.

Segundo Terrazzan (*op. cit.*) as justificativas curriculares só serão efetivamente aceitáveis se houver a participação direta dos professores do Ensino Médio. Por isso cremos ser o professor o principal propositor de tópicos de FMC, como proposta curricular, em

especial a Física Quântica. Tal percepção do aporte docente nesta fase de justificativas ainda é ratificada por Pinto e Zanetic (1999, p. 7);

(...) que atender às novas necessidades surgidas a cada dia, tornando-se cada vez mais básicas para o homem contemporâneo, portanto, os vários campos abertos pela Física deste século devem ter presença garantida nos currículos escolares.

É possível ainda encontramos justificativas quanto a diversificação dos conteúdos, sua relevância e seu percentual disposto na grade curricular desde que:

Desse modo, escolhas bem-feitas de conteúdos significativos assumem um papel fundamental, pois fica claro que não será possível trabalhar com extensas listas de conteúdos” (BRASIL, 2006, p.55).

Assim, é justificável a inserção de FMC neste trabalho, em especial a Física Quântica, pois a necessidade de que os currículos de Física sejam mudados, levam a uma visão evolutiva dos aspectos formativos do indivíduo que ainda continuam, nos três anos de ensino médio, dedicando a entender a Física Clássica como parte da construção do mundo moderno, mas não entendem a Física inaugurada no século passado, pois simplesmente não se encontra espaços em disposições curriculares, seja pelo tradicionalismo acadêmico herdado pelo professor, ou pela falta de preparo para melhor orientar suas aulas. Com isso, entendemos que a Física Quântica precisa ser abordada de forma introdutória e conceitual, cuidadosamente, onde o professor deverá, num primeiro momento, procurar se capacitar para buscar um conhecimento prévio que promova uma aprendizagem significativa da Física Quântica, ou até mesmo de desconstruir alguns conceitos clássicos.

Ratificamos nosso posicionamento frente a esta justificativa citando Meneses (2000, em WEBBER, 2006, p. 7):

É claro que precisa ser cautelosa a sinalização para a inclusão desses novos conteúdos, seja pelos desafios didáticos que implica, encontrando professores despreparados e os textos escolares desguarnecidos, seja porque as próprias universidades, ainda por algum tempo, continuarão a solicitar os velhos conteúdos em seus vestibulares. Será preciso algum tempo para que a mensagem seja primeiro, compreendida e, mais tarde, aceita. (MENESES, 2000, p.7)

Terrazzan (1994), defende e discute, tendo em vista o panorama sociocultural e produtivo do final do século passado, a necessidade dos currículos de Física no Ensino Médio abordarem como proposta curricular a FMC, como formação contemporânea da cidadania. O autor ainda dedica sua análise a investigar propostas e iniciativas e abordagens metodológicas específicas para a aprendizagem da FMC.

Uma defesa a respeito da introdução de conceitos de Física Moderna e Contemporânea no curso secundário é feita por Silva (1994), que se preocupa em estabelecer as relações paradoxais a respeito da Física Clássica como dificultadora na abordagem de tópicos de FMC, colocando que o processo ensino aprendizagem ocorre na interação professor-aluno.

A capacidade intelectual do estudante de nível médio em assimilar conceitos de FMC, notadamente os conceitos fundamentais da Mecânica Quântica é conduzida com a perspectiva de introduzir a MQ nos currículos escolares e com isso proporcionar aos estudantes destes cursos uma aproximação entre as experiências vividas com uma nova visão de mundo, foi investigada por Coelho (1995).

Camargo (1996) focou seu campo investigativo nos obstáculos e possibilidades de inserção da Física Moderna no atual Ensino Médio, nomenclatura esta apropriada pela LDB 9394/96², onde busca fazer uma reflexão em relação a prática didático-pedagógica de professores com relação a FMC.

Ostermann e Moreira (2000) realizaram uma profunda revisão da literatura, sobre FMC no Ensino Médio, ocupando-se em investigar publicações em revistas científicas, livros nacionais e internacionais, teses e dissertações que abordam a Física do século XX; a partir

² A Lei de Diretrizes e Bases da Educação (LDB) define e regulariza o sistema de educação brasileiro com base nos princípios presentes na Constituição.

deste trabalho, foi possível concluir uma proposta de atualização curricular que eles chamam de “lista consensual” ou “lista final”:

(...) efeito fotoelétrico, átomo de Bohr, leis de conservação, radioatividade, forças fundamentais, dualidade onda-partícula, fissão e fusão nuclear, origem do universo, raios X, metais e isolantes, semicondutores, laser, supercondutores, partículas elementares, relatividade restrita, Big Bang, estrutura molecular, fibras ópticas.

Para Lobato e Greca (2005), ainda que o que efetivamente é estudado em sala de aula nem sempre coincida com o estipulado nos currículos, também é um fato que as orientações dos mesmos influenciam as abordagens adotadas. Para eles, é interessante analisar a maneira como os conteúdos de TQ estão sendo oficialmente introduzidos no Ensino Superior, como se articulam com outros conceitos mais clássicos e a relevância que lhes é dada no conjunto dos temas considerados suficientemente importantes para serem objeto de estudo neste nível de ensino.

As discussões dos autores a respeito da formação do professor, passa a ter importância neste trabalho a medida que esta proposta é a de buscar melhorias na qualificação dos professores que atuam no Ensino Médio; assim, a análise levantada por eles se justifica nesta revisão bibliográfica.

Lobato e Greca (2005, p. 128), apresentam, ainda, quadro resumo que mostra a síntese da análise dos currículos do Ensino Superior (ES) em diversos países, buscando fundamentar informações quanto à abordagem de TQ nestes países:

País	Estratégias introdução de TQ	Altura de introdução da TQ	Tempo previsto	Temas abordados	Aplicações TQ mencionadas
Portugal	Tradicional; mudança de paradigma	Fim do ES	17% do currículo de último ano	Quantização; dualidade; princípio de incerteza	Microscópio eletrônico; radioatividade; fusão e fissão nucleares
Espanha	Tradicional; mudança de paradigma	Fim do ES	30% do currículo de último ano	Quantização; dualidade; princípio de incerteza; determinismo	Física nuclear; radioatividade; fusão e fissão; física de partículas
França	Mudança de paradigma	Fim do ES		Quantização; constante de Planck	
Reino Unido	Física de partículas; QED	Início ES e retomado no fim	28% do currículo de 2 anos	Interferência; difração; dualidade; quantização	Efeito fotoelétrico; microscópios eletrônicos
Dinamarca		1º ano + 2º ano		Física atômica e nuclear	Astrofísica
Suécia		1º ano + 2º ano		Física atômica e nuclear	Astrofísica; estado sólido
Canadá		Último ano (pelo menos)		Física de partículas; quantização	Contribuições canadenses à Física Moderna
Austrália				Física atômica e nuclear	Dualidade; dispersão; espectros
Itália	Tradicional	Fim do curso secundário		Constante de Planck; cf. fotoelétrico; modelos atômicos; dualidade; princípio de incerteza	
Finlândia	Tradicional/experimental			Quantização, física de partículas	Efeito fotoelétrico

Três importantes conclusões são apresentadas por esses autores:

(...) os conteúdos de TQ, de fato, já fazem parte de programas oficiais do ES, no entanto a forma de ensinar TQ em cursos introdutórios, no Ensino Superior, têm contribuído para o aparecimento de conceitos errôneos que só podem ter origem na instrução, já que não há “senso comum” ou “teorias alternativas” que os expliquem.(...)

(...) Assim, parece-nos que as próximas questões de investigação devem estar relacionadas com a melhor maneira de ensinar os primeiros conceitos de TQ,(...)

(...) pesquisas feitas para avaliar as concepções quânticas, tanto de professores como de estudantes do Ensino Superior, indicam que não se pode ignorar a necessidade de organizar trabalhos de investigação com o objetivo de melhorar a preparação científica de professores que venham a dedicar-se ao ensino da TQ. (grifos nossos) (Lobato e Greca, 2005)

Vale ressaltar que as condições nas quais são apresentados os conteúdos de TQ nos currículos dos países investigados por Lobato e Greca, têm como variante as características sócio políticas do país e sua interação histórica evolucionista, com a evolução da FMC.

Assim, as perspectivas formativas do profissional físico nem sempre estão articuladas com a Educação Básica; portanto, esta análise é balizadora como justificativa de proposta curricular, a fim de se verificar os temas mais abordados, suas aplicações, o que serviu de confronto com investigações aqui apresentadas que ratificam a distribuição curricular, a interpretação da MQ e a formulação de um curso introdutório de MQ para professores em atividade no Ensino Médio.

No entanto, percebemos também que não é só a disposição curricular que torna relevante o papel da formação de professores, mas a forma como estes conceitos são abordados no Ensino Superior, visto que são priorizados métodos quantitativos em detrimento daqueles conceituais como a visão filosófica das interpretações quânticas e suas influências no pensamento científico.

Em Ostermann (2000), encontramos os principais tópicos como proposta curricular quanto a conteúdos de FMC que aparecem na literatura, onde a autora apresenta que há maior concentração de referências nos seguintes temas: relatividade, partículas elementares e mecânica quântica

III - A FMC e a formação de professores

Um fato relevante na formação de professores está relacionado aos cursos introdutórios de Mecânica Quântica; os resultados das pesquisas parecem apontar que os conceitos centrais da MQ não são discutidos explicitamente nos cursos introdutórios; cursos mais avançados não conseguem ultrapassar as dificuldades iniciais e com isso promovem um

distanciamento entre os saberes adquiridos nas universidades e aqueles que necessitam ser transpostos para a sala de aula.

A relação entre aquilo que o professor efetivamente aprende nos cursos de graduação, a respeito de FMC, e os indicadores das dificuldades apresentadas por estudantes, são objetos de investigação ampla, ou parcial na área de Ensino de Ciências (PINHEIRO, 1996; PIETROCOLA, 1999; PIETROCOLA; ZYLBERSZTAJN, 1999). Estas investigações apontam para a dificuldade instrucional dos professores em promover reflexões acerca da Ciência, na construção de modelos sobre fenômenos físicos; tais autores parecem concordar que os professores promovem uma continuidade acadêmica no EM, seja pela matematização, com o intuito de explicar o fenômeno, seja pela inobservância da maturidade cognitiva do aluno, pelo condição sócio cultural, ou pela transposição didática de conceitos de FMC.

Para Lobato e Greca (2005), o problema parece residir na maneira como os conteúdos da TQ são aprendidos e não na altura em que são aprendidos. Aliás, os conceitos complexos e contra-intuitivos requerem muito tempo de reflexão, o que justificaria a sua introdução o mais cedo possível, de preferência no Ensino Superior

Em Ostermann e Ricci (2002, p.177) encontra-se a discussão de que diante de toda a importância da FMC na sociedade contemporânea, sua presença na escola ainda não é uma realidade, embora não seja mais necessário recorrer a extensas justificativas para a necessidade da introdução de conceitos da Física do século XX no EM, fato já consolidado em vários países. Assim, é importante destacar, neste contexto, que a inserção da FMC no EM não se justifica somente pela atualização curricular, por si só, mas porque a Física deve ser entendida como parte integrante da cultura contemporânea; assim, percebemos, como lacuna a formação de professores, que não possibilita, em muitos casos, o estudo, a discussão e o aproveitamento conceitual da FMC, pelo aluno e pelo próprio professor.

A capacidade de levar o saber científico aos estudantes da educação básica, de forma a se constituir um conjunto de saberes que viabiliza a formação do indivíduo é tarefa de importância relevante no contexto escolar, sendo o professor o ator principal desta relação e sua formação como a balizadora de suas habilidades neste processo.

Assim, o professor de Física precisa de uma formação que o prepare para o ensino, ou seja, deve estar preparado para lidar com situações cotidianas, domínio das teorias científicas e suas implicações. Com isso, dar-se-á um passo importante para estreitamento de laços entre o professor e o aluno, porém esta preparação não é determinante, mas importante no processo; logo, ela por si só torna-se insuficiente como já coloca Delizoicov (2002).

A atuação profissional dos professores das Ciências no Ensino Fundamental e Médio, do mesmo modo que a de seus formadores, constitui um conjunto de saberes e práticas que não se reduzem a um competente domínio dos procedimentos, conceituações, modelos e teorias científicas (DELIZOICOV, 2002, em REZENDE JUNIOR, 2006 p.31-32)

Ainda para Rezende Junior (2006), a Física deve ser vista como elemento da cultura contemporânea e também considerar sobre a aparente dificuldade de tal reconhecimento por parte dos professores. Apesar da tentativa de uma separação para fins de organização, as implicações são mútuas e nem sempre será possível prover tal divisão. Para o autor surge a questão: Quais são os elementos que compõem a cultura contemporânea? Em um sentido limitado e não muito rigoroso, poderíamos mencionar a Música, as Letras ou as Artes; expressões do intelecto humano sem qualquer interesse imediato. Desta forma, a investigação citada aponta para a observação de Delizoicov:

Cabe registrar, sem rodeios, a dificuldade da grande maioria dos docentes no enfrentamento desse desafio. Se solicitarmos exemplos de manifestações e produções culturais certamente serão citados: música, teatro, pintura, literatura, cinema.... A possibilidade de a Ciência e a Tecnologia estarem explicitamente presentes numa lista dessa natureza é muito remota (DELIZOICOV, 2002, em REZENDE JUNIOR, 2006, p. 34).

É possível que a formação de professores não os conduza a uma observação de mundo, ou seja, não há amplitude na formação do conhecimento, a Ciência parece estar no

plano de um pequeno grupo de pessoas, do qual os estudantes e os professores não fazem parte, o que nos parece conflitar com o que mostra Chevallard (1991, em BROCKINGTON e PIETROCOLA, 2005) que, para entendermos realmente as relações que ocorrem dentro do Sistema de Ensino, deveríamos incluir o saber como elemento fundamental nesse processo. Com isso, acreditamos que ao compreendermos as alterações sofridas pelo saber, desde sua criação na comunidade científica até sua chegada nas salas de aula, seremos mais capazes de dar significado a esses conhecimentos apresentados nas escolas.

Brockington e Pietrocola (2005), continuam sua abordagem e nos dão mais subsídios a respeito da anatomia dos saberes, quando diz:

CHEVALLARD define três esferas ou patamares de saber: Saber Sábio, Saber a Ensinar e Saber Ensinado. Cada uma destas esferas tem seus agentes pertencentes a diferentes grupos sociais, com interesses distintos e que, com regras próprias, influenciam nas mudanças sofridas pelo saber ao longo de seu percurso epistemológico. Porém, ao longo da trajetória sofrida pelo saber (do ambiente científico até à sala de aula) existem fatores externos ao sistema escolar, inseridos em um ambiente mais amplo, onde todas as três esferas coexistem e se influenciam. Nem tudo que chega deste ambiente externo tem reflexo na sala de aula.

Os agentes reguladores, determinantes para a seleção e, principalmente, para as modificações que o Saber Sábio sofrerá, são os componentes dos bastidores de todas as mudanças, definidos por CHEVALLARD como a noosfera³. Nela, encontram-se todos aqueles que, de uma forma ou de outra, influenciam nos rumos do ensino, fazendo com que o Saber Sábio se modifique até chegar às escolas.

A noosfera é composta, em geral, por cientistas, educadores, professores, políticos, autores de livros didáticos, pais de alunos, entre outros. Cada um destes contribuindo com seus valores, preferências, idéias e objetivos específicos no delineamento dos saberes que chegarão à sala de aula. Cada esfera dos saberes possui seus sub-grupos de atores da noosfera, podendo haver ou não uma sobreposição entre grupos de esferas diferentes.

Para Brockington e Pietrocola (2005), transpor a Teoria Quântica para a sala de aula do Ensino Médio deve ser vista como uma tarefa das mais complexas, pois de um lado têm-se as exigências epistemológicas inerentes ao campo de conhecimento produzido pela Física Moderna, muito distantes dos padrões de entendimento forjados no mundo cotidiano. Por

³ “A noosfera é o centro operacional do processo de transposição, que traduzirá nos fatos a resposta ao desequilíbrio criado e comprovado [entre os ideais e possibilidades dos saberes científicos](expresso pelos matemáticos, pelos pais, pelos professores mesmos). Ali [na noosfera] se produz todo conflito entre sistema e entorno e ali encontra seu lugar privilegiado de expressão. Neste sentido [do conflito de interesses], a noosfera desempenha um papel de obstáculo”. (CHEVALLARD, 1991, p.34)

outro lado, as exigências do domínio escolar não são menores, pois ideologia, necessidades de natureza didática e tradição se entrelaçam na constituição de um domínio particular.

Para eles é possível contornar o impasse surgido através da realização de escolhas, que inevitavelmente determinarão direções a serem seguidas na implementação da transposição didática. Isso implicaria em supressão de alguns conteúdos/ênfases em benefícios de outros.

Tal visão nos parece estar intimamente ligada a formação inicial de professores, pois esta remete a uma metodologia cartesiana, baseada em métodos de aprendizagem mecânica, quando essa deveria ser significativa. Por isso cremos nesta justificativa, já que a transposição didática é fator constituinte da aplicação desta proposta investigativa.

É ainda na composição do diploma legal, LDB, que encontramos a afirmação quanto à capacidade que o professor deve ter como arquiteto cognitivo:

A nova escola de Ensino Médio não há de ser mais um prédio, mas um projeto de realização humana, recíproca e dinâmica, de alunos e professores ativos e comprometidos, em que o aprendizado esteja próximo das questões reais [...] (BRASIL, 2002, p.11).

É possível verificar que os trabalhos investigativos a respeito da inserção de FMC no EM, referem-se a formação de professores nos cursos de Licenciatura em Física, como prioritariamente clássica, fazendo alguns acertos aqui e ali para que o aluno possa “resolver problemas” e não efetivamente construir conceitos e estudar fenômenos. Esta formação tipicamente clássica, determinista, não mais influencia de forma motivadora a aprendizagem em Física e em especial da FMC.

Neste contexto citamos:

(...) a desconsideração da física moderna e contemporânea é muito grave, já que os professores formados para o ensino médio não estão preparados para mostrar essa disciplina como algo interessante e cuja validade de conteúdo é digna de consideração. Esse quadro exige mudanças, caso contrário a física poderá cair numa relativa marginalização (CHAVES e SHELLARD, 2005, p.223).

Isto aponta que os currículos dos cursos de licenciatura em Física precisam ser reformulados e “conter mais Física moderna e contemporânea” (CHAVES e SHELLARD, 2005), fator imprescindível na formação do futuro professor, que trabalhará com FMC no ensino médio. Nesta proporção entendemos que as fragilidades provocadas em currículos desatualizado conduzem para uma prática pedagógica desvinculada e descontextualizada da realidade do aluno.

Também não será muito fácil para o aluno digerir uma Física na qual o caráter probabilístico está presente, afinal ele foi preparado para uma ciência exata, e não da natureza com suas nuances e incertezas. Para superar isto é necessário um programa de capacitação continuada dos professores.

Reside nesta justificativa um alicerce a esta proposta investigativa, com a construção de uma proposição instrucional que venha a minimizar as distorções entre aquilo que efetivamente o professor aprende e o que ele deve ensinar.

IV - Fundamentos metodológicos e/ou epistemológicas para a abordagem de FMC.

É possível considerar, à luz desta revisão, três importantes vertentes representativas de abordagens metodológicas para a introdução de FMC no ensino médio: i) exploração dos limites dos modelos clássicos; ii) não utilização de referências aos modelos clássicos; iii) escolha de tópicos essenciais e norteadores de aplicações na prática docente.

Os trabalhos que visam à exploração do limites clássicos são apresentados por Gil e Solbes (1993, em OSTERMANN e MOREIRA, 2000) e estão fundamentados nas concepções do caráter não linear do desenvolvimento científico, nas dificuldades que

originaram a crise da Física Clássica e nas profundas diferenças conceituais entre a Física Clássica e a Moderna.

A não utilização de referências aos modelos clássicos é investigada por Fischler e Lichtfeldt (1992) que consideram que a aprendizagem de Física Moderna é dificultada pelo uso de analogias clássicas. Assim, os autores propõem uma nova concepção de abordagem da Mecânica Quântica para o nível secundário, a partir de cinco eixos fundamentais: i) referências à Física Clássica devem ser evitadas; ii) introdução do efeito fotoelétrico a partir das características dos elétrons e não das dos fótons; iii) interpretação estatística do fenômeno deve ser usada e descrições dualistas devem ser evitadas; iv) relação de incerteza de Heisenberg deve ser introduzida no começo (e formulada para objeto quânticos) e v) exclusão do modelo de Bohr no tratamento do átomo de hidrogênio.

Nesta investigação, em particular na proposta instrucional, apresentamos um novo eixo como representação de saberes: o princípio da correspondência, pois na medida em que uma “velha teoria” relaciona-se com a “nova teoria” nos parece ser relacionável a gênese da TAS, onde o novo conhecimento se relaciona com o conhecimento anteriormente adquirido.

A escolha de tópicos essenciais, coube a Arons (1990, em TERRAZAN, 1994) que propõe que a seleção de conteúdo de FMC seja mínimo, ao ser ensinado no Ensino Médio pois, para ele, o importante é a construção do conhecimento a partir de conceitos como: elétrons, fótons, núcleos, estrutura atômica. Ele ainda ratifica a idéia de sustentar na Física Clássica os novos conhecimentos adquiridos da Física Moderna, o que nos parece justificar não só a inserção de FMC no Nível Médio, mas encontra fundamentos na teoria da aprendizagem significativa; ainda de certa forma, a seleção de pré-requisitos que permeiam esta proposta.

