

**Universidade Federal de Santa Catarina -UFSC  
Centro de Ciências Físicas e Matemáticas - CFM  
Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e  
Tecnológica - PPGET**

**“Transposição Didática do Modelo de  
Huygens: uma proposta para a física escolar”**

**Tese de Doutorado**

**Ana Carolina Staub de Melo**

**Orientador: Frederico Firmo de Souza Cruz**

**Florianópolis**

**2010**

# Introdução...

## Contexto da Pesquisa

O ensino de física, em nível médio, prioriza as sínteses da ciência. Esse tipo de abordagem didática distancia os modelos físicos de seu contexto de conceitualização, além de distorcer a natureza da ciência e a imagem do próprio cientista.

Conforme evidencia vasta literatura (MORAES, 2003; PEIXOTO; MARCONDES, 2003; KÖHNLEIN, 2003; NARDI et al., 2002; GIL-PEREZ, 2001), a ênfase dedicada a esse expediente educativo, quanto à natureza da ciência, sugere: a idéia da observação neutra e objetiva, em contraste à concepção de que a observação está impregnada de teoria; a convicção em uma história da ciência cumulativa e linear, opondo-se à perspectiva de rupturas e descontinuidades; a imagem de um cientista simbolizando o gênio das freqüentes idéias iluminadoras, personagem das descobertas científicas, negando a perspectiva humana do cientista (que erra, falha, se frustra, se apaixona por sua pesquisa). Compondo, assim, um amplo espectro de características que deformam a natureza da ciência.

Por outro lado, quanto ao contexto de conceitualização na ciência, a abordagem freqüente, dos conteúdos escolares, segue uma tradição histórica que expressa os conceitos científicos como definições meramente. Definições descontextualizadas de sua realidade histórica, ausentes dos problemas (fenômenos/situações/contextos) que desencadearam a significação do conceito, tornando essas versões didáticas seriamente problemáticas na física escolar. Resumir um conceito científico a uma síntese, a uma definição, unicamente, oculta o complexo processo de conceitualização científica.

A idéia de que os conceitos científicos surgem repentinamente, em uma realidade temporal estanque, em um contexto vazio de idéias, ao contrário de um movimento gradual, repercute negativamente inclusive na visão de aprendizagem na educação científica. Contribui para imaginar que os estudantes também, de modo repentino, quando confrontados, no contexto didático, com episódios/fatos cruciais isolados, subitamente descobrirão um conceito, que se torna a verdade absoluta sobre a realidade - assim como o cientista descobre a verdade científica. Nestes termos, oculta-se que, na ciência e, em contextos distintos, como o escolar, a conceitualização do real se dá de forma

lenta. E mais, se caracteriza como um movimento constante, contínuo, ou seja, não se encerra em uma situação crucial, única. Traduzindo essa idéia para a conceitualização na física escolar, compreende-se que a aprendizagem é um processo que está sempre em construção, não se esgota em tempo algum.

Contudo, não é tão simples reconstruir a imagem de ‘conceitualização’ no contexto escolar. A tradição escolar cristalizou uma forma de transposição didática que formata a evolução histórica dos conceitos científicos em uma seqüência lógica e linear das sínteses científicas, sem contrapartida com os problemas históricos que estão na gênese dessas idéias. Há também um modo habitual de ‘problematizar’ este conhecimento, caracterizado pelos típicos problemas de lápis e papel que, em geral, exigem para sua resolução a aplicação de um algoritmo, por vezes mecanizado pelos estudantes. Para os educadores e, para os próprios alunos, formados em um certo tipo de tradição escolar, romper com a linguagem dos textos didáticos, com o significado histórico de conceito, conceitualização, aprendizagem e problematização, certamente não se configura em um movimento simples.

O relativo consenso, entre educadores e especialistas, sobre a indispensável presença da abordagem histórica na educação científica se traduz pelas expressivas críticas à ausência da contextualização histórica e, em parte, às críticas dedicadas às distorções históricas presentes na realidade escolar (em textos didáticos, concepção de ciência dos educadores, etc).

Contudo, o fato de se ocultar a natureza histórica da ciência, ou apresentar equívocos históricos no contexto educativo é, na verdade, um fato histórico, resultado de um modelo de transposição didática dos conteúdos escolares e de um contrato didático com faces dogmáticas em termos da conceitualização na física escolar. Ou seja, compõem uma racionalidade didática com ideais, concepções históricas, sobre ‘o que’ e ‘como’ ensinar, naturalizada de forma (in) consciente por estudantes e educadores. Portanto, caracteriza-se um mito (ACEVEDO et al., 2005) imaginar que a abordagem, por vezes, distorcida e, até equivocada, da natureza da ciência ou, da conceitualização na ciência, seja fruto unicamente das falhas, ou mesmo ausência, desses conteúdos de ensino na formação do professor. As concepções ‘ingênua’, ‘acritica’ e ‘equivocada’ de ciência, ou de educação, na verdade, não expressam essa lógica tão linear, esse raciocínio tão simples e direto. Há uma tradição escolar e, romper com a transposição didática e contrato

YOUNG, Hugh; FREEDMAN, Roger. **Física II: Termodinâmica e Ondas**. São Paulo: Pearson Addison Wesley, 2003. (Coleção Sears & Zemansky).

YOUNG, T. On the Theory of Light and Colours. The Bakerian Lecture, 1801. In: CREW, H. **The Wave Theory of Light. Memoirs by Huygens, Young and Fresnel**. American Book Company: Nova York, 1900.

ZANETIC, J. **Física Também é Cultura**. São Paulo: USP, Pós Graduação em Educação. (Tese de Doutorado). 252 p., 1989.

ZIMMERMANN, E. & BERTANI, J. A. Um Novo Olhar sobre os Cursos de Formação de Professores. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 20, n. 1, p. 43-62, abr 2003.

ZYLBERSZTAJN, A. Galileu: Um Cientista e Várias Versões. **Caderno Catarinense do Ensino de Física**, Florianópolis, no 5, p. 36-48, 1988.

ZYLBERSZTAJN, A. Concepções Espontâneas em Física: exemplos em dinâmica e implicações para o ensino. **Revista de Ensino de Física**, v.5, n.2, 1983.

didático, historicamente cristalizados, requer superar desafios, contornar obstáculos, que não se encerram nas dificuldades inerentes a esses temas de ensino, mas sim, em resistências educativas mais gerais e inerentes ao próprio conhecimento didático do conteúdo escolar (MARTINS, 2007).

A transposição didática tradicional (CHEVALLARD, 2005), ao descontextualizar, despersonalizar e dessincretizar, de modo dogmático, os conceitos científicos, mascara o contexto da descoberta e a conceitualização histórica dos modelos científicos. Assim, apresenta a física, por uma abordagem cumulativa, como uma seqüência lógica e linear de definições estanques. Transforma, por assim dizer, a natureza semântica dos conceitos científicos, ou seja, a evolução histórica, caracterizada pela significação e resignificação dos conceitos, em definições meramente. Contudo, a semântica de um conceito não está em uma frase, em uma definição, contrapondo-se, por outro lado, a essa lógica de sínteses cumulativas (VERGNAUD, 1990, p. 146).