Paulo (1997, em OSTERMANN e MOREIRA, 2000) considera pertinente a introdução de FMC no ensino médio, visto que esta faz parte do cotidiano da sociedade contemporânea. Ao ter noções de tópicos de FMC, o aluno dará sentido à Física, fazendo relações com o mundo que o cerca. Acredita, também, que a introdução da FMC no currículo das escolas pode proporcionar a superação de certas barreiras epistemológicas fundamentais para o conhecimento do indivíduo sobre a natureza. Para esse autor, o entendimento de FMC fará o indivíduo ter uma capacidade cognitiva maior.

Pereira (1997) coloca que o mundo contemporâneo é altamente tecnológico e que para compreendê-lo é função da escola, principalmente dos programas de Ciências Naturais e Sociais e de Física, Química e Biologia, incluir no seu currículo os assuntos relevantes para a formação de um cidadão esclarecido sobre o que o cerca. Uma pessoa que é capaz de tomar suas decisões, assim como desempenhar sua função social e econômica de forma condizente com a época em que vive.

Valadares e Moreira (1998), também concordam que é imprescindível que o estudante do ensino médio conheça os fundamentos da tecnologia atual, já que ela atua diretamente em sua vida e pode definir seu futuro profissional. É importante a introdução de conceitos básicos de FMC e, em especial, fazer a ponte entre a física da sala de aula e a física do cotidiano.

Gil e Solbes (1993 em OSTERMANN e MOREIRA, 2000) defendem que a inserção da Física Moderna e contemporânea deve apoiar-se na investigação dos limites clássicos, pois tal percepção deverá evitar concepções alternativas, pois devem ser destacadas as diferenças irreconciliáveis que existem entre a Física Clássica e a Física Moderna. Uma das conclusões a que os autores chegaram é de que a possibilidade de introduzir conceitos básicos de Mecânica Quântica no Ensino Médio deve surgir quando se faz uma abordagem construtivista, pois esta deverá promover uma mudança conceitual.

Para Pinto e Zanetic (1999), é possível verificar o perfil epistemológico de Gaston Bachelard como referencial teórico, onde foi relevante, na investigação dos autores, os aspectos históricos, filosóficos e experimentais, que sugeriram a possibilidade de se abordar tópicos de Física Quântica no Ensino Médio.

Em Paulo (2006) são apontados dois argumentos da implementação da Física Quântica via interpretação de Copenhague-Bohr no Ensino Médio; a consistência conceitual e o papel do observador na relação sujeito objeto, pois reside aí fundamentos epistemológicos importantes no processo ensino aprendizagem, com o ensino de Física Quântica, segundo a interpretação de Copenhague⁴. Assim, Paulo (2006) coloca a respeito dos argumentos:

o primeiro argumento para a utilização da Interpretação de Copenhague é a sua consistência conceitual. O segundo argumento em prol da utilização dessa interpretação em iniciativas de ensino ao Ensino Médio é o fato de que, nela, é enfatizado o papel do observador no processo de obtenção de medidas e interação com outros sistemas, já que é a interpretação que mais enfatiza a relação sujeito/objeto (Heisenberg, 1995; Bohr, 1995). Assim sendo, a Interpretação de Copenhague leva à discussão do papel nossas ações e nossa consciência no mundo que nos cerca.

V - Propostas testadas em sala de aula com apresentação de resultados de aprendizagem:

Ostermann e Moreira (2001, p. 135) justificam que há um grande número de trabalhos referentes à atualização do currículo escolar. No entanto, ainda havia escassez de pesquisas a respeito do trabalho docente.

(...) há uma tendência nacional e internacional de atualização dos currículos de Física no ensino médio. No entanto, ainda é reduzido o número de trabalhos publicados que encaram a questão sob a ótica do ensino e, mais ainda, os que buscam colocar, em sala de aula, propostas de atualização

⁴ A interpretação de Copenhague foi proposta pela primeira vez pelo físico Neils Bohr, em 1920. Ela diz que uma partícula quântica não existe em um estado ou outro, mas em todos os seus possíveis estados de uma vez só. É somente quando observamos seu estado que a partícula quântica é forçada a escolher uma probabilidade, e este é o estado que observamos. Como ela pode ser forçada a se apresentar em um estado observável diferente cada vez, isto explica porque as partículas quânticas têm um comportamento irregular. Este estado de existir em todos os estados possíveis de uma vez é chamado de superposição coerente de um objeto. O total de estados possíveis em que um objeto pode existir - por exemplo, em forma de onda ou partícula para os fótons que se movimentam em duas direções ao mesmo tempo - forma a sua função onda. Quando observamos um objeto, a superposição cai e o objeto é forçado a assumir um dos estados da sua função onda.

Na visão desta pesquisa, tal justificativa vem a ratificar as hipóteses de interesse, que o professor necessita ser melhor preparado para a atividade docente no campo da FMC.

Ostermann e Moreira (2000) realizaram uma revisão bibliográfica sobre Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio e já destacavam a carência de trabalhos que apresentem propostas testadas em sala de aula, com os seus devidos resultados de aprendizagem. Nesse estudo eles destacaram um tópico onde relacionaram a existência de trabalhos sobre Mecânica Quântica testados em sala de aula com resultados de aprendizagem – o resultado encontrado foi um total de nove trabalhos, de alguns autores, como o grupo de Gil e Solbes (1987; 1988 e 1993), Fischler e Lichtfeldt (1992), Cuppari et al. (1997), Stefanel (1998), Pinto e Zanetic (1999).

Verificamos que a conclusão dos autores foi a de que existe a possibilidade de êxito na inserção da mecânica quântica no EM e há uma convergência no que se refere aos aspectos quânticos a serem ensinados, mas ainda há divergência na metodologia a ser utilizada, especialmente no que se refere à relação do entendimento dos conceitos quânticos em relação à Física Clássica.

A contextualização das principais características da Física Moderna pode ser feita por meio do estudo do comportamento dual. Esta é a conclusão a que chegam Cavalcante, Jardim E Barros (1999), ao defenderem uma proposta de inserção da Física Moderna no EM. O trabalho propõe a construção de um espectroscópio caseiro que utiliza um CD para decompor a luz em suas frequências características, demonstrando o uso de uma rede de difração. A partir da demonstração, são introduzidos tópicos de Física Moderna relacionados. Tal trabalho configura-se como uma de muitas estratégias que funcionam como facilitadores do processo de ensino aprendizagem e viabilizam a discussão de conteúdos relacionados a características

da luz, difração, comportamento dual da luz e até mesmo, pode suscitar discussões como o efeito fotoelétrico.

Propostas testadas em sala de aula que visem a implementação de FMC, em especial a FQ, no Ensino Médio, formam o bojo das propostas de abordagens desta área da Física, não só sobre como direcionar os conteúdos em sala de aula mas, somados a eles, temos a própria escolha deste conteúdos, ou seja, nos parece que as justificativas convergem numa mesma ótica, a da aprendizagem significativa, que busca nos subsunçores a relação de ancoragem do conhecimento.

Pinto e Zanetic (1999), implementaram uma proposta em aulas da segunda série do ensino médio da cidade de Guarulhos, SP, embasada nos perfis epistemológicos de Bachelard, sobre o conceito de luz. Durante 12 aulas foram abordadas diversas formas do conhecimento científico, destacando a descrição histórica da luz (desde as formas pré-científicas até a descrição quântica), o aspecto filosófico (os perfis epistemológicos: animismo, realismo, racionalismo e ultra-racionalismo), as atividades experimentais (efeito fotoelétrico e utilização do interferômetro de Mach-Zehnder) e atividades lúdicas. Para os autores, este tipo de aulas aumentou o interesse dos alunos pela Física, embora considerem que a maioria dos alunos aprendeu pouca Física Quântica.

Cuppari, Rinaudo, Robutti e Violino (1997) consideram que é possível introduzir alguns aspectos da Mecânica Quântica utilizando a idéia de granularidade intrínseca no espaço de fase, chegando a uma ação elementar h . A idéia é que os estudantes possam adquirir familiaridade com os limites da Mecânica Clássica, podendo os gráficos do espaço de fase serem desenvolvidos até incluir a idéia do Princípio de Incerteza.

Segundo a proposta de Fischler e Lichtfeldt (1992), é necessário evitar que os estudantes interpretem os fenômenos quânticos a partir de conceitos clássicos, rompendo

explicitamente com idéias anteriores e enfatizando os aspectos singulares da descrição quântica. Os pesquisadores indicam que este tipo de abordagem favorece o aparecimento de conflitos cognitivos que levarão o estudante a revisar conscientemente suas posições anteriores e, portanto, a reconstruir seu conhecimento.

Consideramos tais justificativas, como uma forma de operacionalizar a preparação do trabalho docente, da elaboração do material educacional e da metodologia de trabalho, pois os fundamentos da TAS podem relacionar-se com a interpretação de Copenhague, ratificando a visão probabilista, não determinista que contribui para a relação do princípio da correspondência.

Niedderer & Deylitz (1999 em GRECA E MOREIRA, 2001) apontam no mesmo sentido. Implementada durante 10 anos em uma disciplina de física atômica e nuclear do último ano do ensino secundário alemão, esta proposta salienta uma representação moderna da física atômica, utilizando a equação de Schrödinger como base teórica. O cerne é a compreensão conceitual e a interpretação da mesma, sem um aprofundamento maior na discussão matemática. Recursos computacionais foram utilizados para modelar a equação de Schrödinger. Foram estabelecidas relações entre o modelo quântico estudado e uma ampla variedade de fenômenos da física atômica, do estado sólido e da Química.

Os autores concluem que, mesmo não sendo possível para a maioria dos estudantes desenvolver uma melhor compreensão da descrição teórica proposta, muitos deles teriam conseguido, em média, um bom entendimento de conceitos quânticos fundamentais.

Lawrence (1996, p. 278), propõe usar modernos dispositivos experimentais, e simulações computacionais para a introdução dos conceitos de quantização, dualidade onda-partícula, não-localidade e tunelamento e, assim, considera que a utilização de *"argumentos sustentados em experiências de laboratório, demonstrações, discussões e o conhecimento*

prévio dos estudantes, permitem conseguir que a visão quântica do mundo se torne inteligível, plausível e frutífera, incorporando-se à bagagem cultural dos estudantes".

Stefanel (1998) discute a necessidade de incorporar, de maneira não descritiva, os conteúdos de Mecânica Quântica. Considera que a atividade de laboratório (p. 38) *"ainda que limitada aos aspectos introdutórios é a base desta abordagem experimental"*. Sua proposta envolve a apresentação das experiências de difração e interferência da luz como suporte fenomenológico da discussão dos princípios quânticos; discussão de aspectos implícitos à descrição da Física Clássica, como causalidade e determinismo; aprofundamento quantitativo sobre efeito fotoelétrico, efeito Compton, experiência de Franck-Hertz e modelos atômicos; interpretação probabilística da função de onda e do Princípio de Superposição e aplicações destes conceitos para explicar propriedades da matéria como o átomo, o tunelamento e as propriedades elétricas dos sólidos (com experiências sobre efeito Hall).

De semelhante modo, Cavalcante e Tavalaro (2001), fazem uma proposta concreta de inserção da Física Moderna e Contemporânea no ensino médio por intermédio de uma oficina experimental de baixo custo, com o objetivo de produzir vários experimentos para entender os fenômenos da difração e da interferência e o comportamento corpuscular da radiação, fornecendo, assim, embasamento para a compreensão do princípio da dualidade.

Os autores concluem seu trabalho garantindo que é possível inserir a Mecânica Quântica no Ensino Médio, o que dá um caráter interdisciplinar à oficina, além de ser um suporte para os professores de Física: *"Este trabalho assume uma visão universal que permite uma melhor compreensão das formas contemporâneas de linguagem e de melhor domínio dos conhecimentos de Filosofia e de Sociologia, necessários ao exercício da cidadania"* (Cavalcante e Tavalaro, 2001, p.314).

Moreira e Ostermann (2001) investigaram a inserção da física contemporânea no ensino médio via formação de professores. O trabalho estendeu-se por três anos e constituiu-se das etapas: de elaboração do material, preparação de professores e aplicação em sala de aula. O resultado da experiência mostrou que é possível, por meio da inserção da física moderna e contemporânea, aprender conceitos físicos e, também, despertar a curiosidade científica. Essa afirmação justifica-se pelo fato de não terem sido encontrados obstáculos inerentes à natureza cognitiva e, de os obstáculos encontrados em relação aos pré requisitos terem sido suplantados.

Moreira e Paulo (2004) investigaram se os pré-requisitos ou conhecimentos prévios impedem ou facilitam a construção de conceitos fundamentais relativos à Mecânica Quântica em um trabalho investigativo realizado em duas escolas de ensino médio da rede particular da cidade de Cuiabá, que envolveu aproximadamente cem alunos. Foram ministrados os conceitos básicos da mecânica quântica na interpretação de Copenhague, após o estudo da mecânica ondulatória, que enfatizou os fenômenos da difração e interferência, a construção histórica da natureza da luz, o espectro eletromagnético e o experimento de dupla fenda. Para eles, a estratégia de usar ou não a ótica ondulatória como pré-requisito, segundo a pesquisa, não houve influência significativa na construção dos conceitos quânticos, uma vez que os resultados nas duas situações são bastante semelhantes. Os fatos sugeriram que os alunos estruturaram conceitos relevantes para a compreensão do universo quântico:

É possível verificar isso pelos depoimentos, respostas a questionários abertos e fechados e por relações conceituais estabelecidas em mapas conceituais: diferenciação entre a Física Clássica e a Física Quântica, correlação da quântica com os conceitos de probabilidade, indeterminismo e complementaridade, constatação de que tanto a luz quanto prótons, neutros e elétrons são onda-partículas e a ligação da Física Quântica com elementos do cotidiano. (MOREIRA e PAULO, 2004, p.71)

Capítulo 3 - REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 - A abordagem cognitivista de Ausubel

Dentre as perspectivas existentes para o estudo das questões de ensino e aprendizagem, encontra-se a abordagem cognitivista, fundamentada na Psicologia Cognitiva, que *“trata do modo como as pessoas percebem, aprendem, recordam e pensam sobre a informação”* (STERNBERG, 2000, p. 22).

O cognitivismo apóia-se na idéia de que é possível compreender vários aspectos do comportamento humano partindo-se do entendimento da maneira pela qual as pessoas pensam. A ênfase desse enfoque é o processo da cognição, pelo qual o indivíduo atribui significados às situações com que se depara no mundo. Devido a essas características, as pesquisas educacionais situadas dentro desse quadro teórico consideram essencial o conhecimento das idéias que os estudantes apresentam.

Essa preocupação é central para Ausubel (1976), para quem o fator mais importante influenciando a aprendizagem é aquilo que o aluno já sabe, devendo o professor averiguar isso e ensinar de acordo.

O enfoque de Ausubel pode ser relacionado à visão de ensino e aprendizagem denominada construtivista, que, segundo Mortimer (1995, p. 57), parece apresentar ao menos dois traços principais: *“1) a aprendizagem se dá através do ativo envolvimento do aprendiz na construção do conhecimento; 2) as idéias prévias dos estudantes desempenham um papel importante no processo de aprendizagem”*.

Neste capítulo, serão examinados os fundamentos da Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, cujos conceitos e princípios foram referência para o desenvolvimento e a avaliação da proposta educacional descrita neste trabalho, em conjunto com as idéias originadas das pesquisas da área de Educação para a Ciência.

3.2 - Aprendizagem verbal, significativa e receptiva

A teoria da aprendizagem de Ausubel está focada na aprendizagem verbal, significativa e por recepção. O caráter verbal é salientado porque, para Ausubel, a linguagem é importante facilitador da aprendizagem, pois os signos lingüísticos, com suas propriedades representacionais, ampliam a capacidade de se manipular conceitos e proposições. Mediante a linguagem, os significados podem ser clarificados, tornando-se mais precisos e transferíveis.

O significado surge quando um objeto e o signo verbal que o representa são relacionados (MOREIRA e MASINI, 2002). Os aspectos significativo e receptivo estão associados aos processos considerados mais efetivos por Ausubel (1976), para a construção do conhecimento pelos estudantes: a aprendizagem por recepção e a aprendizagem significativa.

Sabemos que a aprendizagem significativa caracteriza-se pela interação entre o novo conhecimento e o conhecimento prévio. Nesse processo, que é não- literal e não-arbitrário, o novo conhecimento adquire significados para o aprendiz e o conhecimento prévio fica mais rico, mais diferenciado, mais elaborado em termos de significados, e adquire mais estabilidade. (MOREIRA e MASINI, 1982; MOREIRA, 1999, 2000). Sabemos, também, que o conhecimento prévio é, isoladamente, a variável que mais influencia a aprendizagem. Em

última análise, só podemos aprender a partir daquilo que já conhecemos. David Ausubel já nos chamava atenção para isso em 1963. Hoje, reconhecemos que nossa mente é conservadora, aprendemos a partir do que já temos em nossa estrutura cognitiva. Como dizia ele, já nessa época, se queremos promover a aprendizagem significativa é preciso averiguar esse conhecimento e ensinar de acordo.

Podemos enfatizar que um aspecto fundamental da aprendizagem significativa é que o aprendiz deve apresentar uma pré-disposição para aprender. Ou seja, para aprender significativamente, o aluno tem que manifestar uma disposição para relacionar, de maneira não arbitrária e não literal, à sua estrutura cognitiva, os significados que capta dos materiais educativos, potencialmente significativos, do currículo (GOWIN, 1981).

A aprendizagem por recepção é aquela em que os estudantes adquirem suas noções por meio do contato com materiais apresentados em sua forma final, sem que precisem descobrir conhecimentos por si mesmos. Esse tipo de aprendizagem distingue-se da aprendizagem por descoberta, na qual o estudante descobre os conteúdos antes de incorporá-los em sua estrutura cognitiva. Segundo Ausubel (1976), a maior parte dos conceitos aprendidos pelos alunos, tanto em sala de aula quanto fora dela, ocorrem de forma receptiva.

Na visão de Ausubel, essa seria a maneira mais simples e eficaz de se adquirir o conteúdo de uma disciplina acadêmica, que passa a predominar quando o indivíduo começa a apresentar maior maturidade intelectual, tornando-se capaz de compreender conceitos e proposições expostos verbalmente, sem necessidade de experiência empírica ou concreta adicional.

Os tipos de aprendizagem descritos podem ocorrer tanto de modo mecânico, por repetição, quanto de maneira significativa (AUSUBEL, 1976). A aprendizagem significativa processa-se quando o aluno relaciona o conteúdo em estudo àquilo que já conhece, de modo

não-arbitrário e substantivo (não-literal). Isso envolve a conexão de uma nova idéia expressa simbolicamente a algum aspecto essencial de sua estrutura cognitiva – o conjunto organizado de suas idéias –, seja uma imagem, um símbolo que já possui significado, um contexto ou uma proposição.

A aprendizagem por recepção envolve, principalmente, a aquisição de novos significados a partir de material de aprendizagem apresentado. Exige quer um mecanismo de aprendizagem significativa, quer a apresentação de material potencialmente significativo para o aprendiz. Por sua vez, a última condição pressupõe (1) que o próprio material de aprendizagem possa estar relacionado de forma não arbitrária e não literal com qualquer estrutura cognitiva apropriada e relevante e (2) que a estrutura cognitiva particular do aprendiz contenha idéias relevantes, com as quais se possa relacionar o novo material. A interação entre novos significados potenciais e idéias relevantes na estrutura cognitiva do aprendiz dá origem a significados verdadeiros ou psicológicos. Devido à estrutura cognitiva de cada aprendiz ser única, todos os novos significados adquiridos são, também eles, obrigatoriamente únicos. (AUSUBEL, 2003.)

A aprendizagem mecânica ou por repetição surge em situações nas quais o ato de aprender envolve apenas associações arbitrárias, como por exemplo, na memorização dos símbolos das letras do alfabeto. Ocorre também quando o aluno não dispõe de conhecimentos prévios suficientes para tornar a tarefa de aprendizagem significativa, ou nos casos em que este resolve internalizar o conhecimento de modo arbitrário e literal, ou seja, na forma de uma série de palavras armazenadas sem critério. Segundo Ausubel 1976, para ocorrer a aprendizagem significativa é necessário que o estudante apresente disposição para estabelecer relações não-arbitrárias e substantivas do novo material com a sua estrutura cognitiva. Também é preciso que o material a ser aprendido seja potencialmente significativo para o

aluno, isto é, possa ser especialmente associado à sua estrutura de conhecimento, de modo intencional e não-literal.

O potencial significativo de um material depende de sua organização lógica, que o permita ser relacionado de modo intencional e substancial a idéias que seres humanos em geral possam exibir. Demanda ainda a existência de idéias apropriadas na estrutura cognitiva de um aluno particular, que possam entrar em correspondência não-arbitrária e não-literal com o conteúdo a ser aprendido.

O resultado da aprendizagem significativa é a produção do significado, o qual poderá ser evocado quando a expressão simbólica que o originou estiver presente. Nesse processo, o significado potencial existente inicialmente é convertido em significado novo, diferenciado e idiossincrático, ao ser introjetado por um estudante específico.

3.3 - Tipos de aprendizagem significativa

Ausubel, 1976, distingue três tipos essenciais de aprendizagem significativa: representacional, de conceitos e de proposicional. Na aprendizagem representacional, atribui-se significado a símbolos isolados, geralmente palavras, cada uma representando objeto, acontecimento, situação ou conceito individuais. Nessa modalidade, cada palavra nova passa a representar o objeto ou idéia a que se refere.

Desta maneira este tipo de aprendizagem aproxima-se da aprendizagem por memorização. Ocorre sempre que o significado dos símbolos arbitrários se equipara aos referentes (objetos, acontecimentos, conceitos) e tem para o aprendiz o significado, seja ele qual for, que os referentes possuem. A aprendizagem representacional é significativa, porque

tais proposições de equivalência representacional podem relacionar-se de forma não arbitrária, como exemplares, a uma generalização existente na estrutura cognitiva de quase todas as pessoas, quase desde o primeiro ano de vida – de que tudo tem um nome e que este significa aquilo que o próprio referente significa para determinado aprendiz.(AUSUBEL, 2003)

Para Moreira (2006) a aprendizagem de conceitos, é de certa forma, uma aprendizagem representacional, pois conceitos são, também representados por símbolos particulares. Aprender um conceito demanda a identificação e a compreensão do significado de seus atributos, ou seja, das propriedades que possibilitam distingui-lo ou identificá-lo. Além desse significado, denotativo, surge também o conotativo, o qual inclui as reações afetivas e atitudinais, de caráter idiossincrático, que o termo produz em cada pessoa.

Na aprendizagem proposicional, confere-se significado as idéias expressa por meio de conjuntos de palavras combinadas em proposições ou orações. Essa tarefa transcende a ação de aprender proposições de equivalência representativa, pois envolve a captação do significado de nova idéia composta, gerada pela combinação de várias palavras individuais, cada qual representando um referente unitário. Isso resulta em idéia diferente da simples soma dos significados das palavras componentes da proposição. Exceto em estudantes muito jovens, as proposições aprendidas são, em geral, constituídas por palavras-conceito, ao invés de objetos ou acontecimentos.

Conforme expõe Ausubel (1976), a aprendizagem de representações é condição *sine qua non*⁵ para a aprendizagem de proposições, pois é preciso conhecer o significado de cada palavra para se poder compreender uma sentença expressa verbalmente.

⁵A tradução literal de **sine qua non** é "sem a qual não", e indica que uma condição, fator, cláusula ou circunstância é essencial, indispensável para a realização de determinado ato, evento ou circunstância.

Ausubel (1976), considera que a relação entre um conceito ou o conteúdo de uma proposição e as idéias pertinentes já existentes na estrutura cognitiva, na aprendizagem significativa, pode ser de três tipos: subordinada, superordenada ou uma combinação de ambas. A aprendizagem subordinada, por sua vez, pode ser classificada em derivativa e correlativa.

Na aprendizagem subordinada, conceitos ou proposições potencialmente significativos são subsumidos ou incluídos em idéias mais amplas e gerais da estrutura cognitiva do indivíduo. Para Ausubel, essa relação de subordinação é comum devido à organização hierárquica da estrutura cognitiva com respeito ao nível de abstração, generalidade e inclusividade. As idéias mais gerais e inclusivas pré-existentes na estrutura cognitiva, que servem de ponto de ancoragem para a conexão de novas informações específicas, Ausubel (em MOREIRA e MASINI, 2002) denomina subsunçores.

A aprendizagem subordinada derivativa ou subsunção derivativa ocorre quando o novo material incorporado corresponde a exemplo específico de conceito existente na estrutura cognitiva ou quando apóia ou ilustra proposição geral aprendida anteriormente. Nesse caso, a nova idéia a ser conhecida está implícita em conceito ou proposição já estabelecido e mais inclusivo da estrutura cognitiva, do qual pode ser derivado de modo evidente e direto.

A aprendizagem subordinada correlativa ou subsunção correlativa processa-se quando o novo material a ser aprendido corresponde a uma extensão, elaboração, modificação ou limitação de conceitos ou proposições aprendidos previamente. Apesar de esse material incorporado interagir com as idéias pertinentes e mais inclusivas estabelecidas anteriormente na estrutura cognitiva, seu sentido não está subentendido e não pode ser representado adequadamente por esses subsunçores.

Na aprendizagem superordenada, uma nova idéia inclusiva é aprendida e passa a abarcar conceitos ou proposições mais específicos existentes na estrutura cognitiva. Para Ausubel, isso é mais comum durante a aprendizagem de conceitos do que a de proposições, ocorrendo, por exemplo, quando um estudante passa, a saber, que as noções por ele conhecidas de quark, elétron e neutrino estão subsumidas na nova palavra férmion. Essa modalidade de aprendizagem ocorre no raciocínio indutivo ou no caso em que o material exposto está organizado indutivamente ou implica a síntese das idéias componentes.

Segundo Ausubel, diversos novos conceitos ou novas proposições são adquiridos dessa forma. Um exemplo é a aprendizagem das relações entre massa e energia, dentre outras generalizações novas, inclusivas e de grande poder explicativo estudadas na Ciência.

3.4 - O processo de assimilação

Para interpretar a aquisição, retenção e organização de significados na estrutura cognitiva, Ausubel (1976) introduz a idéia de assimilação. O princípio da assimilação possibilita compreender mais profundamente de que modo um significado subordinado é gerado e armazenado. Na aprendizagem subordinada, um conceito ou proposição *a*, potencialmente significativo, é subsumido em uma idéia mais ampla **A** da estrutura cognitiva, como extensão, elaboração, modificação ou limitação desse subsunçor. Nesse processo, tanto a nova idéia *a*, quanto a idéia estabelecida **A**, que entram em associação, são modificadas, passando a ser designadas **a'** e **A'**, respectivamente. Os produtos **a'** e **A'** dessa interação permanecem relacionados, formando um novo complexo unificado de idéias **A'a'**. Isso pode ser representado pelo esquema $\mathbf{A + a \rightarrow A'a'}$.

O termo assimilação é utilizado porque, após o surgimento do novo significado, este continua em relação articulada com a forma, levemente modificada, da idéia já existente na estrutura cognitiva, constituindo o membro menos estável da nova unidade ideativa formada. Além disso, o novo significado tende a reduzir-se ao significado da idéia estabelecida de modo mais consolidado. Ausubel supõe que o significado recém-assimilado a' é dissociável de seu subsunçor A' , podendo ser reproduzido como elemento identificável e isolado. Essa hipótese permite explicar a possibilidade de se dispor dos novos conceitos no período de retenção.

Concomitante à fase de retenção, inicia-se um processo – chamado obliteração – em que a' acaba perdendo identidade, restando apenas A' . Trata-se da assimilação obliteradora, em que à nova informação (a) resta o papel de modificar, enriquecer, reelaborar, o conceito subsunçor (A), não ficando incorporada, com identidade, na estrutura cognitiva. Pode-se dizer, nesse caso, que, apesar de desempenhar um papel importante no processo de assimilação, a informação a é “esquecida”. Contudo, não se trata de esquecimento no sentido usual do termo, pois, de alguma maneira, a nova informação “está dentro do subsunçor”. (MOREIRA e MASINI, 1982 em PAULO, 2006).

Segundo Ausubel (1978, p.58) apud Moreira (2006, p.33), como a estrutura cognitiva, em si, tende a uma organização hierárquica em relação ao nível de abstração generalidade e inclusividade das idéias, a emergência de novos significados conceituais ou proposicionais reflete, mais tipicamente, uma subordinação do novo conhecimento à estrutura cognitiva, que é chamada de aprendizagem significativa subordinada.

A aprendizagem superordenada se dá quando um conceito ou proposição potencialmente significativo A , mais geral e inclusivo que idéias ou conceitos já estabelecidos na estrutura cognitiva a_1, a_2, a_3 é adquirido a partir destes e passa a assimilá-los (idem).

Embora as idéias aprendidas sejam mais gerais e inclusivas que os significados mais específicos e estáveis da estrutura cognitiva aos quais se relacionam, estas também são esquecidas.

No processo de aquisição, retenção e obliteração durante a aprendizagem significativa, um conceito ou proposição não precisa se restringir a formar um produto interativo com apenas uma idéia mais inclusiva **A'**. Conforme considera Ausubel, podem ser formados também produtos com diversas idéias gerais **B, C, D** e outras. Apesar de os conceitos ou as proposições de maior estabilidade e melhor estabelecidos serem mais funcionais em outras aprendizagens ou operações de resolução de problemas ao se desligarem dos significados menos estáveis que assimilaram, o processo de redução ocasiona a perda de informações e detalhes dos conteúdos mais específicos.

Segundo Ausubel (1976), opor-se a esse processo de assimilação obliteradora, próprio da aprendizagem significativa, é o problema principal na aquisição de um conteúdo acadêmico. Para ele, apesar da etapa de obliteração, a aprendizagem significativa melhora a retenção do conhecimento. Para explicar de que modo as novas informações assimiladas podem ser mantidas na memória por longo prazo, Ausubel considera três fatores, relacionados ao processo de assimilação. Primeiramente, o novo significado passa a compartilhar da estabilidade própria das idéias mais estáveis da estrutura cognitiva a qual se liga. Além disso, a relação intencional e original mantida entre o novo conceito ou proposição e as informações já existentes preserva o significado formado recentemente da influência de outras idéias aprendidas ou que serão adquiridas no futuro. E ainda, a articulação entre a nova idéia significativa e uma noção particular mais pertinente da estrutura cognitiva favorece sua recuperação mais sistematicamente.

3.5 - Organização da estrutura cognitiva

A hipótese da assimilação contribui, segundo Ausubel, para o entendimento do modo como o conhecimento é organizado na estrutura cognitiva. Considerando-se que uma nova idéia se relaciona com alguma noção existente na estrutura cognitiva e, em geral, um dos componentes desse par é mais inclusivo e estável, enquanto o outro é dotado de maior especificidade e menor estabilidade, verifica-se a existência de uma hierarquia conceitual.

A organização dos conteúdos na mente de um indivíduo configuraria, então, uma pirâmide, seguindo o princípio da diferenciação progressiva, com as idéias mais amplas e inclusivas no ápice, assimilando aquelas menos amplas ou mais diferenciadas situadas no escalão seguinte que, por sua vez, fariam a subsunção das idéias mais específicas do próximo nível da escala hierárquica, e assim sucessivamente. Considerando a natureza do processo pelo qual a estrutura de conhecimento de um indivíduo aumenta, segundo o mecanismo de assimilação, Ausubel depreende que a estrutura cognitiva existente, incluindo tanto conteúdo como organização, é o fator principal que influi na aprendizagem e retenção significativas em certa área de estudo.

Diversas variáveis da estrutura cognitiva afetam a aprendizagem e a retenção de um novo material potencialmente significativo. Dentre essas, Ausubel (1976) atribui grande importância à disponibilidade de idéias inclusivas pertinentes que possam servir de ponto de sustentação e possibilitar o estabelecimento de relações otimizadas entre conceitos e proposições. Sem a existência de subsunçores adequados, pode ocorrer aprendizagem mecânica ou, o que é mais comum, algum tipo de aprendizagem combinatória ou uma inclusão correlativa menos pertinentes. Os significados formados desse modo são relativamente sem estabilidade, ambíguos e de pouca longevidade.

Uma segunda variável considerada relevante é o grau em que uma idéia a ser assimilada pode ser discriminada dos sistemas de idéias estabelecidos na estrutura cognitiva. Quando um novo material de aprendizagem é semelhante a outro já conhecido pelo estudante, tende a ser interpretado como idêntico a este, resultando em significados que não correspondem adequadamente ao conteúdo a ser aprendido. Por outro lado, mesmo se um aluno souber da existência de algumas diferenças entre as idéias em estudo e aquelas que possui, talvez não consiga discriminá-las, originando significados ambíguos, confusos, sobre os quais persistem dúvidas, e significados opcionais ou em competição. Nesses casos, a força de dissociabilidade dos significados recém-aprendidos é relativamente pequena, sendo em geral esquecidos mais rapidamente do que conceitos ou proposições de maior discriminabilidade, pelo fato de poderem ser representados convenientemente pelas idéias semelhantes mais estáveis já existentes.

Outras variáveis reconhecidas por terem influência apreciável na aprendizagem significativa e na permanência na memória do material em estudo, são a estabilidade e a clareza dos subsunçores existentes. Caso essas propriedades não sejam verificadas, os novos materiais serão relacionados às idéias da estrutura cognitiva de modo pouco apropriado, sendo fracamente sustentados e não podendo ser discriminados destas com facilidade. A clareza e estabilidade das idéias que o aluno apresenta relacionam-se diretamente à discriminabilidade de novos conceitos em relação à sua estrutura cognitiva.

Verifica-se que quanto maior o grau de conhecimento sobre um assunto, melhor a capacidade para aprender novos conteúdos dessa área de interesse, pois existem mais subsunçores pertinentes disponíveis e é possível discriminar, de modo mais eficaz, as idéias existentes das análogas que se busca aprender.

Desse modo, conclui-se que, para poderem surgir significados precisos e sem ambigüidade, os quais tendem a reter sua força de dissociabilidade e disponibilidade, a estrutura cognitiva deve possuir conceitos e proposições claros, estáveis e organizados adequadamente.

3.6 - Princípios organizacionais para a apresentação de material instrucional

Com o intuito de maximizar a aprendizagem e a retenção significativas, além de facilitar experiências de aprendizagem subseqüentes, Ausubel (1976) assume ser possível atuar de forma planejada sobre os atributos pertinentes da estrutura cognitiva, tanto substancialmente quanto programaticamente. Para influir substancialmente, empregam-se conceitos e proposições unificadores de uma determinada disciplina que sejam mais explicativos, inclusivos e gerais, e apresentem maior possibilidade de serem relacionados com o conteúdo da matéria em estudo. Esse tipo de procedimento tem o propósito de organizar e integrar os elementos constituintes da estrutura cognitiva.

Para agir programaticamente, aplicam-se princípios que facultem ordenar a seqüência de tópicos de um campo de conhecimentos a serem aprendidos, estruturar o assunto de forma lógica e com organização interna, e preparar atividades práticas. São cinco as estratégias pedagógicas enfatizadas por Ausubel (1976) para facilitar a aprendizagem significativa: o uso de organizadores prévios, a diferenciação progressiva, a reconciliação integrativa, a organização seqüencial e a consolidação.

O recurso principal para a manipulação deliberada da estrutura cognitiva tendo em vista a melhoria da aprendizagem, segundo Ausubel, são os organizadores prévios, materiais

introdutórios dotados de alto nível de abstração, generalidade e inclusividade, que empregam idéias com o máximo de clareza e estabilidade. Um organizador prévio tem a função de mobilizar subsunçores relevantes existentes na estrutura cognitiva do aluno e possibilitar que estes atuem na inclusão da matéria a ser aprendida, tornando-a mais familiar e potencialmente significativa. Busca fornecer ao estudante um arcabouço de idéias pertinentes e adequadas para permitir a incorporação e a retenção otimizadas do material mais detalhado e diferenciado a ser apresentado na seqüência de aprendizagem. Tem por objetivo também aumentar a capacidade de discriminar o novo material das idéias parecidas, porém distintas, conhecidas pelo estudante.

Além disso, pode contribuir para a reconciliação e integração de noções que estejam em contradição real ou aparente com idéias da estrutura cognitiva. Conforme sintetiza Ausubel (1976, p. 179), “(...) *a função principal do organizador é salvar o abismo que existe entre o que o aluno já sabe e o que necessita saber, antes de aprender com bons resultados a tarefa imediata*”. São distinguidos dois tipos de organizadores prévios: o expositivo e o comparativo. O primeiro é elaborado para proporcionar o desenvolvimento de subsunçores pertinentes e próximos, em relação subordinada com o conteúdo a ser aprendido, privilegiando a ancoragem de idéias a partir do que é mais familiar para o aluno. O segundo é construído para favorecer a identificação das semelhanças entre as novas idéias e as da estrutura cognitiva, e a ampliação do grau com que os novos conteúdos são discriminados das noções diferentes em essência, porém bastante parecidas, já existentes.

Para a utilização das estratégias pedagógicas propostas por Ausubel, é fundamental verificar inicialmente de que modo a disciplina a ser ensinada está organizada e encontrar seus princípios explicativos com propriedades mais gerais e de maior poder integrativo. Ao se estruturar o assunto tendo em vista a aprendizagem significativa, é importante também levar em consideração o nível de desenvolvimento cognitivo do aluno e seu grau de domínio da

matéria. A identificação de conceitos básicos procura atender ao problema da organização substancial do assunto. Após essa etapa, resta a questão da organização programática, relativa ao arranjo e à apresentação em seqüência das unidades componentes da disciplina em estudo.

Ao se utilizar o princípio da diferenciação progressiva, são expostos primeiramente conceitos e proposições mais gerais e inclusivos, seguidos das idéias mais específicas do assunto, progressivamente pormenorizado. Justifica-se o emprego desse recurso devido:

a) à maior facilidade manifestada pelo ser humano em aprender aspectos diferenciados de um todo mais amplo já sabido do que apreendê-lo a partir do conhecimento de suas partes componentes mais específicas;

b) à organização hierárquica do conteúdo existente na mente dos indivíduos, com idéias mais inclusivas no extremo superior, as quais subsumem informações progressivamente menos inclusivas e mais diferenciadas.

A introdução das idéias mais inclusivas e pertinentes em primeiro lugar possibilita o desenvolvimento de subsunçores adequados que poderão servir de ancoradouro para idéias mais específicas apresentadas posteriormente, contribuindo, desse modo, para a sua aprendizagem e retenção mais eficazes. Segundo Ausubel, é conveniente organizar não só o material relativo a um tema segundo esse princípio, mas todo o conjunto de temas e subtemas que compõem um curso.

Pelo princípio da reconciliação integrativa, busca-se explorar relações entre as idéias de um assunto, indicar semelhanças e diferenças importantes, e reconciliar inconsistências reais ou aparentes. Desse modo, evita-se compartimentar e isolar idéias ou temas particulares em capítulos ou subcapítulos específicos, sem que sejam comparadas idéias relacionadas.

A programação de atividades de ensino e aprendizagem considerando-se a reconciliação integrativa permite aumentar a capacidade de se discriminar as novas idéias a serem aprendidas, daquelas conhecidas e bem estabelecidas. Dessa maneira, contribui para evitar o surgimento de ambigüidades, falsas concepções e confusões, as quais dificultam a clara distinção entre idéias familiares e desconhecidas, e acentuam a tendência de que estas se reduzam àquelas. Esse princípio possibilita também eliminar contradições aparentes entre os novos conceitos e proposições e as idéias existentes na estrutura cognitiva, de modo a impedir o estudante de descartar as novas idéias ou, então, de memorizá-las arbitrariamente como se fossem entidades isoladas, distintas do que se aprendeu anteriormente, gerando conhecimento pouco durável.

Para se alcançar a reconciliação integrativa com maior eficácia, Novak (1986) considera que é preciso organizar a instrução de modo a se “subir e descer” ao longo da hierarquia conceitual segundo a qual está estruturada uma disciplina, na medida que a nova informação vai sendo apresentada. De acordo com Novak, pode-se iniciar o ensino de um tópico a partir dos conceitos mais gerais, logo a seguir ilustrar de que modo conceitos subordinados estão a estes relacionados e, então, por meio de exemplos, voltar a novos significados de conceitos de ordem superior na hierarquia. Os organizadores prévios podem ser elaborados de acordo com o princípio da reconciliação integrativa, ao explicitarem pontos comuns e aspectos distintos na comparação entre informações novas e já aprendidas, mobilizando subsunçores adequados para favorecer a aprendizagem subsequente.

Segundo Ausubel, esse procedimento faculta reduzir o esforço na aprendizagem, evitar o isolamento de conceitos essencialmente iguais em áreas diferentes e sem comunicação, e desestimular a proliferação desorientadora de uma diversidade de termos para representar idéias aparentemente diferentes, porém, na verdade, equivalentes. Além disso, melhora a habilidade de o aluno discriminar diferenças genuínas entre novos materiais parecidos porém,

na realidade, de significados opostos aos que se encontram em sua estrutura cognitiva, favorecendo sua retenção posterior.

A aprendizagem de novos conceitos e proposições inclusivos claramente diferenciáveis dos existentes, conforme assume Ausubel, implica desempenho superior na aprendizagem posterior de material mais detalhado. Isso ocorre porque esse material pormenorizado é aprendido com maior clareza, estabilidade e discriminabilidade, pelo fato de as idéias que o subsumem serem mais discrimináveis e, portanto, mais estáveis, estando, conseqüentemente, mais aptas a proporcionar subsunção contínua e segura.

Ao se aplicar o princípio da consolidação, procura-se assegurar que os assuntos já estudados de uma seqüência sejam dominados pelo estudante antes da introdução de um novo material de aprendizagem. Como expõe Ausubel, para se obter a consolidação são necessárias repetições e revisões da matéria em estudo, em quantidade suficiente e com espaçamento adequado, com oportunidade para a realização de práticas diferenciais dos componentes mais difíceis da tarefa de aprendizagem. É preciso também promover atividades para confirmar, esclarecer e corrigir as aprendizagens prévias.

A consolidação contribui para que os conteúdos prévios se configurem com clareza, estabilidade e boa organização na estrutura cognitiva do aluno, com efeitos positivos sobre a profundidade da ancoragem proporcionada a novos conteúdos e a discriminabilidade destes, melhorando a aprendizagem e a retenção dos significados formados. O arranjo hierárquico da estrutura cognitiva parece favorecer a aprendizagem de conceitos e proposições que nela podem ser subsumidos. Por isso, Ausubel sugere optar-se, sempre que possível, pela aprendizagem subordinada, pois essa modalidade permitiria aprender conceitos e proposições mais rapidamente, propiciando sua retenção por mais tempo.

Os princípios organizacionais para a apresentação de material didático propostos por Ausubel destinam-se a favorecer esse tipo de aprendizagem, a fim de otimizar a aquisição e retenção significativas de informações.