Esse modelo de transposição didática, com ênfase à textualização de conceitos formalizados, das sínteses científicas, repercute diretamente no tipo de contrato didático que se estabelece em sala de aula. Nas expectativas da relação didática, nos tipos de problemas sugeridos aos estudantes na física escolar. A seqüência didática desse modelo de ensino segue uma longa exposição de definições, classificações (conceitos), fórmulas (representações simbólicas) e algoritmos para resolução de problemas padrão. Com isso, pouco estimula a criatividade e crítica dos alunos e, com relativa freqüência, mecaniza as ações (esquemas mecânicos) dos estudantes em sala de aula, esvaziando a sua significação, por apresentar situações científicas de consenso, do mesmo modo que problemas objetivos que resultam em uma única resposta pré-determinada. Como destaca RICARDO et al. (2003, p.9):

“[...] é comum a resolução de problemas que contêm somente os dados necessários à sua resolução, cabendo ao aluno utilizar as fórmulas dadas em aula para resolvê-los corretamente, o que pode levar a uma perspectiva indutivista dos enunciados. Ao aluno não cabe questionar a resposta ou mesmo a pertinência do problema, deve apenas aplicar a fórmula certa ou dar a resposta que o professor quer! Tal postura acaba dificultando o processo de construção da autonomia intelectual do aluno no enfrentamento de situações novas” (RICARDO, 2003, p.9).”

Se aos estudantes são apresentados problemas padrão, basta memorizar e, não significar, os ‘esquemas’ (VERGNAUD, 1990, p. 135; 1994, p.54) mobilizados para enfrentamento das situações didáticas. Como as situações didáticas são sempre as mesmas, o processo de conceitualização se torna um exercício de memorização, de natureza mecânica e repetitiva, já que, em geral, não há transferência para outras situações.

Assim, é possível que, o eventual ‘sucesso’ de estudantes, nessa tradição de ensino, mascare, na verdade, um engessamento (doutrinação), em um processo educativo conservador (RICARDO, 2003, p.3). De fato, se o contrato didático se baseia em uma racionalidade constante, talvez, seja uma interpretação falsa o ‘sucesso’ escolar apresentado por alguns estudantes. Pois é perfeitamente possível que a automatização das atividades propostas, do mesmo modo que a mecanização dos ‘esquemas’ cognitivos implícitos na ‘conceitualização’, retrate o ‘sucesso’ desses alunos. No entanto, ‘descobrir’ as ‘regras do jogo’, implícitas no contrato didático, com faces históricas bastante conservadoras (estável) na realidade escolar atual, não isenta o estudante de possíveis riscos, como insucessos/fracassos escolares. Justamente por estar habituado a um tipo de formação escolar é pouco provável que em outros contextos, que exijam ‘esquemas’ de enfrentamento/superação de natureza distinta aos naturalizados na educação científica, o estudante seja bem sucedido.

Por essas questões que VERGNAUD (1990), por exemplo, defende que a aprendizagem significativa se dá em um movimento de conceitualização do real. O movimento de conceitualização do real é um movimento contínuo e gradativo de significação e resignificação de conceitos. Por outro lado, enfatiza também que os conceitos não se significam isoladamente: um conceito não se forma em um só tipo de situação. Em contrapartida, um conceito se significa continuamente diante de novos problemas, novas situações, remodelando-se e reconstruindo-se. Portanto, a conceitualização é sempre ‘porvir’, parcial, em construção. Pesquisadores que exploram o tema modelos e modelizações na educação científica, como HESTENES (1996); KAPER, GOEDHART (2002) e VOSNIADOU (1994), expressam o papel imprescindível da diversificação das situações na conceitualização, uma vez que possibilita aos estudantes testarem seus modelos explicativos, remodelar, reconstruir e/ou aperfeiçoá-los. Do mesmo modo, em um sentido inverso, as situações devem ser exploradas por diversos conceitos.

TIPLER, Paul. **Física 4 para Engenheiros e Cientistas: Óptica e Física Moderna**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1991.

VERGNAUD, G. **Multiplicative conceptual field: what and why? In: The development of multiplicative reasoning in the leaning of mathematics**. Guershon, H. ; Confrey, J. (eds). Albany: State University of New York Press, 1994.

VERGNAUD, G. **A Teoria dos Campos Conceituais**. Trad. de La Théorie des Champs Conceptuels; mimeo, 1990.

VERGNAUD, G. **Quelques problèmes théoriques de la didactique a propos d’un exemple: les structures additives**. Atelier International d’Été. Recherche em Didactique de la Phyque, La Londe les Maures, 1983.

VERGNAUD, G. **A classification of cognitive tasks and operations of thought involved in addition and subtraction problems. In: Addition and subtraction**. A cognitive perspective. Carpenter, T.; Moser, J. ; Romberg, T. (eds). Hillsdale: Lawrence Erlbaum, 1982.

VILLANI, A. O Confronto Lorentz-Einstein e suas Interpretações. **Revista de Ensino de Física**, São Paulo, v.3, n.1, p.31-45, março 1981.

VOSNIADOU, S. **Capturing and modeling the process of conceptual change**. Learning and Instruction, v. 4, p. 45-69, 1994.

WHITTAKER, M. **A History and Quasi-History in Physics Education. Physics Education**, Part 1, vol. 14, n.2, p. 108-112 1979a.

WITTAKER, M. A History and Quasi-History in Physics Education. **Physics Education**, Part 2, vol. 14, n.4, p. 239-242, 1979b.

WITTMANN, Michael; STEINBERG, Richard N.; REDISH, Edward F. Making Sense of How Students Make Sense of Mechanical Waves. **The Physics Teacher**, janeiro, Vol. 37, n. 1, p. 3-58, 1999. Disponível em: [arxiv.org/pdf/physics/0207092](http://arxiv.org/pdf/physics/0207092). Acesso em: 26 de março de 2009.

WUO, Wagner. **A Física e os Livros: uma análise do saber físico nos livros didáticos adotados para o ensino médio**. São Paulo: EDUC; FAPESP, 2000.

SILVA, Fábio W. O. A Evolução da Teoria Ondulatória da Luz e os Livros Didáticos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.29, n.1, p. 149-159, 2007.

SILVEIRA, M. P. **Uma Análise Epistemológica do Conceito de Substância em Livros Didáticos de 5a e 8a Séries do Ensino Fundamental**. Dissertação (Mestrado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SILVERMAN, Mark P. **Waves and Grain: reflections on light and learning**. 1998.

STAUB, Ana Carolina M.; SOUZA CRUZ, Frederico F. de. **O Gênero Histórico Priorizado em Textos Didáticos de Ensino de Física: contribuições ou distorções para o estudo da natureza da luz**. In: XI Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Física, 2008, Curitiba, Paraná. Atas do XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, 2008.

STAUB, Ana Carolina Melo. **Contribuições da Epistemologia de Bachelard no Estudo da Evolução dos Conceitos da Óptica**. 2005. 200 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Educação Científica e Tecnológica, Ufsc, Florianópolis, 2005.

STRATHERN, Paul. **O Sonho de Mendeleiev: a verdadeira história da Química**. Jorge Zahar Editor: Rio de Janeiro, 2002

TARANTINO, Giovanni. **Elastic Waves: Mental Models and Teaching/ Learning Sequences**. Frontiers of Fundamental Physics: Proceedings of the Sixth International Symposium "Frontiers of Fundamental and Computational Physics", Italy, September 26-29, 2004. Published by Springer, The Netherlands, 2006, p.381-384. Disponível em: [www.springerlink.com/index/k1063u58m755k330.pdf](http://www.springerlink.com/index/k1063u58m755k330.pdf). Acesso em: 26 de março de 2009.

TEIXEIRA, Andréia; KRAPAS, Sônia. Reflexões sobre a Transposição Didática da Lei de Coulomb. In: VII Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias, 2005, Granada, p. 1-5. **Atas**.

THUILLIER, P. **De Arquimedes a Einstein: A face oculta da invenção científica**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 1994.

Em síntese, as resistências apresentadas pelos educadores à abordagem histórica da ciência, ou de outro gênero didático inovador, esboçam, por vezes, muito mais que uma visão acritica e até, ingênua, da atual realidade escolar. Expõe, por outro lado, resistências às possíveis repercussões negativas que podem surgir, na relação didática professor-aluno-conhecimento, diante de uma ruptura com o contrato didático naturalizado no contexto educativo. Como, por exemplo, semear um certo ceticismo ou descrença, desconfiança dos estudantes, diante do educador e do próprio conhecimento escolar, em função de uma possível descaracterização dos papéis dos personagens didáticos. Uma vez que uma abordagem histórica crítica, por exemplo, pressupõe uma nova dinâmica didática, contribuindo para desestabilizar o contrato didático historicamente construído.