3.7 - Dimensões do processo educacional

A ênfase da abordagem ausubeliana na aprendizagem de conceitos e proposições não significa que outros aspectos da educação possam ser deixados de lado. Conforme se infere da teoria de Ausubel, o fator motivacional é um importante elemento da aprendizagem significativa, pois não basta um material ser potencialmente significativo; é preciso que o estudante tenha iniciativa para estabelecer relações não-arbitrárias e substantivas em sua estrutura cognitiva.

Desse modo, temas e atividades inovadoras, que possam estimular os estudantes e incentivar a aprendizagem, devem ser buscadas. Isso pode envolver, por exemplo, a abordagem de assuntos atuais, pelos quais os estudantes têm um interesse natural, por estarem em contato em seu dia-a-dia, seja em função da interação com novas tecnologias que repercutem no dia-a-dia ou devido ao acesso a informações pela mídia. Outro fator com potencial para motivar os estudantes é a informática, que permite empregar recursos multimídia para despertar o interesse e auxiliar na compreensão dos assuntos.

Como observa Novak (1986), a aprendizagem cognitiva é acompanhada de experiência emocional e, por isso, o desenvolvimento afetivo necessariamente ocorre de modo concomitante à aprendizagem cognitiva. Para Novak, a experiência emocional tende a ser boa quando o ensino é planejado para aperfeiçoar a aprendizagem cognitiva e, portanto, o

desenvolvimento afetivo positivo é maximizado quando estão presentes condições favoráveis ao crescimento intelectual.

Além disso, Novak reconhece a existência de outros fatores que influem na resposta emocional. Os momentos de interação entre as pessoas constituem fontes ricas de experiência emocional e, quando equilibradas, podem fortalecer a autoconfiança e proporcionar suporte para se enfrentar outros desafios. Por esse motivo, a criação de oportunidades para a comunicação e a expressão de idéias, incluindo o trabalho cooperativo envolvendo duas pessoas ou um pequeno grupo, pode favorecer a aprendizagem. A promoção de debates e a discussão aberta dos temas em estudo fomentam a participação dos estudantes e tendem a contribuir para melhorar relações em sala de aula, permitindo valorizar suas idéias e os conhecimentos que já trazem de suas experiências cotidianas.

Os conteúdos de aprendizagem abrangem mais do que capacidades cognitivas, envolvendo conceitos, procedimentos e atitudes relacionados, respectivamente, ao que é preciso saber, saber fazer e ser (COLL, 1986 apud ZABALA, 1998). Conforme expõe Zabala (1998), cada um desses conteúdos é caracterizado por um conjunto de aspectos a serem aprendidos:

a) A aprendizagem de conteúdos conceituais abrange o conhecimento e a compreensão de fatos, conceitos e princípios, com a capacidade de utilizá-los para interpretar situações e construir novas idéias. São conteúdos dessa natureza: nomes, acontecimentos, fenômenos concretos e singulares, termos abstratos, símbolos, relações, leis e outros.

b) A aprendizagem de conteúdos procedimentais abarca a realização de ações seguindo-se procedimentos e aplicando-se técnicas e métodos, demandando exercício, reflexão sobre os próprios atos e habilidade para empregar tal conhecimento em contextos diferenciados. São conteúdos dessa natureza: ler, observar, calcular, classificar, inferir, debater e outros.

c) A aprendizagem de conteúdos atitudinais engloba o cultivo de valores, atitudes e normas, necessários para a vida equilibrada em Sociedade. São conteúdos dessa natureza valores como a solidariedade, o respeito aos outros e a responsabilidade, e atitudes tais quais cooperar com o grupo, ajudar os colegas e respeitar o ambiente.

Capítulo 4 – PROPOSIÇÃO INSTRUCIONAL

Neste capítulo descreveremos o produto educacional, que se traduz em uma proposição instrucional; assim, apresentaremos como se deu o seu processo de produção, sua aplicação como parte do estudo, onde iremos destacar os aspectos teóricos que foram utilizados nesse material.

A construção da proposição instrucional surge em decorrência da realização deste trabalho e é constituído de três partes: a primeira um manual didático de orientação de uso, a segunda de um texto de apoio, voltado a professores, com textos compilados de outros trabalhos de pesquisa, com o intuito de reunir em um só trabalho impresso, material que viesse a dar suporte didático ao Curso de Introdução a Mecânica Quântica para Professores em atividade via Aprendizagem Significativa, haja vista a necessidade de um material que viesse a ser potencialmente significativo.

A terceira parte da proposição foi a confecção de um *CD-ROM* que contivesse as aulas ministradas em apresentações de slides, uma série de vídeos livres compilados da *internet*, simuladores e imagens que foram utilizadas durante as aulas e textos que venham a fundamentar o tema de MQ.

As aulas foram ministradas em módulos de aprendizagem e tiveram como fundamentação a construção do conhecimento a partir dos subsunçores, verificados a partir da aplicação da avaliação formal, que pudessem ser apresentados pelos professores que estavam participando do curso, assim o produto educacional em sua parte escrita, manual didático e texto de apoio, foi aplicado também em módulos conforme descreveremos a seguir.

4.1 O Texto de Apoio

O texto de apoio como parte integrante da proposição instrucional, foi utilizado como material didático durante o curso e teve como característica principal a sua forma de apresentação, como uma compilação minuciosa de trabalhos já publicados em investigações testadas, seja para alunos do ensino médio, para estudantes do ensino superior e ainda, em alguns casos, para professores.

Tal compilação se justifica pela falta de tempo dos professores para preparar materiais que visem nortear suas aulas no ensino médio e que proporcione uma amplificação de seus conhecimentos, pois livros didáticos, apostilas e outros materiais que normalmente são utilizados por professores os conduzem a fomentar a aprendizagem mecânica, a todo tempo, minimizando as habilidades e competências seja do aluno ou do próprio professor.

MÓDULO I

Este módulo foi ministrado em 10 horas aula, onde iniciamos com a entrega do produto impresso a todos os participantes do curso, fazendo uma breve apresentação da sua composição, para que o aprendiz pudesse tomar contato com o material, manuseá-lo e perceber logo no primeiro momento que não se tratava de um livro, ou apostila que se prendia a matematização da FQ, mas um manual de conteúdos significativos de introdução a mecânica quântica. O módulo é dividido em:

1. Limitações da Física Clássica.

2. O nascimento da mecânica quântica.

3. A discussão científica (nuvens de Kelvin).

4. Uma nova forma de ver o mundo.

A apresentação deste módulo foi concebido com o intuito de gerar uma discussão da necessidade de se ensinar MQ no Ensino Médio a partir de uma abordagem histórica e filosófica, com justificativas motivadoras e que viessem a nos mostrar condicionantes ou limitadores da TAS, para assim identificarmos os primeiros subsunçores relacionados à visão histórica e filosófica e poder promover a aprendizagem significativa.

Foi utilizado como recurso didático a apresentação de *slides*⁶, introdução à Mecânica Quântica - visão geral da proposição instrucional – professor, onde tivemos a oportunidade de mostrar a construção histórica e filosófica do pensamento no final do século XIX e início do século XX, visando fortalecer o uso do produto educacional e, ainda, promover um facilitador no processo de acompanhamento da parte escrita da proposição.

Essa apresentação pode trazer aos professores uma visão geral dos aspectos que norteavam a Física no final do século XIX e as motivações que levaram ao incremento da “nova” física que nascia, num contexto histórico, no início do século passado com o marco dos trabalhos de Max Planck. A apresentação também trás os princípios conceituais da TAS, como teoria que embasava esta pesquisa.

⁶ Decidimos trabalhar com apresentação de *slides*, via computador, pela facilidade do uso deste recursos multimídia, acessível aos professores e, pela linguagem que leva aos alunos do EM, pelo incentivo a inclusão digital e pela característica do Produto Educacional que oferece ao professor: apresentações de *slides*, *gif's* animados, *links* para *web pages*, arquivos em *flash*, imagens, textos estáticos/dinâmicos e vídeos educacionais.

Introdução



A Física no final do século XIX:
um modelo em crise

Figura 1

Slide da aula 1 - Introdução a Mecânica Quântica.

Concomitante com a parte escrita foi apresentado, ainda neste módulo, o vídeo 1 - Motivacional - Uma reflexão a respeito dos tempos modernos – Interdisciplinar – que teve o papel de organizar idéias e promover um debate a respeito do uso de tecnologias que venham a facilitar a vida humana e assim suscitar a discussão sobre as tecnologias advindas a partir das limitações da Física do século XIX, da revolução das máquinas e equipamentos, da produção científica e a necessidade de se conhecer uma ciência que teve a sua Genesis a mais de 100 anos atrás.



Figura 2⁷ – Motivacional - Uma reflexão a respeito dos Tempos Modernos – Interdisciplinar

Extraída do Vídeo 1 -

MÓDULO II

Apresentado como uma forma de justificar a interpretação de Copenhagen, a ser discutida em outros módulos, este suscitou a discussão da óptica física, com o interesse de se encontrar os subsunçores necessários para a aprendizagem significativa. Foi por intermédio dele que pudemos fazer uma revisão de ondulatória, apresentando os significados e simbologias tradicionalmente utilizados; no entanto, com a busca de uma percepção do comportamento da luz. Neste módulo dedicamos ainda um bom tempo para discussão dos slides, que serviram como apoio didático às aulas, sendo este módulo composto por:

⁷ A figura representa uma cena do filme Tempos modernos (Modern Times) de 1936 (EUA), com direção de Charles Chaplin, com 87 minutos de duração, versão completa não apresentada aqui, que foi utilizado na confecção do vídeo disponível em <http://www.youtube.com/watch?v=OrDQapq1L2E>, com música de fé e obras “mundo robô”.

5. Óptica Ondulatória.

6. Difração da Luz.

7. Interferência.

8. Experimentos de Dupla Fenda.

9. Lei de Bragg.

Para este módulo utilizamos 14 horas aula.

O tópico 5, deste módulo, intitulado de **Óptica Ondulatória**, visava logo de início criar um contraponto entre a óptica geométrica, muito difundida no ensino médio e a visão fenomenológica da luz, pois a óptica geométrica, não consegue explicar muitos fenômenos que acontecem com a luz. Certos fenômenos conseguem ser explicados por intermédio do modelo ondulatório da luz, como por exemplo, a refração, a difração e a interferência luminosa.

Assim, o primeiro passo foi discutir a figura do espectro eletromagnético que se encontra no tópico 5, pois por intermédio dela fizemos uma discussão interdisciplinar a respeito de aplicações em áreas do conhecimento como Biologia, a Física e a Química e as relacionamos com o seu uso em áreas de profissionais como a engenharia e a medicina. Essa discussão foi importante para fornecer aos professores fundamentos, que revelassem uma forma de prover subsunções aos estudantes de Ensino Médio, bem como de construir um novo conceito, para estes professores, que serviriam de ancoradouros para demais dispositivos conceituais na Física Quântica.

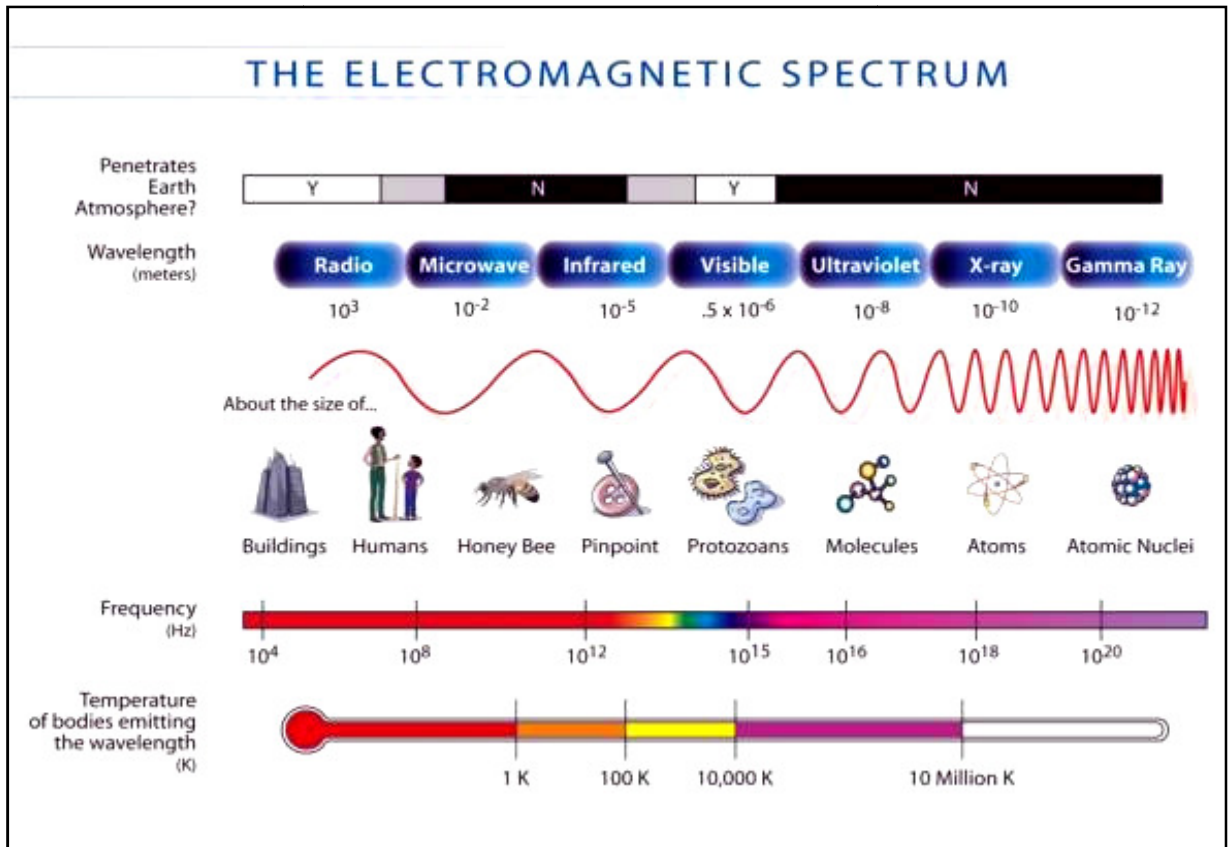


Figura 3 Espectro eletromagnético e a relações com o comprimento de onda , frequência e temperatura de emissão Extraído do produto educacional.

No tópico 6 - **Difração da Luz** – foi utilizado o vídeo 2 - Explorando limites Dr Quatum demonstra o exp. fenda dupla, com desdobramentos que podem ser utilizados pelo vídeo 2B e 2C, sendo este último uma proposta experimental para estudantes do ensino médio. Os vídeos foram utilizados como organizadores prévios para conteúdos, a fim de caracterizarmos um produto potencialmente significativo, que fornecesse subsídios importantes para a discussão dos princípios quânticos observáveis na experiência.



Figura 4⁸ - - Explorando limites Dr Quatum demonstra o experimento de fenda dupla

Extraída do vídeo 2

Neste momento da pesquisa tivemos alguns cuidados especiais, pois entendíamos que era de fundamental importância, nos fundamentos teóricos da TAS e da interpretação de Copenhagen, que a experiência de fenda dupla fosse bem compreendida pelos professores, com o intuito de construir conceitos que até então não eram revelados no produto instrucional, mas que seria a partir daí, a forma central de nos auxiliar no uso do produto, em suas diversas formas de apresentação, bem como de por si só ser um fenômeno que é impossível, de ser explicado somente de Forma Clássica, e que tem em si o coração da Mecânica Quântica. No

⁸Disponível em <http://www.youtube.com/watch?v=BWyTxCsIXE4>

entanto, é essencialmente explicado pelos professores pelo classicismo newtoniano e pela fundamentação cartesiana de René Descartes⁹.

No tópico 7, **Interferência**, e 8, **Experimentos de Dupla Fenda**, abordamos as características de interferência luminosa, pois nesta fase da aplicação do produto dirigimos o nosso trabalho para a concepção de que, 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 pontual de um pacote mínimo de energia, assim como nos possibilitou o trabalho de Pessoa Jr. (1997).

Tal fundamentação nos levou à utilização da proposição instrucional com os recurso de apresentação de *slides*, introdução a ótica física e a impressão ondulatória, que serviu como ponto de partida para discussão dos textos deste tópico e dos tópicos seguintes.

Um recurso indispensável, conforme diversas investigações, é o uso de experimentos virtuais e desta forma utilizamos o experimento de dupla fenda e o interferômetro de Mach-Zehnder¹⁰ pois, como já comentamos e fundamentado em alguns autores, a dualidade onda-partícula é a essência da Física Quântica (FEYNMAN, 1963; PESSOA JR, 2005).

Desta maneira a dualidade, na proposta desta investigação, foi utilizada no material instrucional, em suas diversas formas de apresentação, como a introdução ao ensino de conceitos de mecânica quântica, sendo o experimento virtual do interferômetro de Mach-Zehnder na discussão do fenômeno de interferência para um único fóton, fator de grande relevância no uso do nosso produto.

⁹ Procedimentos que nesta pesquisa refutamos a fim de promovermos uma aprendizagem significativa, com base em nossos pressupostos teóricos e filosóficos, mostrados em nossos capítulos de fundamentação teórica e revisão de literatura.

¹⁰ Disponível em <http://www.if.ufrgs.br/~fernanda/>

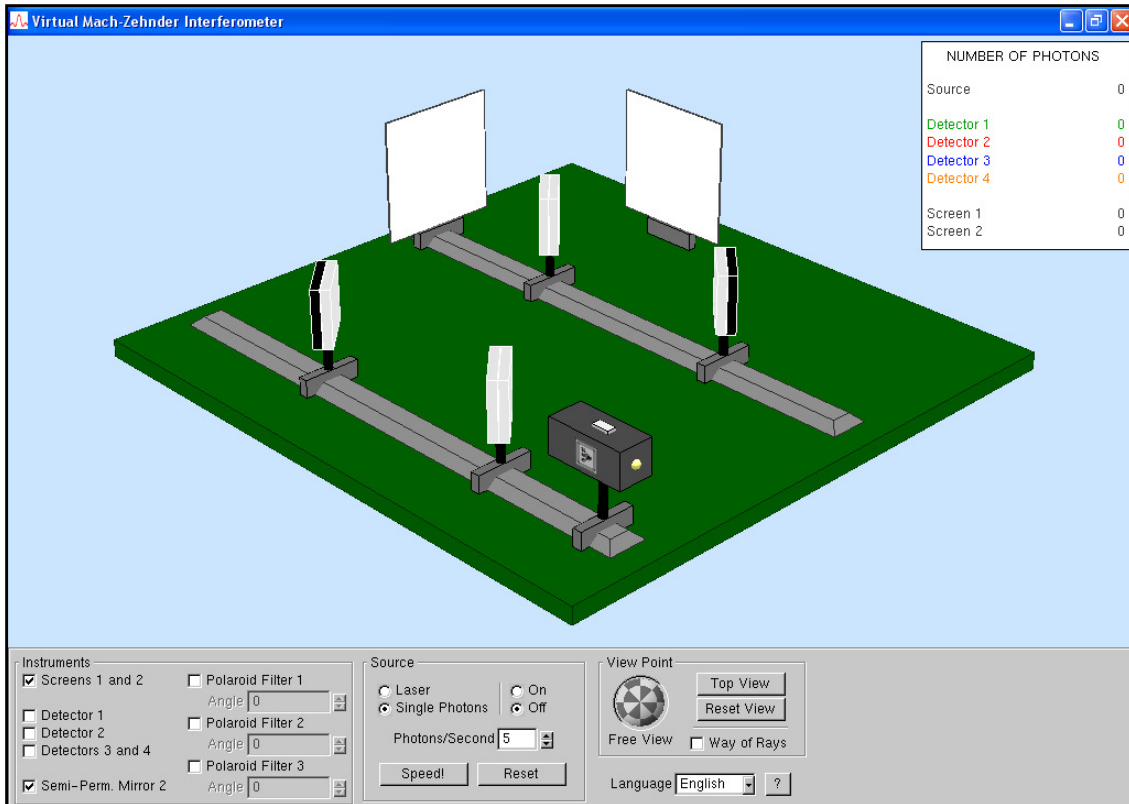


Figura 5 - Interferômetro de Mach-Zender¹¹

Ainda neste módulo dedicamos parte do nosso curso para discutir o tópico 8, **Lei de Bragg**, com o intuito de apresentarmos, nesta parte do produto, uma explicação do padrão de interferência de raios-X espalhados por cristais, onde o fenômeno de difração deverá levar os aprendizes a conhecerem uma forma de estudar a estrutura de todos os estados da matéria com diversos feixes, por exemplo, íons, elétrons, nêutrons e prótons, com um comprimento de onda da mesma ordem de grandeza da distância entre as estruturas atômicas ou moleculares de interesse. Apesar do caráter clássico, inclusive matemático, a Lei de Bragg nos conduz a discussões que surgiram a partir das observações quânticas de Planck, Einstein e Bohr , essencialmente quânticos.

¹¹Figura e experimento virtual disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/~fernanda/>

Para finalizar este módulo e ratificar algumas propostas iniciadas neste módulo encerramos com a apresentação do Vídeo 3 - Dualidade onda partícula a idéia do Quantum - Organizador prévio para o professor.