A abordagem contextual da ciência pode possibilitar uma alternativa pedagógica para uma visão crítica e significativa dos conhecimentos escolares e, nestes termos, contribuir fortemente na aquisição efetiva dos conceitos científicos. Contudo, os episódios históricos da ciência devem explicitar o mecanismo de conceitualização dos conceitos científicos, como um resgate à fenomenologia da física. Em outro sentido, à luz da história da ciência pode ser possível motivar o aluno a se interessar pelo ensino de física, ilustrar a ciência como uma atividade humana, desmistificar o método científico, incrementar a cultura geral do aluno, priorizando assim, um ensino em e sobre ciência (BORGES, 2003; PEDUZZI, 2001; FREIRE JR., 2000; MATTHEWS, 1995; ZANETIC, 1989).

A forma mitificada com que a ciência e, particularmente, a física, veiculam-se ao ensino, descaracterizada de sua história e mascarada por verdades que confortavelmente são tratadas como intocáveis, sugerem uma idéia distorcida da conceitualização na ciência. Para reverter o gênero didático, presente no contexto educativo, defendemos estudos de caso que exemplifiquem o movimento de conceitualização científica. Uma possível alternativa para incrementar/contextualizar a abordagem vazia de significados dos conteúdos de física.

A falta de um referencial histórico na abordagem dos conceitos físicos, silencia, inegavelmente, a conceitualização científica. Na gênese desse movimento, as hipóteses teóricas surgem como busca por respostas aos problemas de pesquisa presentes no contexto de criação dos modelos científicos. Contexto este, caracterizado, com frequência, por um turbilhão de imagens e concepções de natureza. Tais premissas teóricas, contribuem para estruturar modelos conceituais que,

articulados a teorias gerais, confrontam-se com resultados empíricos que atestam sua adequação aos fatos estudados e, portanto, a confiabilidade no modelo científico. A representação parcial do modelo científico simboliza o domínio de validade que possui, por concentrar-se em um número limitado de características essenciais do fenômeno ou fato estudado. Do mesmo modo, ilustra uma imagem imperfeita, porém aperfeiçoável, que não se caracteriza fiel, em sentido estrito, aos fatos.

Com base nessa *intencionalidade didática*, a extensão dos episódios históricos para o contexto educativo sugere uma alternativa de apresentar a formação histórica de conceitos na ciência. Exemplificando, assim, um processo de contínua significação e resignificação conceitual da natureza. Explorar, no contexto educativo, o movimento histórico de ‘conceitualização’ ou ‘modelização’ científica<sup>1</sup>, expõe um modo de transformação dos conteúdos de ensino. Em contrapartida, a dinâmica de conceitualização científica, presente na história da ciência, vista como um objeto de ensino, pode instrumentalizar os estudantes a lidar com o próprio conhecimento da física, o que sugere um objetivo pertinente para a educação científica. A conjugação dessas duas abordagens didáticas pode, por exemplo, reverter a expectativa negativa dos alunos diante da física, por explicitar, de modo mais real e até natural, a evolução conceitual da ciência.

O estudo de caso exposto na presente pesquisa busca, então, analisar a história da ciência, como um exemplo de conceitualização científica. Nestes termos, interpreta-se a dimensão histórica com uma *intencionalidade didática*, caracterizada por um duplo desafio, articular a história da física de modo que a exposição dos conteúdos científicos não se apresente à margem das discussões, resgatando a fenomenologia dos conhecimentos estudados, sem, por outro lado, negar as discussões da natureza da ciência presentes no movimento de conceitualização.

O contexto histórico destacado como referencial de análise, para delinear a estratégia de ensino, refere-se ao modelo ondulatório de Huygens. Como fonte histórica priorizamos a análise de uma versão traduzida do ‘*Traité de la lumière*’ de Huygens (1690), por Roberto de

---

<sup>1</sup> MARTINAND (1986) é um dos primeiros personagens a se reportar a idéia de modelos como uma forma de transformar os conteúdos de ensino. Distintamente da vertente que associa a construção de modelos à atividades experimentais modelizadoras (PINHO, 2002), buscamos explorar o **movimento histórico de modelização** na ciência. Neste sentido que apresentamos a modelização científica, como uma possibilidade de transformar os conteúdos de ensino e instrumentalizar os estudantes diante da dinâmica histórica de conceitualização/construção de modelos.

PIETROCOLA, Maurício O. O Éter Luminoso como Espaço Absoluto. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, São Paulo, v.3, n.1/2, jan./dez., p.163-182, 1993.

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**. Dissertação (Mestrado em Educação) – Centro de Ciências da Educação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1996.

PINHO-ALVES, Jose . Atividade Experimental: uma alternativa na concepção construtivista. In: VIII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, 2002, Aguas de Lindóia. **Atas do VIII EPEF**. São Paulo : SBF, 2002.

POPPER, Karl. **Conjecturas e Refutações**. Brasília:UNB, 1982.

PRAIA, J. & CACHAPUZ, F. Un análisis de las concepciones acerca de la naturaleza del conocimiento científico de los profesores portugueses de la enseñanza secundaria. **Enseñanza de las ciencias**, v.12, nº 3, p. 350-354, 1994.

PRAXEDES, Gilmar ; PEDUZZI, Luiz. Tycho Brahe e Kepler na Escola: uma contribuição à inserção de dois artigos em sala de aula. **Revista Brasileira de Ensino de Física** (Online), v. 31 n.3, p. 1-10, 2009.

RICARDO, Elio; SLONGO, Ione; PIETROCOLA, Maurício. A Perturbação do Contrato Didático e o Gerenciamento dos Paradoxos. **Investigações em Ensino de ciências**, vol 8, n. 2, 2003.

ROCHA, J. F. **Origem e Evolução do Eletromagnetismo**. In: ROCHA, José F. et al. *Origens e Evolução das Idéias da Física*. Salvador: EDUFBA, 2002.

SAMBURSKY, S. **El Mundo Físico de los Griegos**. Madrid: Alianza Editorial, 1990.

SCHENBERG, M. **Pensando a Física**. São Paulo: Brasiliense, 1985.

SILVA, Boniek V. da C.; MARTINS, A. F. P. A Experiência de Young: a pedra da roseta da natureza da luz? In: XI Encontro Nacional de Ensino de Física, Curitiba, 2008 **Atas**.

OSTERMANN, F. A. & MOREIRA, M. A. **A Física na Formação de Professores do Ensino Fundamental**. Rio Grande do Sul: Editora da Universidade/UFRGS, 1999.

PACCA, Jesuína Lopes de Almeida. **Um perfil dos candidatos ao vestibular da FUVEST**. Tese de doutorado, Faculdade de Educação da USP, 1983, p. 28.

PAGLIARINI, Cassiano. R. **Uma análise da história e filosofia da ciência presente em livros didáticos de física para o ensino médio**. 2007. Dissertação (Mestrado em Física) - Universidade de São Paulo.

PEDUZZI, L. O. Q. **Física Atômica e Filosofia: exemplos kuhnianos**. Publicação interna (Departamento de Física – Universidade Federal de Santa Catarina), 2004.

PEDUZZI, L. O. Q. **Sobre a Utilização Didática da História da Ciência**. In: Ensino de Física: Conteúdo, Metodologia e Epistemologia numa Concepção Integradora. Editora: UFSC, 2001. PIETROCOLA, Maurício (Org.), p. 101-123.

PEDUZZI, Luiz. O. Q. **A Física e a Cosmologia Cartesiana**. Publicação interna (Departamento de Física – Universidade Federal de Santa Catarina), 1999.

PEIXOTO, H. R. C. & MARCONDES, M. E. R. Reflexões sobre Natureza da Ciência em um Curso de Formação de Professores. In: IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, Bauru, São Paulo, 2003. **Atas**.

PEREIRA, Ana. I.; AMADOR, Filomena. A História da Ciência em manuais escolares de ciências da natureza. **Revista Eletrônica de Enseñanza de las Ciencias**, vol. 6, n. 1, 2007.

PERRELLI, Maria A. S. **A Transposição Didática no Campo da Indústria Cultural: um estudo dos condicionantes dos conteúdos dos livros didáticos de ciências**. (Dissertação) Mestrado em Educação - Universidade Federal de Santa Catarina, 1996.

PESSOA JR. O. Quando a abordagem histórica deve ser usada no ensino de ciências? **Ciência & Ensino**, vol. 1, 1996.

Andrade Martins (HUYGENS, 1986), presente nos Cadernos de História e Filosofia da Ciência, uma publicação da UNICAMP.

No que tange o problema de pesquisa, surge do mesmo modo como um desafio educativo: como a discussão histórica da visão mecânica de Huygens, no contexto delineado para a natureza da luz, pode contribuir para explorar o modelo atual de ondas mecânicas no ensino médio? E, por outro lado, instrumentalizar os estudantes sobre o processo de conceitualização do real?

Explorar os conceitos científicos à luz de um contexto histórico e, de uma epistemologia crítica, pode contribuir significativamente para evidenciar uma ciência possível de ser estudada e compreendida (KOMINSKY; GIORDAN, 2002; HARRES, 1999). As dimensões presentes no movimento histórico de conceitualização científica podem assumir, desta forma, dois objetivos distintos, porém complementares: caracterizar uma estratégia de ensino dos conteúdos científicos, transformando-os em um processo histórico e, por outro lado, ao apresentar essa dinâmica de construção de modelos, instrumentalizar os estudantes a encarar a própria construção do saber em sala.

O estudo de episódios históricos, como exemplos de modelização científica, no contexto educativo, pode contribuir para que os estudantes mergulhem nas perguntas científicas. Com base nisso, os desafios históricos, detalhados no presente estudo de caso, emergem como problemas de ensino, pertinentes para evidenciar, por exemplo, as primeiras sementes, na interpretação de Huygens, do modelo atual de ondas mecânicas. Os conceitos físicos atuais, por sua vez, não configuram a gênese da estratégia de ensino, eles surgem com a busca por respostas aos questionamentos presentes nos modelos tratados.

Nestes termos, detalhar, junto aos estudantes, a essência do modelo de Huygens, do mesmo modo que sua natureza e construção, expõe a natureza das ondas imaginada à época e, contribui como uma possível estratégia para apresentar problemas didaticamente expressivos ao estudo de um modelo ondulatório em um sentido moderno. Além de explicitar a dinâmica de conceitualização no contexto científico. Logo, este episódio histórico não pode ser desconsiderado no ensino de física.

O viés histórico, sugerido para tal análise, diverge fortemente da abordagem anacrônica que demarca como pertinente apenas os conhecimentos que conduzem à ciência atual, ou seja, os acertos. Visão condenável pois, fruto de uma interpretação exclusivamente positiva, reconstrói a ciência por um caminho linear, sem desvios e/ou falhas, em direção ao presente (FORATO, 2003, p.15). Como consequência, pode

induzir o estudante a uma visão negativa e distorcida da história da ciência, onde os conhecimentos anteriores são vistos como enganos ingênuos, lamentáveis, idéias estéreis. Ao contrário, defende-se que, na contextualização histórica, o estudante pode se deparar com as dificuldades dos cientistas, com conceitos incipientes, com idéias vagas que, mesmo equivocadas, revistas e/ou resignificadas, desempenham papel fundamental na conceituação atual, uma vez que incitam perguntas e desafios, evidenciando que os modelos científicos não nascem prontos e acabados.

## Características da Pesquisa: síntese

A presente pesquisa visa investigar os potenciais didáticos da história da ciência e suas possíveis contribuições no processo de conceitualização e aprendizagem dos alunos na física escolar. Temos como hipótese de trabalho que o tratamento histórico de conceitos pode contribuir não apenas para a uma melhor visão da ciência mas que, ao desvelar a evolução histórica de um conceito, favorece o processo de conceitualização dos estudantes.

Para realização desta pesquisa investigamos o contexto histórico que levou à formulação atual do conceito da teoria ondualatória para a luz. Neste sentido, exploramos em capítulos específicos as contribuições científicas de cientistas como Newton, Huygens, Young e Fresnel. Demarcamos este estudo histórico com gênese em Newton, pois nos textos didáticos explorados no capítulo 3 o confronto dos modelos da luz propostos por Newton e Huygens está presente com expressividade. Por outro lado, a extensão da análise histórica para Young e Fresnel se deve ao fato de que os trabalhos destes cientistas levaram a uma resignificação do modelo de Huygens através da introdução do princípio da superposição de ondas. A partir desta análise histórica e da análise das dificuldades conceituais dos estudantes, obtidas da literatura, demarcamos para a Tese o estudo de caso do modelo de Huygens. Este modelo usualmente apresentado com distorções históricas no contexto escolar pode, como iremos demonstrar, apresenta potenciais didáticos significativos para enfrentar as dificuldades conceituais citadas na literatura.

Para facilitar a leitura apresentamos na seqüência a estrutura da Tese:

MEDEIROS, A.; BEZERRA FILHO, S. A natureza da ciência e a instrumentação para o Ensino de Física. **Ciência & Educação**, v.6, n.2, p 107-117, 2000.

MORAES, R. O Que é Esta Coisa Chamada Ciência? Idéias sobre Ciência de Professores de Matemática, Física, Química e Biologia. In: IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, Bauru, São Paulo, 2003. **Atas**.

MOURA, Breno A.; SILVA, Cibelle C. Newton Antecipou o Conceito de Dualidade Onda-partícula da Luz? **Latin. American Journal of Physics Education**, v. 2, p.218-227, 2008b.

MOURA, Breno A.; SILVA, Cibelle C. Os Estados de Fácil Transmissão e Fácil Reflexão de Isaac Newton: modelos e contradições. **Episteme** (Porto Alegre), v.27, p.1-10, 2008a

MOURA, Breno A.; SILVA, Cibelle C. Os “anéis de Newton”: uma abordagem histórica. In: XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2005, Rio de Janeiro **Atas**..

MUENCHEN, C.; AULER, D. Abordagem temática: desafio na educação de jovens e adultos. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**. Vol. 07, Nº 3 (2007), pp. 1-17.

NARDI, R. et al. A História e a Filosofia da Ciência subsidiando a construção de atividades didáticas para o Ensino Médio de Física em Nível Médio. In: VIII Encontro de Pesquisadores em Ensino de Física, 2002, Águas de Lindóia **Atas**.

NERSESSIAN, Nancy J. **Creating Scientific Concepts**. Massachusetts: MIT Press books, 2008.

NEWTON, I. Óptica. Tradução, introdução e comentários de André Koch Torres Assis, São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2002.

NEWTON, I. **Óptica**. Coleção Os Pensadores. São Paulo: Nova Cultura, 1987.

NUSSENZVEIG, Moisés. **Curso de Física Básica 2 – Fluidos, Oscilações e Ondas, Calor**. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

MARTINS, André Ferrer. História e Filosofia da Ciência no ensino: há muitas pedras nesse caminho.... **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 24, n. 1, p.112-131, 01 mar. 2007. Disponível em: <<http://www.fsc.ufsc.br/ccef/port/24-1/index.html>>. Acesso em: 15 jan. 2008.