MÓDULO III

Neste módulo, em 6 horas aula, tratamos de três tópicos em 6 horas aula: **10. Comportamento Corpuscular da Luz, 11. Efeito Fotoelétrico e 12. Efeito Compton**, onde buscamos tratar sobre o caráter corpuscular da luz que embora tenha sido tratado de forma genérica no módulo anterior, há neste momento a necessidade de se ratificar algumas proposições que são levadas à discussão a partir da visão de Einstein, no que diz respeito a quantização da luz e seu modelo de colisão de fótons com partículas, na observação deste comportamento utilizamos como recursos didáticos, como parte da proposição instrucional, o Vídeo 4 - velocidade da luz – que leva a uma construção de conceitos que se interrelacionam, com áreas do conhecimento diversos. Focado no tema de comunicação, destaca-o desenvolvimento científico e tecnológico, tão importante para a abordagem do professor de ensino médio.

A apresentação de *slides*: Aula efeito fotoelétrico - erro conceitual, foi utilizada após a apresentação do vídeo e com o acompanhamento da leitura dos tópicos em epígrafe, pois verificamos que tal abordagem nos levava a uma discussão de pontos fundamentais como o momentum do fóton e as implicações do limite da velocidade da luz postulado por Einstein em 1905. Nesta etapa da aplicação do produto educacional fizemos o uso de dois simuladores: o primeiro sobre o efeito fotoelétrico e o outro sobre efeito Compton. Neste último, surgiu

uma pequena discussão sobre os postulados da Teoria da Relatividade de Einstein, porém sem grandes abordagens devido ao não ser este o objeto de estudos desta investigação científica.

MÓDULO IV

Este módulo retoma algumas discussões já apresentadas anteriormente no produto educacional, pois a idéia é apresentar uma construção conceitual da transição entre a antiga teoria quântica e a teoria quântica, propriamente dita. Assim, abordamos dois tópicos: **13. A Quantização e a Constante de Planck e 14. A Ótica Ondulatória Como Formulação da Mecânica Quântica.** Para este módulo utilizamos 6 horas aula.

Estes tópicos são relevantes para a formação de conceitos essenciais da mecânica quântica. A apresentação da quantização após toda a discussão realizada nos tópicos anteriores se justifica pelo perfil dos sujeitos da investigação, já que o aprendiz é professor e, face a esta característica, é relevante utilizar este tópico como forma de avaliar os conhecimentos prévios construídos e a articulação criada entre o antigo e novo conhecimento adquirido, ou seja, este tópico levou a uma revisão conceitual e à possibilidade de avaliar o aprendiz em sua aprendizagem significativa, fundamentado nos preceitos da TAS.

Foi nesta fase do produto que aplicamos um questionário que visava produzir tal avaliação, como será discutido no capítulo de análise de dados.

Para o tópico de formulação da Mecânica Quântica, iniciamos com a apresentação do Vídeo 5 - Explorando limites clássicos - Dr.Quantum - Mundo Plano, o qual introduzimos a discussão probabilística, não determinista da MQ, de forma explícita, pois já era possível verificar subsunçores que nos davam condição de fundamentar uma nova discussão, agora

voltada para a perspectiva de interpretações quânticas de que em algum momento deveríamos abandonar o modelo clássico.



*Figura 6*¹²

No tópico seguinte buscamos trazer uma discussão para a formulação da MQ, com a apresentação de *slides*, da crise da física à incerteza, onde como a proposta como objeto de pesquisa, nesta fase, era a de revisar conceitos e identificar a construção significativa dos conceitos, a mesma teve papel de organizador prévio para a leitura dos texto da parte escrita. Por fim, apresentamos o Vídeo 6 - Ano mundial da física, como conclusão desta revisão conceitual e introdução a MQ. O vídeo era pausado a cada momento relevante e questionado a respeito dos princípios clássicos e/ou quânticos que apareciam no filme e suas implicações no ensino médio.

¹² Extraída do vídeo 5 do produto educacional - Dr. Quantum – Mundo plano disponível em <http://www.youtube.com/watch?v=7y3R1cKSEM8>

MÓDULO V

O módulo V, ministrado em 4 horas aula, foi dedicado às concepções dos tópicos **15. Átomo de Bohr** e **16. Dualidade onda partícula**, na interpretação de Louis De Broglie, onde com o uso da apresentação: Mecânica quântica - uma visão superior significativa e do Vídeo 7 - Organizador Prévio - Proposta de Criação em Sala - Animação - Princípios da Mecânica Quântica foi possível, com o apoio do texto do material instrucional, criar vínculos conceituais, que mostram a fragilidade dos modelos atômicos, como o rutherfordiano, e a representação do momentum linear descrita na equação de De Broglie, tão importante para a mudança conceitual que surgiria na interpretação ondulatória probabilística da MQ.

MÓDULO VI

Finalizando o material instrucional, em 10 horas aulas, com os tópicos **17. Princípio da Incerteza de Heisenberg**, **18. Princípio da Complementaridade** e **19. Princípio da Correspondência**. Destacamos na proposição instrucional no produto educacional sua relevância para o estudo de introdução a mecânica quântica no ensino médio, pois estes princípios serviram para formar novos conceitos nos aprendizes e os colocaram agora no mundo quântico para o ensino, fazendo relações com as virtualidades da MQ no século XX, sua abordagem segundo uma visão probabilista, não determinista, não casual e fortalecendo o conhecimento dos estudantes do Ensino Médio para relacionar tal conhecimento, aos desenvolvimentos científicos e tecnológicos.

Estes tópicos foram apresentados na forma de discussões que os levassem a ratificar ou conflitar as propostas do ensino de MQ segundo a interpretação de Copenhagen, com a apresentação: Um pouco de física contemporânea – Física das partículas, do Vídeo 8 - Buscando Subsunoçores - Ciclo da Água. Buscamos apresentar o mundo da estrutura da matéria de forma simples, mas pautada numa discussão teórica de correspondência de conceitos clássicos/quânticos.

O uso do Vídeo 9 - Buscando Subsunoçores e explorando limites - Discovery - Tudo Sobre Incerteza a Mecânica Quântica, foi essencial na aplicação desta parte do produto, pois com o auxílio da leitura do texto foi possível orientar os aprendizes a respeito do limite da precisão de medidas, bem como esclarecer a respeito da impossibilidade da medida simultânea com precisão da posição e do momentum de uma partícula, bem como da energia e do tempo. Fatores estes essenciais na compreensão do modelo quântico e da superposição.

Ao final deste módulo dedicamos nosso tempo a fazer uma avaliação do curso o que será tratado no capítulo de análise de dados.

Capítulo 5 – METODOLOGIA

Considerando que o processo de pesquisa qualitativa pressupõe que há diferentes possibilidades de programar sua execução, foram planejados dois momentos de trabalho sendo o primeiro a composição da amostra, com levantamentos que viessem a sustentar a proposta qualitativa e a última a segunda, aplicação metodológica.

Ao escolher a metodologia mais adequada para o presente trabalho concluímos que um delineamento experimental (LAVILLE e DIONNE, 1999) seria o desejável, mas o número de indivíduos investigados e a heterogeneidade da amostra nos levou a considerar uma pesquisa qualitativa.

Desta maneira, ao adotar um delineamento quase experimental tivemos que abandonar o caráter aleatório de formação dos grupos, bem como, de suprimir o grupo de controle, pois os sujeitos participantes da investigação são os mesmos que participaram da fase de verificação, já que esta proposta visa avaliar a capacitação, via aprendizagem significativa, que foi dada ao grupo durante o tratamento da pesquisa. Assim sem comprometer o processo de pesquisa o esquema abaixo ilustra o delineamento aqui utilizado:

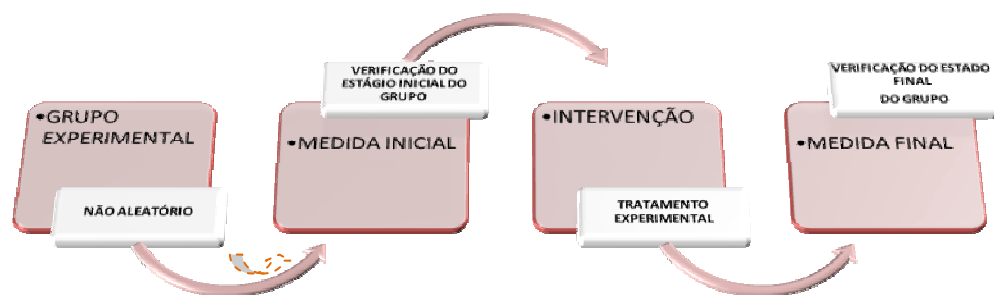


Figura 7

5.1 - Contexto Metodológico

O grupo experimental foi formado por 35 sujeitos ($N = 35$) que são professores das redes pública e privada de ensino do Distrito Federal, sendo a composição da amostra formada por 76% de professores da rede pública e 17% da rede privada e 7% de ambas. Esta proposta de ensino é fundamentada na necessidade de aprimoramento de professores em atividade no Ensino Médio.

As atividades se iniciaram em março de 2007, com uma reunião com a Secretaria de Educação do Distrito Federal, onde apresentamos a proposta do curso. Na ocasião marcamos uma reunião com os representantes das regionais de ensino para que pudéssemos apresentar o trabalho de pesquisa e a proposta de curso, de tal forma que estiveram reunidos no auditório do Centro Educacional 07 de Ceilândia, as Regionais de Ensino do Plano Piloto/Cruzeiro, Gama, Taguatinga, Brazlândia, Ceilândia, Guará e Samambaia.

Os representantes, então, se comprometeram em divulgar o planejamento de atividades e no prazo de trinta dias iniciáramos as atividades, nos encontros semanais que ocorreriam nos sábados no auditório do Colégio JK, que cedeu o espaço para a realização do trabalho.

Uma particularidade que auxiliou o processo investigativo e o tratamento experimental é a característica da estrutura pedagógica do Distrito Federal, na qual os professores da rede de ensino pública, trabalham no regime de dedicação exclusiva com jornada ampliada. De tal forma, que têm no máximo 30 horas aulas semanais e 10 horas de atividades de coordenação, as quais são cumpridas na escola ou em atividades de capacitação docente.

Antes de qualquer contato com o tratamento, os professores foram solicitados a responder um questionário (Pesquisa de Opinião) que tinha como objetivo levantar

informações quanto ao interesse que tinham em fazer um curso de capacitação docente na área de Física Moderna e Contemporânea, bem como de verificar dados que viessem a ratificar a hipótese desta pesquisa.

A pesquisa de opinião forneceu subsídios importantes e norteadores para a intervenção, pois foram verificadas características específicas da amostra, como a rede de ensino na qual atuava, se pública, privada ou ambas, quanto tempo de docência no Ensino Médio, formação – se Bacharel, Licenciado em Física ou Outra -, qual avaliação o docente faz a respeito do ensino de Física no ensino médio, como o professor avalia o ensino de Física face a uma aprendizagem significativa, como o professor de Física avalia sua seleção de conteúdo, qual a receptividade dos alunos em relação a afinidade com os conteúdos Física, se o professor ministra ou já ministrou conteúdos de Física Moderna e Contemporânea – Física Quântica, Relatividade e Física das Partículas.

O questionário ainda direcionou a construção de módulos de ensino de física, a partir de uma compilação de trabalhos aplicados em sala de aula para alunos e professores, realizados por diversos pesquisadores, com aplicações no âmbito nacional e internacional.

Com a formatação destes módulos de aplicação, foi possível aplicá-lo como parte do material instrucional, este na forma escrita, e ainda propor outros materiais de acesso livre na internet, que vieram a compor um CD com aplicativos, filmes, simuladores e aulas em apresentações multimídia. Isso porque os dados levantados nos levaram a concluir que o grupo experimental não conhecia as metodologias de ensino, teorias da aprendizagem, bem como, não tinha tempo para uma pesquisa profunda deste materiais. Por isso, uma compilação de trabalhos nos pareceu a melhor forma de direcionar o material instrucional.

Um próximo passo metodológico foi estabelecer e avaliar três parâmetros para o tratamento experimental: i) a análise do Currículos das escolas; ii) a análise dos livros

didáticos disponíveis, para a utilização dos professores em atividade; iii) e a elaboração dos módulos de ensino, a partir da compilação de materiais já aplicados a diferentes perfis, aluno ou professor, ou propostas testadas em cursos superiores de formação de professores de física.

Após a reunião de todos estes materiais, foi possível iniciar o Curso de Introdução a Mecânica Quântica no Nível Médio para Professores em Atividade, a partir de uma amostra não probabilística por quotas, como nos apresenta Laville e Dionne (1999, p. 170) – *“ As amostras por quotas depende de uma outra técnica em que o pesquisador intervém, desta vez para obter uma representação, a mais fiel possível da população estudada”*.

Desta forma, buscamos uma composição de amostra que desse uma maior sustentação ao universo da população, a de professores de Física do Ensino Médio em atividade, onde o acaso não deveria desempenhar nenhum papel variacional da amostra, onde considerando o papel intervencionista do pesquisador. Concluímos a composição da amostra, sendo formada por 35 sujeitos.

5.2 –Fundamentos Metodológicos na aplicação do curso

Uma vez concluída a etapa de operacionalização metodológica, iniciamos a intervenção no grupo experimental, com a aplicação do Curso de Introdução a Mecânica Quântica no Nível Médio para Professores em Atividade, em dois períodos: Agosto a Outubro de 2007 e Março a Julho de 2008. O estabelecimento desses períodos ocorreu devido às atividades de conclusão do ano letivo em 2007, com a realização no mês de novembro de provas de recuperação, conselhos de classes e coordenações pedagógicas obrigatórias, ocorridas nas escolas. No mês de dezembro de 2007 iniciou-se o período de remanejamento e

transferência na rede pública, o que inviabilizou a continuidade dos trabalhos naquele período, bem como, o início do recesso escolar e as férias coletivas dos professores.

Em março de 2008 retomamos as atividades do curso, porém agora com sete ausências permanentes, pois eram professores que estavam em exercício provisório na regional de ensino e foram remanejados para outras regionais; assim o grupo agora era composto de 28 professores.

Tais fatos não influenciaram na intervenção no grupo experimental, haja vista, que os 28 restantes, estavam participando desde o início dos trabalhos, sendo tomado como fator metodológico a não adesão de nenhum outro professor, pois tal inclusão poderia representar variáveis não controláveis na medida inicial, que norteou o tratamento experimental.

Foram ministradas cinquenta horas-aula em encontros semanais, preferencialmente aos sábados, onde iniciamos com a apresentação do cronograma de atividades, sempre enfatizando a necessidade de uma frequência considerável durante o curso, para que não ocorresse a perda de fundamentos conceituais importantes.

O pesquisador é professor de ensino médio há 13 anos e coordenador de ensino de Física, nas instituições de ensino que formaram o grupo experimental, há 8 anos, de tal maneira que ocorreu uma interação, de longo prazo entre o pesquisador (como professor nesta fase da pesquisa) e os aprendizes (os professores do grupo experimental, agora como alunos). Esta aproximação interacionista é um pré requisito fundamental para criar condições de ocorrência da aprendizagem significativa (NOVAK e GOWIN, 1984; MOREIRA e MASINI, 1982).

Na aplicação do material, foi dada ênfase à interpretação de Copenhagen, devido às suas particularidades conceituais e a sustentação encontrada nela, para se propor a

aprendizagem significativa dos conceitos de Física Quântica, sendo ministradas inicialmente em 10 horas aula de mecânica ondulatória, sendo que no início de cada aula sempre se retomava a aula anterior, buscando subsunções relevantes para a aprendizagem. Ainda em algumas aulas, iniciamos com vídeos, que suscitavam discussões que seguiriam no novo tópico a ser abordado nesta aula.

Foram trabalhados, com uma abordagem significativa, os tópicos dos fenômenos de difração: difração de Fraunhofer, redes de difração, o padrão de difração modular, a discussão de espectroscopia com redes de difração, as redes de difração e as cores refletidas nos CDs; Interferência: Os fótons – a natureza corpuscular da luz, fontes e ondas coerentes; Espectro eletromagnético e experimento de Young.

A distribuição inicial dos conteúdos teve como embasamento teórico as questões epistemológicas levantadas por Paulo (1997) que avaliou ser o ensino tradicional de óptica um reforço a concepção da luz como raio, o que se distancia da visão quântica.

A partir dos fenômenos anteriormente mencionados, foi possível seguir uma distribuição de conteúdos que possibilitou a construção do material instrucional. Desta maneira foram então ministrados conteúdos que tradicionalmente não são abordados nas escolas pelos professores.

Alguns tópicos como superposição de ondas, de estados, estados clássicos e estados quânticos e a equação de Schrödinger (postulado qualitativo), foram abordados com o intuito de propor algo mais aos professores, motivando-os para a leitura e para o reconhecimento dos princípios que também fundamentam esta pesquisa como: o princípio da incerteza, a complementaridade e o princípio da correspondência.

Os tópicos selecionados foram sendo construídos a partir das necessidades surgidas durante o tratamento experimental, pois a construção da concepção científica da Física Quântica promove este entendimento, já que a intenção era a de facilitar a aprendizagem dos significados dos conceitos que os professores já haviam aprendido no seu processo de formação, o que levou a uma discussão mais dinâmica no processo de interação entre o professor (pesquisador) e os aprendizes (professores), uma vez que os mesmo traziam concepções fortes a respeito de muitos temas.

Por fim, foi realizada, em abril de 2009, a medida final, com a aplicação de uma avaliação formal para este grupo experimental, agora reduzido a quinze, e uma entrevista semi-estruturada, gravada em áudio e transcrita por especialista, com o acompanhamento do pesquisador. Os resultados constantes desta entrevista serão analisados no capítulo seguinte.

Capítulo 6 - ANÁLISE DE DADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo vamos apresentar os dados levantados ao longo desta pesquisa, bem como, analisá-los a partir dos fundamentos metodológicos e epistemológicos que estruturam esta pesquisa. Num primeiro momento vamos apresentar os dados referentes a composição amostral, da população de professores do Distrito Federal, os sujeitos desta pesquisa. Depois iremos analisar os dados preliminares para a construção dos módulos didáticos para o curso e, por fim, discutiremos as respostas levantadas na entrevista semi-estruturada.

A partir do Censo escolar 2007, da Secretaria de Estado de Educação do Distrito Federal, SEEDF, foi possível perceber a heterogeneidade da amostra.

TABELA 1¹³ - NÚMERO DE INSTITUIÇÕES EDUCACIONAIS, POR ETAPA/MODALIDADE, SEGUNDO REGIÃO ADMINISTRATIVA - REDE PARTICULAR

RA	EDUCAÇÃO INFANTIL	ENSINO FUNDAMENTAL		ENSINO MÉDIO	EDUCAÇÃO PROFISSIONAL	EDUC. JOV. E ADULTOS	EDUCAÇÃO ESPECIAL
		8 ANOS	9 ANOS				
Brasília	63	34	40	28	9	3	25
Gama	19	14	12	9	1	3	6
Taguatinga	54	27	39	17	7	5	15
Brazlândia	5	2	3				2
Sobradinho	27	17	22	5	1	2	7
Planaltina	11	5	5	3		2	2
Paranoá	2	1					
Núcleo Bandeirante	7	4	3	3			2
Ceilândia	46	23	25	11	1	1	9
Guará	30	14	18	6			7
Cruzeiro	9	3	4				
Samambaia	24	13	12	2		1	4
Santa Maria	8	4	2	3		2	1
São Sebastião	4	5	3	1		1	2
Recanto das Emas	10	6	5	2			1
Lago Sul	12	8	7	3			6
Riacho Fundo	7	4	5	2		2	
Lago Norte	5	3	4	1	1		3
Candangolândia	2						
Águas Claras	7	5	8	5			4
Riacho Fundo II	5	3	3				2
Sudoeste/Ocotogonal	4	2	2	2			2
Park Way	1	1	1				
Sobradinho II	1	1	1				
TOTAL	363	199	224	103	20	22	100

FONTE: CENSO ESCOLAR 2007

NOTA: Uma mesma Instituição Educacional pode oferecer mais de uma etapa da Educação Básica.

¹³ Informações levantadas na Secretaria de Educação do Distrito Federal e disponibilizadas como imagem em arquivo digital disponíveis para consulta em <http://www.se.df.gov.br/>

O quadro 1 mostra que existem 103 instituições, de Ensino Médio Regular, na rede particular, em área urbana, distribuídas em 24 regiões administrativas (RA), onde, destas RAs foram selecionadas as regiões de Brasília (Plano Piloto/Cruzeiro), Gama, Taguatinga, Brazlândia, Ceilândia, Guará e Samambaia, com o intuito de manter um quadro comparativo com as regionais de ensino que efetivamente responderam ao convite da reunião inicial, de apresentação da proposta de implementação do curso.

TABELA 2¹⁴ - NÚMERO DE INSTITUIÇÕES EDUCACIONAIS, POR ETAPA/ MODALIDADE, SEGUNDO DIRETORIA REGIONAL DE ENSINO - REDE PÚBLICA ESTADUAL

DRE	EDUCAÇÃO INFANTIL	ENSINO FUNDAMENTAL	ENSINO MÉDIO	EDUCAÇÃO PROFISSIONAL	EDUC. JOV. E ADULTOS	EDUCAÇÃO ESPECIAL
Plano Piloto/Cruzeiro	35	65	10		22	21
Gama	29	40	7		8	14
Taguatinga	22	49	9		8	16
Brazlândia	7	24	3		3	8
Sobradinho	27	37	6		10	13
Planaltina	44	55	8		9	4
Núcleo Bandeirante	14	24	4		10	7
Ceilândia	49	75	11		15	25
Guará	8	19	4		6	6
Samambaia	15	34	4		10	9
Santa Maria	14	18	2		5	9
Paranoá	22	26	3		4	4
São Sebastião	13	17	2		4	9
Recanto das Emas	17	17	2		7	7
Vinculadas à SUBEP				5		
Subtotal	316	500	75	5	121	152
Vinculada à SES (ETESB)				1		
(*) Inst. Educ. Públ. Federais	1	1	1			
(**) Não vinc. à SE	1	1	1			
TOTAL	318	502	77	6	121	152

FONTE: CENSO ESCOLAR 2007

(*) Colégio Militar de Brasília (vinculada ao Ministério do Exército) e Creche das Pioneiras Sociais (vinc. à Associação das Pioneiras Sociais).