MARTINS, Roberto de A. **A maçã de Newton: história, lendas e tolices**. In: SILVA, Cibelle C. (Org.) Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino. São Paulo: Livraria da Física, 2006a. p. 167-189.

MARTINS, Roberto de A. **Introdução: a história das ciências e seus usos na educação**. In: SILVA, Cibelle C. (Org.) Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino. São Paulo: Livraria da Física, 2006b.

MARTINS, Roberto de A. Como Distorcer a Física: considerações sobre um exemplo de divulgação científica. 1 – Física Clássica. **Caderno Catarinense do Ensino de Física**, v.15, n.3, p. 243-264, 1998a.

MARTINS, Roberto de A. Como Distorcer a Física: considerações sobre um exemplo de divulgação científica. 2 Física Moderna. **Caderno Catarinense do Ensino de Física**, v.15, n.3, p. 265-300, 1998b.

MARTINS, Roberto de Andrade . **Descartes e a Impossibilidade de Ações À Distância**. In: Saul Fuks. (Org.). Descartes 400 anos: um legado científico e filosófico. 1 ed. Rio de Janeiro, RJ: Relume Dumará, 1998c, v. 1, p. 79-126.

MARTINS, Roberto de Andrade. Huygens e a gravitação newtoniana. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, v. 1, n. 2, p. 151-84, 1989.

MATTHEWS, M. R. História, Filosofia e Ensino de Ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense do Ensino de Física**, Florianópolis, n. 3, 1995. p.164-214.

MÁXIMO, Antônio; ALVARENGA, Beatriz. **Curso de Física**, v.2, 6 ed. São Paulo: Scipione, 2005.

MEDEIROS, Alexandre. **A História da Ciência e o Ensino de Física Moderna**. In: NARDI, Roberto. A pesquisa em ensino de ciências no Brasil: alguns recortes. São Paulo: Escrituras, 2007. p. 273-292.

O **capítulo 1** expõe o tema da Tese, analisando os desafios da contextualização histórica na física escolar, demarcados por pesquisas educacionais e suscitados ao longo desta investigação. Problematisa possíveis desafios presentes na inserção da abordagem histórica no contexto escolar. Delineamos, ainda no capítulo 1 o papel crucial da intencionalidade didática presente nas diferentes propostas de transposição didática. Apresentamos brevemente a intencionalidade didática com que exploramos o contexto histórico demarcado na pesquisa de Tese (Modelo de Huygens para a natureza da Luz). Apresentamos o modelo de conceitualização do real proposto por Vergnaud associando-o às possibilidades do uso didático da história da ciência. Com base nisto efetuamos a crítica da intencionalidade didática que conduz à transposição didática tradicional. Por fim, apresentamos uma síntese do Problema e Objetivos da pesquisa de Tese.

No **capítulo 2** analisamos a intencionalidade didática, explícita ou implícita, defendida por pesquisas nacionais para a abordagem histórica no contexto escolar.

No **capítulo 3** analisamos o conteúdo de história da ciência, referente à natureza da luz, apresentado em três livros didáticos de física do ensino médio. Nesta análise, buscamos evidenciar os objetivos da inserção histórica, em termos do tema delimitado; a extensão e o gênero da informação histórica; a possível conjugação dos conteúdos escolares com a exposição histórica; o papel da natureza da ciência junto ao contexto histórico explorado; e a presença ou não de atividades relacionadas ao conteúdo histórico.

No **capítulo 4** examinamos alguns livros didáticos do ensino superior a fim de evidenciar a intencionalidade didática nas reconstruções históricas do ‘Princípio de Huygens’. Exploramos a fragilidade da distorção histórica do modelo de Huygens para uma aprendizagem efetiva dos conceitos físicos presentes nos fenômenos ondulatórios. Em particular, porque essa abordagem é insuficiente para problematizar os equívocos dos estudantes quanto ao papel do meio e da fonte na propagação das ondas mecânicas, além de suas idéias confusas de superposição de ondas. Problematisamos, neste contexto, a textualização didática historicamente presente na realidade escolar e as possíveis repercussões desse expediente nas compreensões equivocadas/parciais da conceitualização escolar (por oposição ao modelo de conceitualização proposto por Vergnaud).

Os **capítulos 5 6 e 7** trazem uma análise conceitual das contribuições históricas dos principais atores, Newton, Huygens, Young e Fresnel. Embora a proposta didática se atenha ao modelo de Huygens, a análise histórica e conceitual nestes capítulos desempenha um papel importante na concepção da proposta didática apresentada no capítulo 8.

No **capítulo 8** examinamos os potenciais didáticos do modelo de Huygens para a física escolar, destacando-se as seguintes dimensões:

- O modelo ondulatório de Huygens para a natureza da luz nasce em um contexto caracterizado por uma imagem mecanicista da natureza. Discutir, com intencionalidade didática, em que contexto histórico tem origem as idéias de Huygens e, nesse sentido, qual a extensão do mecanicismo em sua imagem da natureza da luz contribui para expor o real modelo ondulatório proposto por este cientista, por contraste à abordagem, com relativa frequência, atemporal e resignificada, dedicada a este personagem histórico no ensino da física. Do mesmo modo permite explorar a inegável influência de suas convicções de natureza e mundo em sua obra científica;
- Na visão de ondas mecânicas delineada por Huygens inexistente a idéia de força (restauradora), nestes termos, se distancia fortemente do modelo atual de ondas mecânicas em sólidos e líquidos que incorpora o mecanismo de forças para explicar a restauração de equilíbrio desses meios. Essa interpretação de Huygens possibilita uma análise conceitual do papel da força restauradora no estudo de ondas mecânicas. Por outro lado explicita a conceitualização histórica da noção de força, por exemplo, que apresenta um longo movimento histórico até se moldar conforme a interpretação newtoniana. A natureza parcial dos modelos científicos evidencia-se também neste contexto, problematizando a idéia de conhecimento absoluto, naturalizada no ensino de física;
- O significado físico de ‘elasticidade ideal’, inerente ao éter, caracteriza um expediente necessário para um modelo de ondas que não apresenta claro o conceito de força como o proposto por Huygens, o que sugere semelhança com a interpretação de elasticidade do ar, presente no contexto de propagação das

KÖHNLEIN, J. F. K. **Uma Discussão sobre a Natureza da Ciência no Ensino Médio: um exemplo com a teoria da relatividade restrita.** Dissertação (Mestrado em Educação) – Centro de Ciências da Educação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

KÖHNLEIN, J. F. K. & PEDUZZI, L.O.Q., Sobre a concepção empirista-indutivista no ensino de ciências. **Atas VII Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Física.** 5 a 8 de junho de 2002. Águas de Lindóia – SP.

KOMINSKY, Luis; GIORDAN, Marcelo. Visões de Ciências e sobre Cientistas entre Estudantes do Ensino Médio. **Química Nova na Escola,** n. 15, p.11-18, maio, 2002.

KOYRÉ, A. **Estudos galilaicos.** Lisboa, Publicações Dom Quixote, 1986.

KRAPAS, Sônia. ; QUEIROZ, Glória ; UZEDA, D. ; CORREIA, J. P. O tratado da luz de Huygens: implicações didáticas. In: VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2007, Florianópolis. **Atas do VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências,** 2007. v. 1. p. 1-12.

KUHN, Thomas. **Lógica da descoberta ou psicologia da pesquisa?** In: LAKATOS, I.; MUSGRAVE, A. A crítica e o desenvolvimento do conhecimento. São Paulo, Cultrix, 1979.

LAKATOS, Imre. **História da Ciência e suas Reconstruções Racionais.** Lisboa: Edições 70. 1998.

LOMBARDI, O. I. La pertinencia de la historia en la enseñanza de ciencias: argumentos y contraargumentos. **Enseñanza de las ciencias,** vol.15, nº3, 1997, p. 343-349.