(**) Colégio Militar Dom Pedro II.

NOTAS: 1- Excluídos o CIEF - C. Interescolar de Educação Física, as Escolas Parques e os Centros Interescolares de Línguas por oferecerem ensino diferenciado.

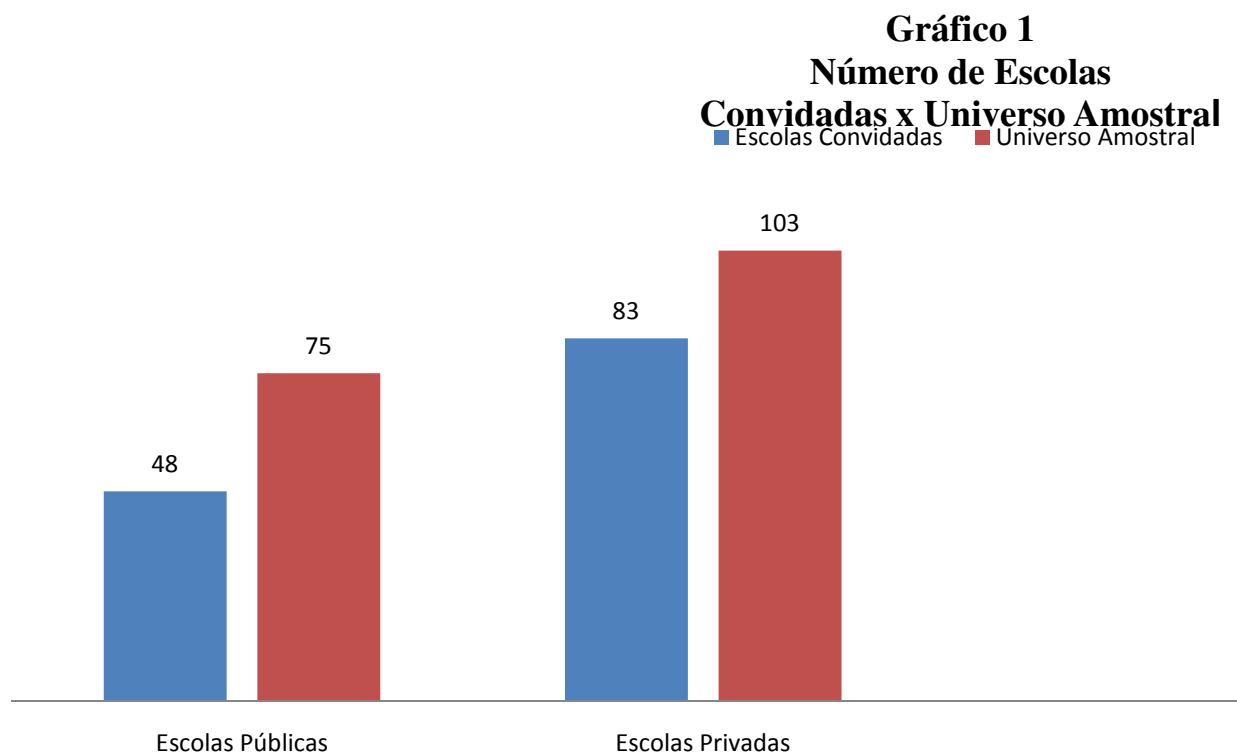
2- Uma mesma Instituição Educacional pode oferecer mais de uma etapa/modalidade da Educação.

Este quadro apresenta uma diferença, quando comparado ao quadro 1, pois não está diretamente relacionado a uma RA e sim a Diretoria Regional de Ensino (DRE), que, em

¹⁴ Informações levantadas na Secretaria de Educação do Distrito Federal e disponibilizadas como imagem em arquivo digital disponíveis para consulta em <http://www.se.df.gov.br/>

alguns casos congrega mais de uma RA. Como objeto de estudo optamos, exclusivamente, por escolas que estão caracterizadas como escolas urbanas, de Ensino Médio regular e vinculadas exclusivamente a Secretaria de Educação do Distrito Federal. Desta forma, não sendo consideradas as instituições federais e/ou conveniadas; compondo uma amostra de 75 instituições educacionais.

Assim, o universo amostral de escolas que receberam o convite para que os professores participassem do curso, foi de 131 escolas. O convite foi disponibilizado pela DRE/SEEDF e por Cartaz convite enviado às escolas privadas.



Analisando o gráfico acima é possível verificar que do universo amostral, das escolas de ensino médio do DF, que 63% das escolas convidadas eram particulares e 37% eram públicas, o que não oferecem variantes significativas na composição da amostra, pois em todos os casos considerar-se-á professores de ensino médio.

**TABELA 3¹⁵ - TOTAL DE MATRÍCULAS
DO ENSINO MÉDIO, POR LOCALIZAÇÃO,
SEGUNDO DIRETORIA REGIONAL DE ENSINO
REDE PÚBLICA ESTADUAL - CENSO ESCOLAR 2007**

DRE	1ª Série		2ª Série		3ª Série		Total Geral	
	Urbano	Rural	Urbano	Rural	Urbano	Rural	Urbano	Rural
Plano Piloto/Cruzeiro	3.100		2.797		2.425		8.322	
Gama	3.248	47	1.950	36	1.490	41	6.688	124
Taguatinga	4.479		3.467		2.988		10.934	
Brazlândia	1.125	143	726	135	524	60	2.375	338
Sobradinho	1.976	73	1.353	45	1.081	41	4.410	159
Planaltina	2.395	147	1.977	136	1.784	84	6.156	367
Núcleo Bandeirante	1.365		1.076		966		3.407	
Ceilândia	5.105		3.601		3.119		11.825	
Guará	1.326		978		817		3.121	
Samambaia	2.421	72	1.591	61	1.150	23	5.162	156
Santa Maria	1.831		1.431		1.065		4.327	
Paranoá	1.110	85	844	86	485	65	2.439	236
São Sebastião	1.086		708		597		2.391	
Recanto das Emas	1.498		1.133		989		3.620	
TOTAL	32.065	567	23.632	499	19.480	314	75.177	1.380

FONTE: CENSO ESCOLAR 2007

NOTA: Excluídas as matrículas do Colégio Militar de Brasília (Vinc. ao Min. do Exército), da Escola Técnica de Saúde de Brasília (Vinc. à SES) e do Colégio Militar Dom Pedro II (Não vinc. à SE).

A fim de melhor compor o universo amostral, fez-se necessário levantar informações a respeito do número de alunos/série, com o intuito de restringir o espaço amostral, em grupos bem definidos de professores que atuassem, exclusivamente, no Ensino Médio, e que, de uma forma ou de outra, pudessem limitar nosso campo investigativo em grupos que atuassem em séries exclusivas, ou seja, somente em uma das séries do EM.

No entanto, o levantamento nos mostrou que a amostra deveria ser composta por professores do EM não separados por série, já que o trabalho docente não faz distinção em séries/anos, mas na composição da amostra em docentes. Desta forma a amostra foi composta por docentes das três séries, com atuação mínima de 05 anos em pleno exercício, respeitando as disponibilidades dos professores em participar do curso, bem como, a viabilidade da escola

¹⁵ Informações levantadas na Secretaria de Educação do Distrito Federal e disponibilizadas como imagem em arquivo digital disponíveis para consulta em <http://www.se.df.gov.br/>

em liberá-los de um dos dias da atividade de coordenação, para que pudessem participar da atividade de capacitação ora proposta.

TABELA 4¹⁶ - TOTAL DE MATRÍCULAS E TURMAS DO ENSINO MÉDIO, POR SÉRIE, SEGUNDO REGIÃO ADMINISTRATIVA REDE PARTICULAR - CENSO ESCOLAR 2007

RA	1ª Série		2ª Série		3ª Série		Total Geral	
	Matriculas	Turmas	Matriculas	Turmas	Matriculas	Turmas	Matriculas	Turmas
Brasília	4.280	108	3.859	100	3.738	96	11.877	304
Gama	457	14	391	13	347	11	1.195	38
Taguatinga	1.541	42	1.398	40	1.181	33	4.120	115
Sobradinho	443	13	317	8	290	8	1.050	29
Planaltina	143	5	91	3	98	4	332	12
Núcleo Bandeirante	154	4	167	5	141	4	462	13
Ceilândia	473	15	418	15	384	14	1.275	44
Guará	421	13	355	12	336	11	1.112	36
Samambaia	141	4	83	3	30	1	254	8
Santa Maria	138	5	83	3	22	2	243	10
São Sebastião	26	1	23	1	13	1	62	3
Recanto das Emas	83	3	55	3	35	1	173	7
Lago Sul	175	7	108	5	102	5	385	17
Riacho Fundo	82	3	64	2	36	2	182	7
Lago Norte	26	1	20	1	17	1	63	3
Águas Claras	698	18	632	17	567	13	1.897	48
Sudoeste/Octogonal	185	6	194	6	158	5	537	17
TOTAL	9.466	262	8.258	237	7.495	212	25.219	711

Fonte: CENSO ESCOLAR 2007

Obs.: Não há estabelecimento de Ensino na localização rural que ofereça esta modalidade de ensino.

No quadro acima, mantivemos os mesmos aspectos mencionados anteriormente, para compor a amostra de trabalho. Por intermédio deste quadro, verificamos que no ano de 2007 encontravam-se matriculados na Rede de Ensino do Distrito Federal 100.396 estudantes, com projeção de aproximadamente 2.642 turmas e projeção de 2.330 professores em atividade, considerando uma média de 38 alunos por turma. Verificamos também que a rede privada opera com a modalidade de frentes de ensino, com dois professores de Física por turma e na rede pública um professor por turma. Cada turma considerada teria pelo menos duas aulas semanais de Física.

¹⁶ Informações levantadas na Secretaria de Educação do Distrito Federal e disponibilizadas como imagem em arquivo digital disponíveis para consulta em <http://www.se.df.gov.br/>

Os dados projetam que o número de participantes do curso, que comporiam a amostra de trabalho, teria 85% de professores da rede pública e 15% da rede privada.

Após os levantamentos apresentados e com os convites para a participação do curso respondidos, iniciamos o primeiro encontro com um questionário (Pesquisa de Opinião Inicial), como já dissemos no capítulo anterior, para realizar um levantamento acerca das características do grupo experimental. A tabela abaixo resume as respostas dos 35 sujeitos à cada questão.

TABELA 5
RESUMO DA PESQUISA DE OPINIÃO

Pergunta	Respostas (n°)	Perce ntual
01. Você é professor de escola pública ou privada?	Pública: 28 Privada: 7 Ambas: 5	66% 20% 14%
02. A quanto tempo leciona no ensino médio?	menos de 5 anos: 0 entre 5 e 10 anos: 17 entre 10 e 15 anos: 12 entre 15 e 20 anos: 4 entre 20 e 25 anos: 2	0% 49% 34% 11% 6%
03. Qual sua formação?	Bacharel em Física: 6 Licenciado em Física: 26 Outra (especificar): 3 ¹⁷	17% 74% 9%
04. Como você avalia o ensino de Física no ensino médio?	Satisfatório para a formação do cidadão: 29 Insatisfatório para a formação do cidadão: 6	83% 17%
05. Como você avalia o ensino de física para a motivação de uma aprendizagem significativa?	Pouco motivador: 14 Motivador. 19 Muito motivador: 2	40% 54% 6%
06. Quanto a forma de abordar os conteúdos	A maior parte do	

¹⁷ 1 – Formado em Matemática, 1 - Formado em Engenharia Civil e 1 Formado em Química.

de física como você avalia sua seleção de conteúdo?	tempo ensino a Física Clássica: 27 A maior parte do tempo ensino física moderna e contemporânea: 0 Nunca ensino física moderna e contemporânea. 8	77% 0% 23%
07. Qual impedimento o limitação que você encontra para ministrar conteúdos de FMC no ensino médio?	Número de aulas insuficiente: 12 Não há interesse do professor no ensino de FMC: 2 Domínio de conteúdos em FMC: 10 Formação: 11	34% 6% 29% 31%
08. No que diz respeito as motivações dos alunos, qual das estratégias melhor expressa a afinidade deles com os conteúdos que você ministra em sala?	Experimentação: 11 Domínio de Conteúdo: 6 Aulas com abordagens em temas cotidianos e tecnológicos: 18	31% 17% 52%

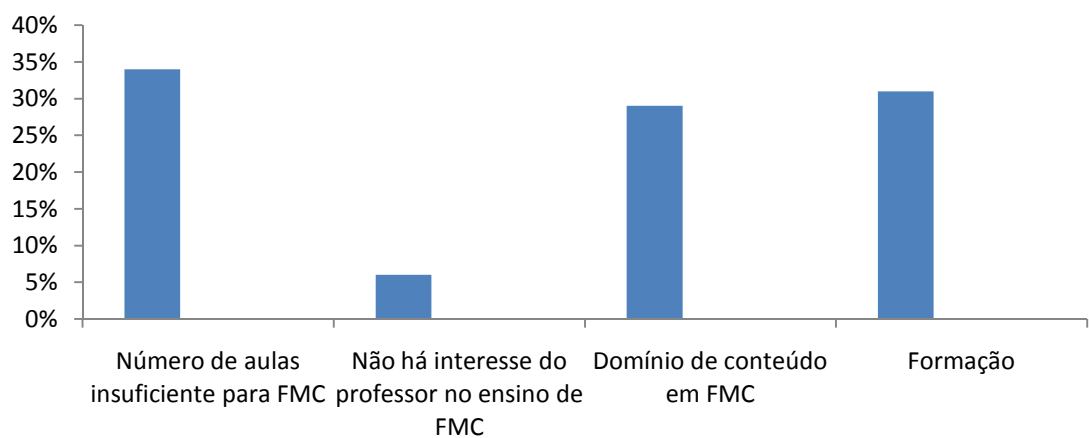
Após a etapa do levantamento de dados a respeito da composição amostral, fez-se necessário delinear três parâmetros: i) Análise de currículos das escolas; ii) análise dos livros didáticos do Ensino Médio e iii) Elaboração dos módulos didáticos. Desta maneira conduzimos esta etapa da pesquisa da seguinte forma:

i) - Análise de Currículo das escolas:

Este parâmetro nos pareceu importante para que pudéssemos verificar se as escolas tinham em seus projetos políticos pedagógicos a proposta de ensino de FMC. Foram levantados por intermédio das orientações curriculares da Secretaria de Educação do Distrito Federal e dos projetos políticos pedagógicos das escolas particulares, onde verificamos que

em todas há a proposta de ensino de Física Moderna e Contemporânea. No entanto, não são desenvolvidos nas escolas por diversos fatores, conforme já nos previam os dados do Quadro resumo da Pesquisa de Opinião e que podem ser sintetizados pelo gráfico a seguir:

Gráfico 2 Percentuais de respostas a cerca da FMC na escola



Os percentuais são bastante elucidativos quando verificamos, em comparação ao quadro resumo de pesquisa de opinião, que dos 35 entrevistados 28 são professores de escolas públicas e têm apenas duas horas-aula para ministrarem o conteúdo e, assim, ratificam a resposta de 34% dos entrevistados, que afirmam ser este um dos fatores limitantes para a inserção de FMC no EM.

Ao confrontarmos os dados obtidos na questão: Não há interesse do professor no ensino de FMC (6%), podemos ver que esta resposta é inversamente proporcional a resposta de Domínio de conteúdos em FMC (29%) e Formação (31%), o que nos parece que a falta de interesse em ensinar Física Moderna e Contemporânea no ensino médio é oriunda de uma formação deficitária, o que nos leva a sustentar a proposta de um curso com objetivos de

inserirmos a FQ no ensino médio por intermédio de módulos didáticos, que venham a auxiliar o professor em sua prática docente.

ii) - Análise dos Livros didáticos do Ensino médio.

O levantamento a respeito da bibliografia didática no ensino médio se justifica pelo fato de que em todos os currículos pesquisados, são apresentadas propostas de livros didáticos que, segundo estes programas de ensino, são utilizados nas escolas.

Assim, foi importante para verificarmos o tipo de material disponível e como os módulos didáticos, para o curso, deveriam ser elaborados levando em consideração aquilo que os professores poderiam ter acesso para futuramente prepararem suas aulas. Os livros didáticos são hoje utilizados pelos professores como manuais pedagógicos, o que pode conduzir a falhas conceituais e ao distanciamento de uma aprendizagem significativa em sala de aula.

Identificamos os livros adotados pela Secretaria de estado de Educação do Distrito Federal e pelas instituições privadas, onde trabalhavam os professores que compunham a amostra de trabalho, sendo os livros separados por autor e tópicos relacionados à FMC:

- I. Anjos, I., G. – *Física para o ensino médio: volume único* – São Paulo: IBEP, 2005.

Tópicos Relacionados a FMC: Não constam tópicos relacionados a FMC.

- II. Biscoula, G., J.; Bôas, N., V.; Doca, R., H. – *Tópicos de física* - 17ª Ed. Reform. E ampl. – São Paulo: Saraiva, 2007.

Tópicos Relacionados a FMC: Noções de Física Quântica, noções de teoria da relatividade e comportamento ondulatório da matéria.

- III. Ferraro G., N.; Soares P., A., de Toledo – *Física: básica: volume único* – 2 ed. – São Paulo: Atual, 2004.

Tópicos Relacionados a FMC: Introdução a Relatividade e Introdução a Mecânica Quântica.

- IV. Filho, A., G.; Toscano, C. – *Física para o ensino médio: volume único, série parâmetros* – São Paulo: Scipione 2002.

Tópicos Relacionados a FMC: Não constam tópicos relacionados a FMC.

- V. Gaspar A. – *Física: Eletromagnetismo e Física Moderna* – 1ª Ed. – São Paulo: Ática, 2002.

Tópicos Relacionados a FMC: Das ondas eletromagnéticas aos fótons, Relatividade, dos raios X aos quarks I e II.

- VI. Junior F., R.; Ferraro G., N.; Soares P., A., de Toledo – *Os fundamentos da física* – 9ª Ed.. ver e ampl. – São Paulo: Moderna, 2007.

Tópicos Relacionados a FMC: Relatividade especial, Física Quântica e Física Nuclear.

- VII. Matias, R.; Fratteezi A. - *Física geral para o ensino médio* – volume único – 1ª – São Paulo: Harbra, 2008.

Tópicos Relacionados a FMC: Noções gerais de física moderna.

- VIII. Sampaio J, L.; Calçada C., S. – *Física, volume único* – 3ª Ed. – são Paulo: Atual, 2008 – Coleção universo da física.

Tópicos Relacionados a FMC: Teoria da Relatividade, Mecânica Quântica e Partículas Elementares.

- IX. Sampaio J, L.; Calçada C., S. – *Universo da física, 3: ondulatória, eletromagnetismo, física moderna* – 2ª Ed. – são Paulo: Atual, 2005 – Coleção universo da física.

Tópicos Relacionados a FMC: Teoria da Relatividade e Mecânica Quântica.

- X. Shigekiyo, K., Y.; Fuke, L., F. – *Os alicerces da física, 3: eletricidade* – 14ª Ed. – São Paulo: Saraiva, 2007.

Tópicos Relacionados a FMC: Teoria da Relatividade Especial, Mecânica Quântica e Física Nuclear.

Neste universo podemos resumir os dados no quadro abaixo, com seus respectivos percentuais em quatro categorias:

Não constam tópicos relacionados a FMC	Noções de Física Quântica	Noções de Teoria da Relatividade	Física das Partículas
•02 obras •20%	•08 obras •80%	•07 obras •70%	•04 obras •40%

Figura 8

Este levantamento nos leva a crer que os professores do EM têm um bom número de obras, com noções de FMC e 80% delas com noções de Física Quântica. O objetivo desta pesquisa não é o de tomar como referencia tais obras, para que sejam balizadoras da construção dos módulos didáticos, haja vista a necessidade de dar uma nova forma de se apresentar os conteúdos de MQ para inserção no Ensino Médio.

Após este levantamento, conduzimos nosso trabalho para a elaboração dos módulos didáticos, que vieram a formar o texto de apoio, com a compilação de diversas propostas de investigação científica em FMC, em Física Quântica, em textos de apoio e os próprios livros didáticos já utilizados pelos professores.

iii) - Elaboração dos módulos didáticos.

O curso de Introdução a Mecânica Quântica no Ensino Médio foi iniciado em agosto de 2007. Com uma amostra definida em termos dos parâmetros anteriormente apresentados, iniciamos o curso utilizando como texto de apoio o que chamamos de módulos didáticos que eram constituídos de um texto e de um material de apoio virtual, formado por apresentações de *Power point*, vídeos livres de internet, entre outros de ambientes virtuais.

Como instrumento de investigação da aceitação e eficiência da proposta, foi realizada uma entrevista semi-estruturada composta por quatro perguntas, onde o investigador entrevistou 15 participantes do curso. A análise da entrevista foi feita obedecendo a critérios fenomenográficos (MARTON, 1997, em FREIRE 2009). Desta maneira a partir da entrevista verificaríamos como o pensamento seria refletido e interiorizado.

As perguntas foram elaboradas conforme seguem abaixo:

1. O curso “Introdução à Mecânica Quântica para Docentes do Ensino Médio”, do qual você participou, contribuiu, ou não, para o seu aprendizado e/ ou melhor compreensão do conhecimento relativo a essa frente da Física? Se você lembrar, fale sobre algum momento ou alguma abordagem teórica e metodológica que particularmente tenha atendido às suas expectativas.
2. Em sua opinião, os conhecimentos e procedimentos instrucionais introduzidos e desenvolvidos no curso “Introdução à Mecânica Quântica para Docentes do Ensino Médio” contribuíram, de forma efetiva, para a sua prática docente, no sentido de promover a aprendizagem significativa dos conteúdos de FMC, para os seus alunos do Ensino Médio?

3. Em que medida você avalia que é importante fundamentar o ensino, em particular aquele referente a conteúdos de FQ, em uma teoria de aprendizagem como a TAS?
4. Você acredita que é possível promover uma aprendizagem efetiva de conteúdos de FQ em nível Médio? Em caso afirmativo, justifique sua resposta em termos dos fundamentos e procedimentos instrucionais necessários para a prática docente.

As entrevistas foram conduzidas individualmente, entre 25/05/2009 a 01/07/2009, em tempos distintos para cada entrevistado. Abaixo apresentamos as principais respostas¹⁸ dos entrevistados, por questão, seguida da sua análise.

No primeiro questionamento nosso intuito era de verificar as contribuições do curso para a prática docente, bem como, que o entrevistado esboçasse sua percepção a respeito da abordagem teórica e metodológica.

É possível verificar, pelas respostas apresentadas, três aspectos importantes: o primeiro refere-se a validade do curso, o segundo a respeito do procedimento com o uso do material instrucional e o terceiro a motivação do entrevistado em participar desta proposta investigativa, como curso.

Tais aspectos reforçam a nossa perspectiva de que é necessário um aprendiz disposto a aprender, um material potencialmente significativo e que o aprendiz será conduzido por uma metodologia que o posicione como participante do processo ensino e aprendizagem. Destacamos algumas respostas, começando pelas da questão 1:

Entrevistado P1

¹⁸ As entrevistas foram transcritas de forma a respeitar a mesma linguagem utilizada pelo entrevistado buscando assim, evitar perda no sentido das respostas.

Sim o curso foi muito bom, vi que é possível ensinar quântica de uma forma diferente. Acho que o melhor procedimento “foi” as apresentações de Power Point da história da Física, aquela imagem de Newton e Planck, e gostei muito da apostila.

Entrevistado P2

(...) O que achei mais interessante no curso foi o material que você apresentou, pois se eu fosse pesquisar aquilo tudo não saberia nem por onde começar. Mas o material bem organizado, foi essencial para meu aprendizado,(...)

Como podemos ver na resposta de P1, sua motivação e a importância do curso, para P2 a ratificação do material com a importância de facilitador do aprendizado, refletindo sobre a validade de se compilar materiais diversos com o intuito de organizá-los em uma seqüência otimizada em termos instrucionais.

Entrevistado P5

Olha eu tenho pouco tempo de formado e na minha graduação nunca vi ensinar mecânica quântica, como aprendi neste curso. Achei o maior barato começar com a discussão histórica, seguindo a apostila, que foi preparada com vários textos de outros pesquisadores e a abordagem é muito interessante, pois os alunos não necessitam das derivadas, integrais e diferenciais para entender o assunto, confesso que achava difícil de ensinar este assunto, mas quando chegamos naquele quadro de Schroedinger, eu pirei como é simples e importante para os dias de hoje... ah quanto à abordagem, o uso de slides é muito bom, mas na escola que trabalho não tem, por isso o uso dos videozinhos; é muito melhor... uma outra coisa que é bom é a parte da quantização da energia e da radiação do corpo negro, fiz igual você sugeriu e fiz uma interdisciplinaridade com a química e aprendi muito.

Para P5, a relevância da história e o potencial do material o leva a refletir sobre a não matematização de conceitos de Física Quântica, o que é para nós uma resposta que vem de encontro as perspectivas iniciais desta pesquisa.

Ainda em P5 é possível encontrar a relação entre sua formação e os dogmas tradicionais do ensino de FQ, que nesta pesquisa buscamos dar um aporte significativo, a fim de introduzi-la no ensino médio. P5 considera o uso dos recursos apresentados importantes e, mesmo com a escassez deste nas escola, tem-se a possibilidade do uso da informática, de um simples televisor, ou até mesmo do quadro e giz como recurso que proporcione a

aprendizagem significativa, já que a instrumentalização por intermédio do material instrucional do curso o leva a discussões que iniciam com a história da FQ até uma nova forma de postular a interpretação ondulatória da Física Quântica.

Esta resposta encontra respaldo no trabalho de Terrazzan (1994), *apud* Paulo, I. J. C. (2006), que faz uma apresentação dos trabalhos pioneiros sobre a introdução de tópicos de Física moderna e Contemporânea no Ensino Médio, o qual a postura na forma de abordar os conteúdos de FMC, são defendidos por D. Gil e J. Solbes, Universidade de Valência – Espanha, como sendo sustentada pela evolução histórica, de tal maneira que a Física Moderna e Contemporânea vem para preencher lacunas conceituais deixados pela Física Clássica e, desta maneira, há um salto conceitual e aprendizagem significativa dentro da FMC. (*op. cit.*)

Entrevistado P6

Acho que para a melhor compreensão, pois fiz na faculdade um curso de mecânica quântica e outro de estrutura da matéria, então muita coisa eu sabia. Vi que tinha dificuldades de ligar as informações, os períodos históricos e como a ciência evoluiu naquela época. O uso dos vídeos e da apostila ajudam muito a aprender, a forma como está escrito o texto e as vezes que se colocava os recursos valorizavam muito mais o conceito e menos a matemática, achei muito bom isso. A parte que mais me interessou no curso foi a forma mais conceitual de postular a função de onda e as discussões de estados quânticos e clássicos. Só acho que não dá para falar no ensino médio, os alunos são muito imaturos e brincam demais, não vão entender.

Na resposta de P6 encontramos mais uma vez a consonância entre formação e aplicação dos conteúdos no EM, pois ele reforça o que já discutimos na resposta de P5, a cerca da metodologia de ensino, ou seja, a forma como o curso foi apresentado levou os participantes a refletirem sobre a construção do conhecimento, pois percebe-se que o curso propunha ao aprendiz uma interação entre o novo conhecimento e o conhecimento prévio, variante fundamental da TAS.

Entrevistado P11

Contribuiu de verdade, sei que hoje posso falar desse assunto com muito mais propriedade, que falaria antes do curso. Pra mim a abordagem inicial, com a evolução do pensamento dos cientistas na época, a dualidade e a correspondência, foram os pontos mais marcantes para mim. Aquela revisão de óptica foi mais que uma revisão, foi uma nova forma de aprender o conteúdo e achei que é a melhor forma de ensinar para os alunos.(...)

A resposta de P11 além de ratificar o exposto nas respostas anteriores, nos trás a percepção que o curso e a metodologia utilizada contribuíram para a mudança da idéia de verdade absoluta, muito presente na formação de professores em ensino de ciências. Para ele, o conceito de dualidade e o princípio da correspondência, foram pontos marcantes na mudança de sua forma de ensinar FQ, pois percebemos nesta resposta que o importante foi que o novo conhecimento proporcionou significados diferentes para o aprendiz e o conhecimento prévio, mesmo que adquirido de forma mecânica, fica mais rico e torna-se mais estável.

Para a questão dois, o objetivo era o de extrair respostas que viessem a mostrar a validade do curso de introdução a MQ, no entanto, deveríamos verificar se o mesmo iria contribuir para a prática docente no EM.

Entrevistado P1

Quando comecei o curso não acreditava muito que seria possível ensinar quântica para meus alunos da escola pública; eles são muito fracos em matemática e sempre acreditei que para ensinar este assunto era necessário uma matemática superior. Mas à medida que fomos fazendo o curso vi que muitos erros conceituais eram passados aos alunos e que quando falava em física quântica eles se motivavam a saber o que era. Uma coisa legal do curso foi poder aproximá-los de exemplos do mundo tecnológico e vi que eles já traziam muitos conhecimentos que facilitaram o entendimento do assunto. Aquele “simulador” da fenda dupla foi importantíssimo na forma como conduzi a aula e até usei o meu exemplo de uma pessoa e várias, passando pela porta.

Para esta resposta, P1 toma como base a sua experiência de aprendizado de FQ, pois inicialmente pensa em reproduzir a forma de ensinar que ele teve em sua formação acadêmica, o que nos leva a concluir que após décadas de propostas de mudança conceitual

no ensino de ciências ainda é possível verificar, que existem propostas educacionais fora desse foco. Esta visão de P1 pode apresentar um desvio de foco no ensino de FQ, no qual o professor prefere a idolatria tecnológica à construção científica para fins tecnológicos para o progresso da qualidade de vida. No entanto, a mesma resposta apresenta a experiência de fenda dupla como importante para a introdução de conceitos de MQ no EM, o que nos oferece uma forma de ratificar a proposta de Copenhague neste trabalho investigativo.

Entrevistado P7

O curso foi muito importante para eu ter uma nova prática em sala e sei que os alunos acabaram tendo uma nova visão da física a partir destas aulas. No ano passado, quando apliquei o conteúdo sem ter feito o curso, vi que nos restringimos a resolver os exercícios do Ramalho e não vi os alunos tão motivados a discutirem como foi neste ano(...)

Para P7 o curso teve um impacto positivo quando comparado ao ano anterior, antes de ter participado do curso, o que nos permite perceber a disposição do aprendiz em aplicar conceitos de FQ em sala de aula, buscando uma nova abordagem, com representações e modelos propostos, trazendo a idéia de inovar e criar uma assimetria e causalidade de conceitos, saindo da tradicional resolução de exercícios, tão comum no Ensino de Física no EM.

Entrevistado P8

Contribuíram por que hoje os meninos, são capazes de discutir os conceitos e até o Marlon que é o melhor da turma disse que seria possível estudar melhor a astronomia; fiquei surpreso, nunca tinha falado isso pra ele. Agora, na minha didática de sala de aula eu melhorei muito,(...) eles formam perguntas melhores (...) a gente vai construindo os conceitos baseado naquilo que os alunos já sabem aí é legal, (...)

O entrevistado nos faz entender que o curso foi capaz de ajudá-lo a mudar sua prática docente, que os alunos foram capazes de extrapolar os conceitos propostos e buscaram em conhecimentos prévios assuntos que antes sequer eram conhecidos do professor. Fica notório, na resposta de P8, que a interação professor-aluno é importante para o processo de

aprendizagem significativa e que por intermédio de conceitos introdutórios de MQ, foi possível motivar os estudantes a aprenderem mais e o próprio professor a buscar novos conhecimentos para o aprimoramento de sua prática profissional, de forma a construir conceitos que serão base dos novos conceitos, e assim por diante.

Entrevistado P9

Algumas coisas tiveram que ser reaprendidas, porque a forma como eles viram os assuntos no segundo ano era muito precária, haviam muitos erros conceituais. (...) só acreditaram que era uma forma de se aprender o básico, para depois se aprender outras coisas. Uma coisa importante é deixar claro para o aluno que estes conceitos não são definitivos (...)

As características da interpretação de Copenhagen apresentam caráter não-determinista, não-causal e não-realista. Tais características podem ser identificadas a partir da resposta de P9, pois o mesmo, ao aplicar as teorias apresentadas no curso, bem como, de fazer uso da metodologia de ensino, promove uma aprendizagem que visa um aluno de personalidade questionadora e flexível, com liberalidade de pensamento, com capacidade de enfrentamento da incerteza e da ambigüidade, num processo contínuo de questionamento e construção de significativos.

Tais características são foco desta pesquisa com relação que se buscava compreender com a aprendizagem significativa da interpretação de Copenhagen que, na nossa avaliação, é apresentada na resposta de P9.

Entrevistado P15

Contribuíram muito, porque na faculdade eu não tinha aprendido quântica desse jeito, lá era só cálculo. Aqui não, a gente discutiu de tudo um pouco e levei isso pra sala, como não tinha dado esse assunto ainda, é a primeira vez, descobri que para a aprendizagem ser significativa é necessário o professor e o aluno interagirem mais,(...) pra isso eu percebi que a minha metodologia de trabalho deveria ser diferente, deveria ser mais focada naquilo que o aluno realmente precisa saber, no que gera uma discussão maior.

Na resposta de P15 observamos que ele acabou percebendo que é importante na aprendizagem significativa a interação, o que para nós conduz o aprendiz para uma atitude proativa, onde o professor agora é capaz de repensar sua prática pedagógica e suas atitudes. É possível perceber que o nível de discussão “*de tudo um pouco*”, podem ser indícios da aquisição do conhecimento de forma mais geral e natural, ou seja, o professor está nos dizendo de que ele propõe a construção de conhecimento de forma mais fácil, quando inicia de uma idéia mais geral e inclusiva e se encaminha para idéias menos inclusivas, o que é possível, combinar com as respostas anteriormente mostradas, fortalecendo a idéia da aprendizagem significativa.

Na terceira questão da entrevista buscamos identificar a importância do uso da TAS como forma de facilitar a aprendizagem de FMC no ensino médio e obtemos as seguintes considerações:

Entrevistado P1

Para ensinar quântica é necessário que a gente tenha um certo conhecimento de física clássica, por isso não apliquei no segundo ano; achei eles muito fracos em conhecimentos de ótica. Já no terceiro ano foi bem legal, pois naquela parte do efeito fotoelétrico, pude ver que o aluno já conhecia alguma coisa sobre conservação de energia e do momento, só que eu chamava de quantidade de movimento, que foi importante para mostrar como ocorria o efeito e quais as suas aplicações, principalmente de forma mais prática, como na fotocélula, utilizada para acender as lâmpadas de iluminação pública.

Para P1 a forma de pensar é mudada com a adoção da TAS como aporte para a sua metodologia de trabalho. Ele entende que os conceitos básicos da Física Clássica são importantes para a sustentação da FQ. A visão de P1 vem de encontro às perspectivas iniciais desta proposta investigativa, de utilizar os conceitos de FC uma estratégia adotada no final do século passado por diversos pesquisadores, para abordar conceitos de FMC. No entanto, a postura de P1 pode ser questionada ao buscarmos a postura adotada por outros pesquisadores que consideram que a abordagem de determinados tópicos da Física Clássica como

sustentação para a introdução de tópicos da FMC pode ser prejudicial para a aprendizagem do aluno, como discorremos nos capítulos anteriores.

A afirmação de P1 de que *“não apliquei no segundo ano; achei eles muito fracos em conhecimentos de ótica”* pode revelar que neste momento o professor tem dificuldade em ministrar conteúdos segundo a TAS o que no parece relevante para a ratificação da idéia que se faz necessário uma seleção adequada de tópicos de FMC para introduzir no Ensino Médio, pois a falta de domínio de ações adequadas podem atrapalhar o processo de ensino aprendizagem.

Entrevistado P2

Ah o ensino de Física não é uma coisa fácil, mas encontrei nesta teoria a forma mais clara de se ensinar os conteúdos de Física Moderna, pois foi essencial, ao participar do curso, ver que se estamos buscando ensinar a Física que nasceu no século XX, precisamos que ela seja verdadeiramente significativa, com uma oportunidade do aluno rever o mundo em que ele vive, fazer ele construir o conhecimento com base naquilo que ele já aprendeu, sem abandonar os conceitos anteriores, mas fortalecendo a articulação entre conceitos e vendo as possibilidades de correção de falhas que podem surgir no processo de aprendizagem.

P2 legitima a aplicação do curso com a TAS, o que na nossa interpretação é uma forma de atingirmos objetivos inicialmente propostos nesta pesquisa. A afirmação de que deve haver *“uma oportunidade do aluno rever o mundo em que ele vive (...)”* vem de encontro as características fundamentais da TAS, que propõe, entre outras coisas uma nova forma de adquirir conhecimento, agora não mais pela imposição de idéias pré-estabelecidas, mas pela reflexão do todo. Logo construir o conhecimento a partir de conhecimentos prévios já estabelecidos na estrutura cognitiva do indivíduo é para nós uma forma de revermos o mundo, suas implicações, a evolução científica e especificamente neste trabalho como a FQ contribuiu para isso.

A resposta de P2 nos leva a confirmar a proposta inicial da TAS que admite ser o conhecimento prévio, isoladamente, a variável que mais influencia a aprendizagem, ou seja, só podemos aprender a partir daquilo que já conhecemos. Foi por intermédio da TAS que P2 pôde relacionar os tópicos de FQ, de forma significativa, trazendo ganhos para a sua prática pedagógica após o curso.

Entrevistado P3

A Física Moderna e Contemporânea ao ser ensinada como estão nos livros, não trás o aluno para próximo da realidade da física; ele muitas vezes vai achar difícil memorizar as fórmulas e não discute-se a construção da física quântica como uma forma de classificar a natureza. Só com uma aprendizagem significativa é possível compreender o princípio da correspondência, que achei uma das coisas mais importantes neste curso, vi que na minha formação os professores, ao utilizarem o Heisenberg, só nos faziam decorar e resolver as questões. Se tivesse sido significativo eu não teria nem esquecido.

A resposta acima nos leva a uma análise mais aprofundada, pois está fazendo uma referência aos livros didáticos e à forma como os mesmos apresentam os conteúdos de FMC. Na concepção do entrevistado há um distanciamento entre o que os livros apresentam e o mundo que cerca o estudante.

P3 entende que a memorização e o estereótipo matemático que se dá a FQ, não a constrói. Como parte da natureza, e/ou de construção da mesma, ele percebe que por intermédio da aprendizagem significativa é possível esclarecer princípios fundamentais da ciência, como no caso do princípio da correspondência¹⁹.

É neste contexto que se pode perceber que a FC e a FQ têm uma correspondência; no entanto, temos que cuidar para que isso não se torne um obstáculo, pois pode levar o aprendiz a interpretar fenômenos puramente quânticos como clássicos.

¹⁹ Regra segundo a qual uma nova teoria deve dar os mesmos resultados que a antiga teoria, onde esta for comprovadamente válida.

Essa relação pode ser observada quando técnicas da MQ são aplicadas a sistemas macroscópicos ao invés de sistemas atômicos; os resultados são essencialmente idênticos aqueles obtidos com a MC.

Entrevistado P11

O entrevistado P11 discorre:

(...) é importante fazer da sala de aula um ambiente criativo, onde o aluno e o professor se interagem e o professor seja uma espécie de mediador. (...) tenho certeza que o princípio da correspondência é importantíssimo para relacionar o modelo clássico com o moderno e em específico da quântica.

Entrevistado P14

(...) A teoria da aprendizagem que você nos ensinou, foi a forma que eu vi de fazer os alunos interagirem mais comigo e, de verdade, o ensino de moderna está sendo muito mais legal do que o de clássica, (...) vou seguindo a primeira parte da apostila igual ta escrito lá. É como se a gente estivesse organizando o conhecimento, (risos), parece que tava tudo embaralhado aí a gente vai corrigindo. O pior é que os defeitos foi a gente mesmo quem criou, (risos), sou professor deles a três anos sou meio que culpado.

Para P14, reside na TAS uma forma de promover a motivação do estudante em aprender e ao comparar a teoria anteriormente ensinada com a FQ, ele entende que a forma como o aluno vai aprendendo colabora para esta motivação. Deixa claro em sua resposta a importância do material de instrução utilizado no curso. Um ponto importante nesta resposta é a forma como o professor avaliou sua própria conduta antes e após a TAS, chegando a assumir parte da culpa das dificuldades de aprendizagem dos alunos. A postura de P14 tem grande contribuição para esta análise, haja vista a proposta desta investigação em mudar as estratégias em sala de aula, visando uma aprendizagem significativa e a promoção de um processo de mudanças de comportamento docente.

A última questão está pautada na crença do entrevistado em promover uma aprendizagem de conteúdos em FQ, fundamentado em procedimentos instrucionais para a prática docente. Desta maneira, destacamos as principais respostas.

Entrevistado P1

Com certeza, vi tanto no meu caso quando fazia o curso, pela forma como os conteúdos foram passados, quanto quando dei aula sobre o assunto, que temos um atraso muito grande em não ensinar os conteúdos de Física Moderna (...)Eu acabei utilizando um pouco da apostila do curso; tinha umas coisas muito boas e com a linguagem bem acessível, inclusive para os alunos.

Entrevistado P3

Tenho certeza, mas para isso acontecer é necessário mudar toda a estrutura da escola em como ensinar, avaliar e até mesmo dos livros que são usados que são muito ruins. Acho que um procedimento bom é de iniciar os fundamentos de quântica no 2º ano, pois quando eles vêm luz; muito da óptica dá para aproveitar, para ensinar quântica. Acho que neste curso a gente poderia ter visto relatividade.

Entrevistado P4

(...) o conteúdo não dá para ensinar do mesmo jeito e é preciso a gente redistribuir os conteúdos.

Entrevistado P5

(...) A primeira coisa que deve ser feita é diminuir a quantidade de aulas de eletrostática, fazer uma abordagem mais significativa da eletrodinâmica e já entrar no eletromagnetismo visando a abordagem em quântica, pois aí você prepara o terreno para o aluno ter uma justificativa de aprendizado, de forma histórica, onde vai trabalhando cada conceito como parte do todo até ele enxergar que na ciência não tem nada isolado. A Física Moderna só não é ensinada no ensino médio se o professor não quiser, mas tem que ser de forma significativa. Eles vão ver que para aprender é necessário estar disposto e ter um material legal; se eles já sabem alguma coisa de física aí é mais fácil.

Entrevistado P7

Acredito com certeza. O que acho que precisa é o professor usar uma forma de trabalhar o conteúdo mais conceitual, mais voltado a formação de um conceito mais amplo, que o aluno possa entender utilizar as fórmulas matemáticas, quando o aluno realmente precisar. (...)