LOPES, A. R. C. **Conhecimento Escolar: quando as ciências se transformam em disciplinas.** Rio de Janeiro: UFRJ, Pós Graduação em Educação. 1996. (Tese de Doutorado). 262 p.

MARTINAND, Jean Louis. Enseñanza y aprendizaje de la modelización. Enseñanza de las Ciencias. **Enseñanza de las ciencias,** Barcelona, v. 4, nº1, 1986.

GIBERT, Armando. **Origens Históricas da Física Moderna**. Porto: Fundação Calouste Gulbenkian, 1982.

GIL-PÉREZ, Daniel et al. Para uma Imagem não Deformada no Ensino de Ciências. **Ciência e Educação**, Bauru, v. 7, n. 2, p.125-153, 28 ago. 2001. Disponível em: <<http://www2.fc.unesp.br/cienciaeducacao/viewarticle.php?id=100&layout=abstract>>. Acesso em: 02 fev. 2008.

GUERRA, Andreia; REIS, José C.; BRAGA, Marco. Uma abordagem histórico-filosófica para o eletromagnetismo no ensino médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Ago. 2004, v.21, n. 2, 224-248.

GUERRA, A. et al. A interdisciplinaridade no ensino das ciências a partir de uma perspectiva histórico-filosófica. **Caderno Catarinense do Ensino de Física**, v.15, n.1, p.32-46, 1998.

GUIMARÃES, Luiz A.; FONTE BOA, Marcelo. **Física**. Niterói: Futura, 2004.

HARRES, J. B. S. **Concepções de Professores sobre a Natureza da Ciência**. Rio Grande do Sul: PUC, Pós Graduação em Educação. 1999. (Tese de Doutorado). 192 p.

HECH, E. **Optics**. Addison Wesley: Nova York, 2002.

HENRY, J. **A Revolução Científica: e as origens da ciência moderna**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 1998.

HESTENES, D. Modeling methodology for physics teachers. In: Proceedings of the International Conference on Undergraduate Physics Education, College Park, August 1996. **Atas**.

HUYGENS, Christiaan. Tratado sobre a Luz. Tradução e notas de Roberto de Andrade Martins, **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, Suplemento 4, p. 1-99, 1986.

KAPER, W. H.; GOEDHART, M. F. Forms of Energy , an intermediary language on the road to thermodynamics? Part I. **International Journal of Science Education**, v. 24, n. 1, p. 81-95, 2002.

KLEIN, M. J. Use and Abuse of Historical Teaching in Physics, 1972. In: S. G. Brush & A. L. King (eds.) **History in the Teaching of Physics**, University Press of New England, Hanover.

ondas sonoras. Justificando, por exemplo porque Huygens recorre à analogia com as ondas sonoras. O mecanismo de restauração de equilíbrio do ar não pressupõe a idéia de força restauradora, de modo análogo ao éter. Pressupõe, por outro lado, um mecanismo de equalização de pressão, por analogia às sucessivas compressões e rarefações do ar ao propagar as ondas de som. A possível extensão entre os dois modelos evidencia uma dimensão com potenciais pertinentes ao ensino de física. Emerge para o estudo didático, em termos conceituais, a interpretação do mecanismo de restauração de equilíbrio em termos de forças ou equilíbrio de pressão;

- A ausência da idéia de interferência de ondas exprime uma característica crucial na interpretação ondulatória de Huygens que contribui para delinear o ‘real’ modelo sugerido por este cientista. Em termos da natureza da ciência possibilita evidenciar o insucesso presente em tentativas de traduzir a visão de Huygens em termos atuais, do mesmo modo que a natureza dos modelos científicos; em termos conceituais, propicia discutir com os alunos que nem todo modelo mecânico apresenta um mecanismo de restauração, ou mesmo superposição de ondas. Ou seja, permite romper com analogias incorretas entre choques mecânicos e a superposição de ondas e, portanto, pensar em termos de superposição com base em um modelo mecânico adequado.

## Contexto Histórico

O contexto da pesquisa se refere ao modelo ondulatório de Huygens delineado para a natureza da luz. Como fonte histórica exploramos uma versão traduzida do ‘Traité de la lumière’ de Huygens (1690), por Roberto de Andrade Martins (HUYGENS, 1986).

## Objetivo de Pesquisa

Explorar os potenciais didáticos do contexto de Huygens para abordar as origens históricas de conceitualização do modelo atual de ondas. Com base nisso, possibilitar a formação conceitual da idéia de onda na física

escolar e instrumentalizar os estudantes sobre o processo de conceitualização.

## **Problema de Pesquisa**

Como a discussão histórica da visão mecânica de Huygens, no contexto delineado para a natureza da luz, pode contribuir para explorar o modelo atual de ondas mecânicas no ensino médio? E instrumentalizar os estudantes sobre o processo de conceitualização no contexto escolar?

(Mestrado) – Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.

FORATO, Thaís C. M. **A natureza da ciência como saber escolar: um estudo de caso a partir da história da luz.** Tese (Doutorado) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

FORATO, Thaís. C. M. **Isaac Newton, as profecias bíblicas e a existência de Deus.** In: Cibelle Celestino Silva. (Org.). Estudos de História e Filosofia das Ciências: subsídios para aplicação no ensino. 1a. ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006a, v. Único, p. 191-206.

FORATO, Thaís. C. M. . Os "poderes ocultos" da matéria e a gravitação universal. **Scientific American Brasil** (Edição Especial), v. 6, p. 38-43, 2006b.

FORATO, Thaís C. M. **O Método Newtoniano para a Interpretação das Profecias Bíblicas de João e Daniel na Obra: Observations upon the Prophecies of Daniel and the Apocalypse of ST John.** São Paulo: PUC, Mestrado em História da Ciência. (Dissertação de Mestrado). 164 p. 2003.

FREIRE JR., O. et al. **A Relevância da Filosofia e da História da Ciência para a Formação de Professores de Ciências.** In: Epistemologia e Ensino de Ciências. Alagoas: Arcádia, 2000.

FRESNEL, A. J. Memoir on the Diffraction of Light, crowned by the [French] Academy of Sciences. By A. J. Fresnel. In: CREW, H. **The Wave Theory of Light. Memoirs by Huygens, Young and Fresnel.** American Book Company: Nova York, 1900.

GAARDER, J. O Mundo de Sofia: romance da história da filosofia. São Paulo: Companhia das Letras, 2004.

GAGLIARDI, R. **Como Utilizar la Historia de las Ciéncias em la Enseñanza de las Ciéncias.** Enseñanza de las Ciéncias, 1988, v.6, n.3, p.291-296.

GASPAR, Alberto. **Física: ondas óptica e termodinâmica.** São Paulo: Ática, 2003.

BRAUN, Luci F. M.; BRAUN, Thomas. A Montagem de Young no Estudo da Interferência, Difração e Coerência de Fontes Luminosas. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.11, n.3, p.184-195, 1994.

BRUSH, S. G. Should the History of Science be rated X?. **Science**, v. 18, 1164-1172, 1974.

CHEVALLARD, Yves. **La Transposición didáctica**. Buenos Aires: Aique, 2005.

COHEN, B. & WESTFALL, R. S. **Newton: Textos, Antecedentes, Comentários**. Trad. Vera Ribeiro. Rio de Janeiro: Contraponto; EDUERJ, 2002.

CREW, H. **The Wave Theory of Light. Memoirs by Huygens, Young and Fresnel**. American Book Company: Nova York, 1900.

DANON, Marta P.; CUDNAMI, Leonor C. Paralelismo entre los Modelos Precientíficos e históricos en la Optica: implicancias para la educación. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 10, n. 2, 1993.

DEBUS, A.G. **El Hombre y la Naturaleza en el Renacimiento**. Trad. S. Rendón, 2a. ed. México: Fondo de Cultura Económica, 1996.