Entrevistado P11

Sim é possível, desde que o professor seja aquele cara que vai mudar a forma de agir, que ele se respalde no conhecimento prévio do aluno, para introduzir novos conceitos; quando isso não for possível, acho que tem que ser mecânico mesmo, aí depois isso vira significativo pro aluno. Eu, por exemplo, tomei como base a interpretação de Copenhagen para o mundo microscópico e não para o mundo clássico; aí acho que é um procedimento interessante, pois como associar as

probabilidades as partículas, de forma não determinista, o que pra mim faz muito mais sentido. Foi o que utilizei e deu certo. Vejo nos meus alunos hoje uma certa agonia em descobrir outras coisas, deixaram um pouco de lado aquela coisa da verdade absoluta que eles passaram tanto tempo fazendo na mecânica de Newton. Lá na minha escola eu pergunto se um elétron é onda ou partícula e já ouço coisas como: são as duas, tem comportamento duplo, são observados de forma ondulatória e de corpo. Acho um avanço tremendo um aluno de escola pública falar isso.

Entrevistado P15

(...) aplicar os conceitos de Física Moderna, sem abandonar completamente a clássica no início, aí devagar a gente organiza os conceitos, fazendo exercícios, assistindo filmes, textos legais para debater, aplicando alguns applets, aí vai gerando uma reflexão sobre a ciência e sobre o mundo que cerca a gente. No caso da Física Moderna sempre ressaltar o aspecto probabilístico que vai dando ao aluno a possibilidade de encontrar um resultado. (...)

As respostas apresentadas convergem para um mesmo ponto a idéia de que é possível introduzir FQ no ensino médio. Os professores entrevistados crêem nisso e aplicaram em suas aulas procedimentos instrucionais que em resumo está centrado na motivação do estudante, no uso de material potencialmente significativo, no uso de uma metodologia progressiva para a aprendizagem, uma prática docente voltada à reflexão, uso de materiais didáticos como organizadores prévios, em ressaltar as características fundamentais da FQ como o não determinismo, a não-casualidade, o probabilismo e princípios como a complementaridade, a incerteza e a correspondência. Desta maneira, entendemos, baseado nos resultados desta pesquisa, ser a TAS uma teoria que é capaz de promover a aprendizagem da Física Quântica e, assim facilitar sua introdução no Ensino Médio.

Capítulo 7 – CONCLUSÃO

O presente trabalho avaliou a proposta de inserção de conteúdos de Mecânica Quântica no Ensino Médio, por meio de um curso de capacitação para professores em atividade, onde procuramos verificar as possibilidades desta inserção, considerando as dimensões epistemológicas, pedagógicas e conceituais da Mecânica Quântica.

Ao retomarmos o quadro inicial deste estudo encontramos professores desmotivados para ensinar Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio, sendo que vários aspectos colaboravam para esta desmotivação, segundo os sujeitos que compunham nossa amostra. Dentre elas, a falta de tempo nas escolas, a má formação inicial do professor, a matematização ao ensinar conteúdos de MQ, a falta de programas de capacitação docente, o desinteresse dos estudantes, material didático insatisfatório e o desconhecimento de teorias e técnicas de aprendizagem que viessem a contribuir para a melhoria de suas aulas.

Após a seleção da amostra e com o delineamento da pesquisa estabelecido, foi ministrado um curso de capacitação para professores em atividade no Ensino Médio, visando a inserção de Mecânica Quântica, embasado na Teoria da Aprendizagem Significativa de forma a torná-los aptos a multiplicar em sala de aula esta proposta.

Por intermédio deste curso foi possível verificar, através de uma entrevista semi-estruturada, que os professores, ao participarem deste curso, tiveram uma mudança de postura e, por que não dizer, de realidade em sala de aula. Conteúdos antes nunca abordados pelos professores passaram a ser incluídos, na sua maioria, nos programas de ensino das escolas de muitos dos professores que participaram do curso, respeitando as características do aluno e sua percepção de mundo. Esses resultados são fruto, principalmente, de predisposição dos sujeitos para aprender, fator fundamental na promoção da aprendizagem significativa.

O uso de um material potencialmente significativo foi de fundamental importância para que tivéssemos respaldo científico, com a utilização de materiais compilados como textos de apoio, testados com alunos do EM, que foram reunidos em um material instrucional que aproximou o professor/aluno (sujeito da pesquisa) de situações cotidianas mas, principalmente, de uma forma não ortodoxa de ensinar Mecânica Quântica, diferente daquelas observadas no tradicional ensino superior. É neste contexto que verificamos que os problemas levantados inicialmente, como a má formação docente, podem ser atenuados/corrigidos com iniciativas como a formação continuada de professores.

Um aspecto relevante neste trabalho, é que foi possível ensinar Mecânica Quântica numa abordagem que buscava entrelaçar a possibilidade de conhecer o mundo quântico, introdutório, pela interpretação de Copenhague com a Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, como suporte para essa introdução. As respostas dos entrevistados apontam para a viabilidade desta inserção via capacitação de professores; no entanto, cremos ser importante outros trabalhos investigativos que apontem nessa direção, com a preparação do professor em atividade pois acreditamos que propostas como essa, aqui desenvolvida, podem trazer ao estudante um novo espírito questionador e com uma formação de um indivíduo que busque uma nova visão de mundo.

Acreditamos que o material educacional apresentado – módulos didáticos, vídeos, apresentações de slides – contribuíram para promover a aprendizagem significativa de tópicos de mecânica quântica. No entanto, em alguns aspectos, nem todo o conteúdo seria possível ministrar no Ensino Médio, mas deve ser conhecido pelo professor, haja vista a, formação de conceitos relacionados que venham a contribuir para as discussões que serão promovidas em sala de aula. Essa conclusão se justifica, pelas respostas dos professores expostas no capítulo 6, onde é fácil verificar o uso do material, após o curso, pelos professores.

Concluimos também que quando se tem um professor que busca atuar como um mediador da construção do conhecimento e conduz o estudante a transpor obstáculos, que sozinho poderia levar a erros conceituais, os estudantes estão mais próximos da captação de significados, tendo a eles sentido na aquisição do saber. Essa forma de aprender libera o estudante da memorização de conceitos e o leva à construção dos mesmos, alicerçada em conhecimentos já existentes em sua estrutura cognitiva.

Face a isso, vemos que transpor conteúdos de FMC para o Ensino Médio não é somente uma reprodução conteudistas, mas uma oportunidade do professor torna-se o mediador no processo de aquisição de significados, fortalecendo seus próprios conhecimentos. A transposição didática de FMC, pautada em teorias como a TAS revela a força das motivações do aprendiz, que deve relacionar conceitos da “velha teoria” e da “nova teoria”. Por isso, consideramos importante a utilização de materiais como os organizadores prévios que ampliem as possibilidades em sala de aula e proporcionem um ambiente de aprendizagem de troca de saberes.

A escolha de tópicos de FMC, então, nos parece ser de responsabilidade do professor. Suas particularidades devem ser respeitadas; porém, é importante salientar que não se deve abolir o rigor científico, pela aproximação cotidiana exacerbada, em função da maneira de ver o mundo pelo professor, com o risco de persistirem erros conceituais. Assim, é possível ver pelos relatos, que é recomendável a inserção de tópicos de Física Quântica, já no segundo ano do EM, série que tradicionalmente se estuda a óptica. No entanto, esta parte da Física é aprendida como uma resolução geométrica e cartesiana de fenômenos científicos que leva, muitas vezes, ao distanciamento do professor e do estudante com relação à óptica Física e seus questionamentos, levantados ao final do século XIX.

Por fim, os resultados da pesquisa apontam para possibilidade de inserção de mecânica quântica, no EM, pela interpretação de Copenhague, a luz da Teoria da Aprendizagem Significativa, com foco no professor, como facilitador desta aprendizagem em sala de aula.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AUSUBEL, D. P. 2003. *Aquisição e retenção de conhecimentos: Uma perspectiva cognitiva*. Plátano, Lisboa, Portugal, 226pp.

AUSUBEL, D. P. *Psicología educativa: un punto de vista cognoscitivo*. México: Editoria Trillas, 1976. 768 p.

BACHELARD, G. (1938) - *A Formação do Espírito Científico* - Editora Contraponto, Rio de Janeiro, Ed. 1996.

BASTOS FILHO, J. B. *O Universo dos quantas: resenha*. Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, v. 16, n. 1, p. 127-132, abr. 1999.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação a Distância. Departamento de Informática na Educação. Termo de Referência. Projeto Rived/Fábrica Virtual. Seleção Pública de Equipes de Produção de Módulos Educacionais Digitais. Brasília, 2004. Disponível em: <<http://www.fisica.ufpb.br/~romero/nea/pdf/edital-MEC-rived.pdf>>. Acesso em: 09 mar. 2008.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. *Orientações curriculares para o ensino médio: ciências da natureza, matemática e suas tecnologias*. Brasília, MEC/SEMT, 2006.

BRASIL. Ministério da Educação e do Desporto. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. *PCNs+ Ensino Médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias*. Brasília, 2002.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Média e Tecnológica. *Parâmetros curriculares nacionais: ensino médio. PCN+ Brasília, 2002.* Disponível em: <http://cenp.edunet.sp.gov.br/Ens_medio/em_pcn.htm>. Acesso em: 28 ago. 2007.

BRASIL. Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. *Parâmetros curriculares nacionais: ensino médio.* Brasília, MEC/SEMT, 1999.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. *Parâmetros Curriculares Nacionais: ensino médio: bases legais / Ministério da Educação.* - Brasília, 1999.

_____. Ministério da Educação. Conselho Nacional de Educação (CNE). Câmara de Educação Básica (CEB). *Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio – DCNEM* – Resolução CEB Nº 3 de 26 de junho de 1998.

_____. Ministério da Educação. Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional – LDB – Lei Nº 9394 de 20 de dezembro de 1996. Disponível em: <www.mec.gov.br/legis/pdf/lei9394.pdf>. Acesso em: 27 fev.2004. 82

BROCKINGTON, G. ; PIETROCOLA, M. *Serão as Regras da Transposição Didática Aplicáveis aos Conceitos de Física Moderna?*. Investigações em Ensino de Ciências (Online), UFRGS - Porto Alegre - RS, v. 10, n. 3, p. 387-404, 2005.

CAMARGO, A. J. *A Introdução da Física Moderna no 2º Grau: Obstáculos e Possibilidades*, 1v. 208p. Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina – Educação. 1996

CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C. *Uma oficina de física moderna que vise a sua inserção no ensino médio.* Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, v. 18, n. 3, p. 298-316, dez. 2001.

CAVALCANTE, M.A.; JARDIM V.; BARROS A.A.J. : *Inserção de física moderna no ensino médio: difração de um feixe laser*. Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, v. 16, n. 2: p. 154-169, ago. 1999.

CHAVES A. e SHELLARD R.C., *Física para o Brasil: Pensando o Futuro. O Desenvolvimento da Física e sua Inserção na Vida Social e Econômica do País*. (Sociedade Brasileira de Física, São Paulo, 2005).

COELHO, J.V. *Física Moderna no Ensino de Nível Médio*, 1995, 1v. 135p. Mestrado, Universidade Federal de Mato Grosso – Educação.

CUPPARI, A., RINAUDO, G., ROBUTTI, O., VIOLINO, P. *Gradual introduction of some aspects of quantum mechanics in a high school curriculum*. *Physics Education*, Bristol, v. 32, n. 5, p. 302-308, 1997.

DELIZOICOV, D. *Pesquisa em Ensino de Ciências como Ciências humanas aplicadas*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Florianópolis, v. 19, n. 1, 2004.

DELIZOICOV, D. *Problemas e problematizações*. In: *Ensino de Física: Conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora*. Mauricio Pietrocola (org.). Ed. da UFSC - Florianópolis, 2001, 236 p. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol5/n1/v5_n1_a2.htm>. Acesso em: 02 julho. 2008.

DELIZOICOV, D. *Formação Inicial do Professor de Física*. Educação em foco, Juiz de Fora, v. 5, n. 1, p. 73-84, 2000.

FERREIRA, M. E. M. P. *Física Moderna Como Possibilidade de um Novo Currículo*, 1990, 1v. 148p. Mestrado, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo – Educação (Currículo).

FEYNMAN, R.P.; LEIGHTON, R.B. E SANDS, M. (1963) *The Feynman lecture on Physics*. New York: Addison-Wesley, v.3.

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.

FREIRE JÚNIOR. O. *et al. Introducing quantum physics in secondary school*. In: International History, Philosophy and Science Teaching Conference, 3, 1995, Minneapolis. Proceedings. Minneapolis: University of Minnesota, 1995. v. I. p. 412-419. Interpretation of phenomena by undergraduate physics students. *International Journal of Science Education*, London, v. 21, n. 3, p. 261-276, 1999.

FREIRE, L. G. L. - *Teoria Fenomenográfica e Concepções de Aprendizagem* - Revista Pedagógica - UNOCHAPECÓ - Ano 11. n. 22. 2009.

FREIRE, P. (2003). *Pedagogia da autonomia*. 27ª ed. São Paulo: Paz e Terra. 148p.

GOWIN, D. B. (1981). *Educating*. Ithaca, N.Y.: Cornell University Press. 210 p.

GRECA, I. M. (2000). *Construindo significados em Mecânica Quântica: resultados de uma proposta didática aplicada a estudantes de Física Geral*. Tese de Doutorado. Porto Alegre: Instituto de Física da UFRGS.

GRECA, I. M. ; HERSCOVITZ, Victoria e . *Superposição linear em ensino de Mecânica Quântica*. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 5, p. 61-77, 2005.

GRECA, I. M. ; MOREIRA, Marco Antonio . *Uma revisão da literatura sobre estudos relativos ao ensino de Mecânica Quântica Introdutória*. *Investigações em Ensino de Ciências (Online)*, Porto Alegre, v. 6, n. 1, p. 1-29, 2001.

LAVILLE, C.; DIONNE J. – *A construção do saber: manual de metodologia da pesquisa em ciências humanas* – Artes Médicas Sul Ltda; Belo Horizonte, 1999.

LAWRENCE, I. Quantum physics in school. *Physics Education*, Bristol, v. 31, n.5, p. 278-286, Sept. 1996.

LOBATO, T; GRECA, I. M. *Análise da inserção de conteúdos de Teoria Quântica nos currículos de Física do ensino médio*. Ciência e Educação (UNESP), São Paulo, 2005.

MENESES, L.C. *Uma física para o novo ensino médio*. Física na Escola. São Paulo, v. 1, n.1, p.7, out. 2000.

MONTENEGRO, R.L. E O. PESSOA JR. - *Interpretações da teoria quântica e as concepções dos alunos do curso de física* – Investigações em Ensino de Ciências, vol.7, No. 2 - <http://www.if.UFRGS.BR/public/ensino/N3/Moreira.htm>. 2002

MOREIRA, M. A. – *A teoria da aprendizagem significativa e sua implementação em sala de aula* – Editora Universidade de Brasília, Brasília, 2006. 186p.

MOREIRA, M. A. *Versão revisada e estendida de conferência proferida no III Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa*, Lisboa (Peniche), 11 a 15 de setembro de 2000. Publicada nas Atas deste Encontro, p.p. 33-45, com o título original de Aprendizagem significativa subversiva.

MOREIRA, M. A e PAULO, I. J. C. *Abordando conceitos fundamentais da mecânica quântica no nível médio* Revista da ABRAPEC, São Paulo, v.4, n.2, mai/ago.2004. Disponível em: <http://www.fc.unesp.br/abrapec/revistas/v4n2a6.pdf>. Acesso em: 08 set. 2009.

MOREIRA, M. A. e MASINI, E. F. S. *Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel*. 2. ed. São Paulo: Centauro, 2002. 112 p.

MOREIRA, M. A. e GRECA, I. M. *Introdução à Mecânica Quântica: seria o caso de evitar a aprendizagem significativa (subordinada)?* Trabalho apresentado no III Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa. Peniche, Portugal, 11 a 15 de setembro de 2000.

MORTIMER, E. F. *Construtivismo, mudança conceitual e ensino de ciências: para onde vamos?* In: ESCOLA DE VERÃO PARA PROFESSORES DE PRÁTICA DE ENSINO DE FÍSICA, QUÍMICA E BIOLOGIA, 3, 1994, Serra Negra, *Coletânea*. São Paulo: FEUSP. 1995. p.56-74.

NOVAK, J. D. *A theory of education*. Ithaca: Cornell University Press, 1986. 296 p.

NOVAK, J. & GOWIN, D. B. *Aprendendo a aprender*. Lisboa: Plátano Edições Técnicas. Tradução para o português do original Learning how to learn. 212p. 1996

OSTERMANN, F. *Física Moderna no ensino médio e na formação de professores*. (Apresentação de Trabalho/Conferência ou palestra). OSTERMANN, F. . O ensino de Física Moderna e Contemporânea e a formação do professor . 2004.

OSTERMANN, F. e RICCI, T. *Relatividade restrita no Ensino Médio: contração de Lorentz fitzgerald e aparência visual de objetos relativísticos em livros didáticos de Física*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Florianópolis, v. 19, n. 2, p. 176-190, ago. 2002.

OSTERMANN, F. e MOREIRA M.A. (2000) – *Física contemporânea en la escuela secundaria: una experiencia en el aula involucrando formación de profesores* – Enseñanza de las Ciencias, vol.18, No.3, 391-404.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A.; *Atualização do currículo de física na escola de nível médio: um estudo desta problemática na perspectiva de uma experiência em sala de aula e da*

Formação Inicial de Professores. Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, v. 18, n. 2, p. 135-151, 2001.

OSTERMANN, F. e MOREIRA, M. A. Uma Revisão Bibliográfica sobre a área de Pesquisa “*Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio*”. *Investigações em Ensino de Ciências*, vol. 5, n. 1. 2000.

PAULO, I. J. C. *A Aprendizagem Significativa Crítica de Conceitos da Mecânica Quântica segundo a Interpretação de Copenhague e o Problema da Diversidade de Propostas de Inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio*. Universidad de Burgos. Programa Internacional de Doctorado. Departamento de Didácticas Específicas. Enseñanza de las Ciencias. 2006

PAULO, I. J. C. ; MOREIRA, M. A. - *Abordando Conceitos Fundamentais de Mecânica Quântica no nível médio*. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, Bauru - São Paulo, v. 4, p. 63 - 73. 2004

PAULO, I. J. C. ; MOREIRA, M. A. *Um caminho para a formação de conceitos fundamentais da Mecânica Quântica no nível médio*. Atas II Encuentro Iberoamericano sobre Investigación Básica en Educación en Ciencias, 2004, Serv. Pub. Universidad de Burgos, Burgos. 2004

PEREIRA, O. S. *Raios cósmicos: introduzindo Física moderna no 2º grau*. (Dissertação de mestrado em Ensino de Ciências) São Paulo: Instituto de Física e Faculdade de Educação – USP, 1997.

PESSOA JR, O. *Conceitos de física quântica*. São Paulo: Livraria da Física, v. 1. 2005

PESSOA JR., O.. *Interferometria, interpretação e intuição: uma introdução conceitual à física quântica*. Revista Brasileira de Ensino de Física, 19, 27-48. 1997

PIETROCOLA, M. *Construção e Realidade: o realismo científico de Mário Bunge e o ensino científico através de modelos*. Investigação em Ensino de Ciências, Porto Alegre, v. 4, n. 3, 1999.

PIETROCOLA, M. ; ZYLBERSZTAJN, A. *The use of the Principle of relativity in the interpretation of phenomena by undergraduate physics students*. International Journal of Science Education, London, v. 21, n. 3, p. 261-276, 1999.

PINHEIRO, T. F. *Aproximação entre a Ciência do aluno na sala de aula da 1ª série do 2º grau e a Ciência dos cientistas: uma discussão*. 1996. 156f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Centro de Ciências da Educação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1996.

PINTO, A.C. e ZANETIC J.– *É possível levar a Física Quântica para o Ensino Médio?* - Caderno Catarinense de Ensino de Física, vol.16, No. 1, 7-34. 1999.

POSTMAN, N. *The end of education: redefining the value of school*. New York: Vintage Books/Random House. 208p. 1996

POSTMAN, N. *Technopoly: the surrender of culture to technology*. New York: Vintage Books/Random House. 222 p. 1993

POSTMAN, N. & WEINGARTNER, C. (1969). *Teaching as a subversive activity*. New York: Dell Publishing Co. 219p.

REZENDE JUNIOR, M. F. *O processo de conceitualização em situações diferenciadas na formação inicial de professores de física* – tese de doutorado - doutorado em educação científica e tecnológica; Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Brasil, 2006.

SILVA, C. J. *O Efeito Fotoelétrico: Contribuições ao Ensino da Física Contemporânea no Segundo Grau*, 1994, 1v. 135p. Mestrado, Universidade de São Paulo – Ensino de Ciências (Modalidade Física e Química).

STEFANEL, A. *Una experiencia en el marco de la introducción de la física cuántica en la escuela secundaria*. *Revista de Enseñanza de la Física*, Rosário, v. 11, n. 2, p. 35-44, nov. 1998.

STERNBERG, R. J. *Psicologia cognitiva*. Porto Alegre: Artmed, 2000. 494 p.

TERRAZZAN, E. A. *Perspectivas Para a Inserção da Física Moderna na Escola Média*, 1994, 1v. 241p. Doutorado, Universidade de São Paulo – Educação.

ZABALA, A. *A prática educativa: como ensinar*. Porto Alegre: Artmed, 1998. 224 p.