DELIZOICOV, N. C.; ERN, E. A Analogia “Coração Bomba” no Contexto da Disseminação do Conhecimento. Atas IV Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências. 25 a 29 de novembro de 2003. Bauru – São Paulo.

DELIZOICOV, N. C. O Movimento do Sangue no Corpo Humano: história e ensino. Tese (Doutorado em Educação) – Centro de Ciências da Educação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

DESCARTES, René. **Princípios da Filosofia**. São Paulo: Rideel, 2007.

DEVELAY, M. A propoo de la transposition didactique en sciences biologiques. **Annales de Didactiques des Sciences**. 4, 119-138.1987.

FLOR, Cristhiane Cunha. **Leituras dos Professores de Ciências do Ensino Fundamental sobre História da Ciência**. Dissertação

# Capítulo 1

## Transposição didática da História da Ciência: realmente possível?

### Delineando desafios e (possíveis) superações....

#### 1.1 Os episódios históricos e a didática das ciências: conhecimentos indissociáveis na transposição didática....

Pesquisas têm mostrado que há um esforço de incursão da história da ciência nos cursos de formação inicial de professores. Esforço que vem crescendo diante das demandas exigidas pelos documentos legais orientados à educação básica, como parâmetros e diretrizes curriculares nacionais (BRASIL, 1999; BRASIL, 1996). Do mesmo modo, a busca por uma visão atual sobre a formação dos estudantes de nível médio contribui, contemporaneamente, para pensar uma reorientação curricular no contexto de educação básica (MUENCHEN; AULER, 2007). Como, por exemplo, a idéia de uma formação crítica, a imagem da ciência como cultura, contextualizada historicamente e em sintonia com a realidade do estudante, por oposição a um acúmulo de conceitos científicos vazios de significados (ZANETIC, 1999; PRAXEDES; PEDUZZI, 2009).

Contudo, pesquisas recentes expõem que os reais obstáculos didáticos para a extensão, por exemplo, de episódios históricos na física escolar, explicitados por educadores, surgem, em virtude da ausência de clareza sobre o ‘como fazer’, ainda que se tenha o conhecimento de natureza histórica (MARTINS, 2007; ACEVEDO et al, 2005). Logo, não é suficiente a presença da história e filosofia da ciência nos cursos de formação de professor. O conhecimento pedagógico do conteúdo, seja histórico ou de outro gênero, é crucial para problematizar o modo como a transposição didática se moldará.

De fato, é comum apresentar-se entre educadores e, até relativamente nas pesquisas especializadas, consenso sobre as contribuições da abordagem histórica na ciência escolar, seja abordada como conteúdo escolar ou, em contrapartida, como estratégia didática.

Contudo, é preciso estar atento para o fato de que discursar que a história da ciência desperta a curiosidade, estimula uma visão crítica, desmistifica a ciência, contribui para a conceitualização do real, e é parte da cultura (faz parte da herança cultural humana); é relativamente simples. Mas, por outro lado, explorar os episódios históricos, demarcando essas faces em um estudo de caso detalhado, não é tão facilmente tangível. Isso porque, supõe delinear uma *intencionalidade didática* inequívoca, ou seja, clara, do conteúdo histórico (do conteúdo de ensino) quando se pensa em sua transposição para o contexto educativo. O que certamente traduz muito mais do que ‘proferir’ a ‘importância’ didática da contextualização histórica.

A *intencionalidade didática* (abrange muito mais do que isso), na verdade, implica em escolhas, requer lidar com desafios, inclusive semelhantes aos presentes na transposição didática de outros conteúdos escolares/curriculares, como por exemplo: delimitar ou selecionar o conteúdo histórico; explorar os reais potenciais didáticos de episódios históricos para os objetivos delineados, seja para explorar a natureza da ciência e/ou contribuir para a conceitualização da física escolar; escolher entre o recorte ou uma abordagem mais ampla (extensão *versus* profundidade); delimitar as simplificações e omissões; contornar possíveis distorções; superar visões didáticas ingênuas da abordagem histórica; equilibrar tudo em torno do tempo didático (adequar à realidade temporal escolar), entre outras...

Todas essas escolhas devem ser frutos de julgamentos parciais do educador e, portanto, escolhas conscientes, caso contrário, a suposta neutralidade (que na verdade, muitas vezes traduz uma visão acrítica) pode incorrer em distorções históricas, conceituais e didáticas na educação científica. Logo, defende-se que, à luz dos objetivos didáticos ou pedagógicos traçados, é possível esboçar uma imagem clara do gênero histórico para física escolar. Com base nisso, quando se pensa nas versões didáticas de um tema, seja ele histórico ou não, enfatiza-se a necessidade de conciliar os conhecimentos de natureza pedagógica com os conhecimentos do conteúdo-alvo.

É sobre esse aspecto que iremos discorrer na seção seguinte deste capítulo; explicitaremos quais os posicionamentos defendidos em termos didáticos para a contextualização histórica, na física escolar do ensino médio. E, junto a isso, delinearemos a real *intencionalidade didática* proposta para a abordagem do caso histórico demarcado na presente pesquisa de Tese: *a evolução histórica do conceito de ondas – contexto de Huygens*.

Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Belo Horizonte: Abrapec, 2008. v. 6. **CD-ROM**.

BARRA, Eduardo. S. O. A Metafísica Cartesiana das Causas do Movimento: Mecanicismo e Ação Divina. **Scientiae Studia** (USP), São Paulo - SP, v. 1, n. 3, p. 299-322, 2003.

BARROS, M. A. & CARVALHO, A. M. P. A História da Ciência Iluminando o Ensino de Visão. **Revista Ciência & Educação**, Bauru, v. 5(1), p.83-94, 1998.

BASSALO, J. M. F. **Crônicas da Física**. Belém: Editora da Universidade, 1990.

BASSO, Andreza Kátia. **O Átomo de Bohr no Nível Médio: uma análise sob o referencial lakatosiano**. 2004. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Educação Científica e Tecnológica, UFSC, Florianópolis, 2004.

BASSO, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q. O Átomo de Bohr em Livros Didáticos de Física: interagindo com autores. **Atas IV Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências**. 25 a 29 de novembro de 2003. Bauru – São Paulo.

BORGES, R. M. R. et al. Repensando a Natureza das Ciências. In: IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, Bauru, São Paulo, 2003. **Atas**.

BORGES, R. M. R. **A Natureza do Conhecimento Científico e a Educação em Ciência**. Dissertação (Mestrado em Educação) – Centro de Ciências da Educação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1991.

BRASIL, Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio**. Brasília: Ministério da Educação, 1999.

BRASIL, **Lei nº 9.394**, de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as Diretrizes e Bases da Educação Nacional. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Poder Executivo, Brasília, DF, v.134, n.248, p.27833-41, 23 de dezembro de 1996. Seção 1, Lei Darcy Ribeiro.

## Referência Bibliográfica

ABRANTES, Paulo. **Imagens de Natureza, Imagens de Ciência**. São Paulo: Papirus, 1998.

ACEVEDO, J. A.; VÁZQUEZ, A.; PAIXÃO, M. F.; ACEVEDO, P.; OLIVA J. M.; MANASSERO, M. A. Mitos da Didática das Ciências acerca dos Motivos para Incluir a Natureza da Ciência. **Ciência e Educação**, Bauru, v. 11, n. 1, p. 1-15, 2005.

ALFONSO-GOLDFARB, A. M. **Da Alquimia a Química: Um Estudo sobre a passagem do pensamento mágico-vitalista ao mecanicismo**. São Paulo: EDUSP/ Nova Stella, 1988. 248 p.

ALLCHIN, Douglas. Pseudohistory and Pseudoscience. **Science & Education**, v. 13, n. 3, p.179-195, 03 nov. 2004. Disponível em: <<http://www.tc.umn.edu/~allch001/papers/pseudo.pdf>>. Acesso em: 01 fev. 2008.

ARAÚJO, Sidney, M. A Teoria Ondulatória de Huygens em Livros Didáticos de Física para o Ensino Médio. In: XI Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Física, 2008, Curitiba, Paraná. **Atas do XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**, 2008.

ASTOLFI, Jean-Pierre; DEVELAY, Michel. **A didática das Ciências**. Campinas: Papirus, 2002.

ASTOLFI, J. P et al. **Mots-clés de la didactique des sciences**. Pratiques Pédagogiques. De Boeck & Larcier S.A. Bruxelles/Belgique, 1997.

BACHELARD, G. **A Formação do Espírito Científico**. Rio de Janeiro: Contraponto, 1999, 314p.

BACHELARD, G. **La Actividad Racionalista de la Física Contemporanea**. Buenos Aires: Editorial Siglo Veinte, 1975. 269p.

BAHIA, M. T. **O Empirismo nos Livros Didáticos: Um Convite ao Debate**. Florianópolis: UFSC. Pós Graduação em Ensino de Física. 2001 (Monografia de Especialização).

BALDINATO, José O.; PORTO, Paulo A.. Variações da História da Ciência no Ensino de Ciências. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 6., 2007, Florianópolis.

Um fato interessante, observado em uma pesquisa recente (MARTINS, 2007) é que, na visão de um grupo de educadores, a Óptica e o Eletromagnetismo se caracterizam como os temas mais difíceis de se contextualizar historicamente. A Mecânica é enfatizada como um conteúdo facilmente adaptável à abordagem histórica. Talvez, uma possível origem dessa interpretação, não explorada, sequer mencionada pela pesquisa, decorra da realidade didática desse conteúdo de ensino na física escolar. Com frequência, no contexto escolar, a Óptica é explorada em termos geométricos meramente, por oposição aos modelos da natureza da luz. As faces fenomenológicas desse campo do conhecimento são silenciadas em função de uma abordagem muitas vezes mecânica de formação de imagens em espelhos, lentes; formação de sombras e aplicações dos princípios gerais da óptica geométrica. Nesse sentido, a conceitualização da luz e da natureza das ondas, de um modo geral, se disfarça em meio às extensas e até, exaustivas, aplicações, meramente geométricas da óptica, ausentes da natureza fenomenológica desse campo de conhecimento.

A formação de conceitos na Óptica, na física escolar, de distintos níveis de ensino, apresenta falhas expressivas. Pesquisas expõem que os estudantes apresentam distorções conceituais sobre o papel da fonte e do meio na propagação das ondas mecânicas, além de confusões sobre a idéia de superposição de ondas (TARANTINO, 2007; WITTMANN et al, 1999). Enfim, desde conceitos elementares que caracterizam as ondas até noções que exigem um grau avançado de abstração, como é o caso da interferência e difração de ondas. Há também o fato de, no caso da Óptica Física, quase ausente da física escolar, em virtude do ‘tempo didático’ e das ‘demarcações textuais’ (a construção de um texto, de natureza didática ou não, impõe, inevitavelmente simplificações e omissões), mascarar-se, falsamente, um contexto fecundo em termos de conceitualização do real. O forte viés da natureza da ciência, presente no contexto histórico da óptica, se expressa, por exemplo, nas controvérsias científicas da natureza/conceito da luz, nas reconstruções históricas (continuidades e rupturas) da idéia do que, de fato, é uma onda; ou seja, na extensa história de conceitualização da noção de onda.

Portanto, essa imagem dos educadores, de que a transposição didática de episódios históricos da Mecânica demanda a superação de menos obstáculos é, certamente, um forte indício da realidade da física escolar. Indício da ênfase expressiva dada a esse conteúdo escolar na educação científica e a falta de espaço/tempo para outros temas

escolares. Essas constatações também refletem as raras problematizações sobre as reais *intencionalidades didáticas* que passam a ênfase dada a determinados conteúdos escolares, caracterizados como cruciais; a pouca sintonia entre o modelo educacional proposto pelos documentos oficiais (BRASIL,1999; 1996) (frente à demanda cultural, social...) para uma formação cultural crítica, entre as sugestões de pesquisas especializadas, e a sala de aula. Problemas que remetem novamente a uma questão crucial, recorrente: é imprescindível conciliar o conhecimento do conteúdo escolar com os conhecimentos pedagógicos (MARTINS, 2007).

Por outro lado, a tradição dos concursos vestibulares contribui expressivamente para a extensão dessa caricatura delineada sobre a disciplina de física no ensino médio. Esse modelo de avaliar favorece, conforme destaca ZANETIC (1999, p. 116):

“[...] a memorização de fórmulas e de solução de problemas-padrão "que os livros didáticos do segundo grau e os "cursinhos" resolvem abundantemente", desligados da realidade do aluno e, eu acrescentaria, da realidade da física enquanto uma área do conhecimento.”

É fato que, apesar dos esforços do Ministério da Educação, através dos PCNs e Diretrizes Curriculares, os exames vestibulares tem repercussão significativa na configuração dos currículos das escolas (MUENCHEN; AULER, 2007) e, por conseqüência, na textualização didática da física presente nos textos escolares. Uma interpretação crítica do vestibular como referencial para a física escolar, foi realizada por PACCA (1983). Apesar de concentrar-se em um estudo detalhado do exame de física do vestibular da FUVEST de 1981, a pesquisa evidencia resultados bastante atuais. Pouco se rompeu com esta tradição de avaliar os estudantes para o ingresso no nível superior de ensino. A natureza das questões propostas explicitam os conteúdos de física exigidos e a estratégia para resolução do problema. A expressiva ênfase à Mecânica fica evidente pelo número de questões dirigidas a este conteúdo: das vinte questões de física, nove foram dedicadas à Mecânica (quatro cinemática, quatro dinâmica e uma estática), quatro tratavam a Eletricidade, três abordavam a Óptica e Ondas, três Física Térmica e uma sobre Grandezas Físicas. Este trabalho expõe a realidade da física presente no contexto didático. O conteúdo mais expressivo da prova, ocupando quase metade das questões, refere-se ao tema Mecânica, que também consome grande parte das aulas de física.

evolução histórica do modelo de ondas, explorando o contexto de Huygens, Young e Fresnel, configura uma alternativa de inserção da face histórica da ciência na física escolar e, de outro modo, de um viés epistemológico junto à exposição dos conteúdos tradicionais. Contudo, em que medida a proposta é factível no contexto habitual do ensino de física? O apelo a uma história crítica da ciência, defendida na Tese, busca transformar os conceitos físicos estudados em um movimento de conceitualização do real, a partir da ênfase aos problemas presentes nos episódios históricos priorizados. Contudo, a extensão da proposta didática ao contexto escolar requer pensar na forma de avaliar possíveis progressos na conceitualização dos estudantes. E, por outro lado, verificar se este tipo de abordagem histórica tem papel expressivo na instrumentalização cognitiva do estudante, independente do conteúdo de ensino explorado.

estariam dispostos nesse padrão e, suas possíveis características de acordo com as variações em seu modelo da Tabela Periódica. O mais, segundo Strathern, é que esse padrão de periodicidade se revelou em um sonho, quando Mendeleiev se rende, diante da exaustão, a um sono profundo. Obviamente, não se trata de um sonho qualquer, mas um sonho de um cientista imerso em um contexto de pesquisa, um exemplo da racionalidade científica. Como Mendeleiev deixou lacunas, sua descoberta não foi absoluta e a versão final da Tabela Periódica contava também com as contribuições científicas de outros personagens históricos para se tornar a base da química moderna.

É importante ressaltar a contribuição individual de cada cientista, contudo, um cientista sozinho não faz ciência, a versão final da tabela periódica é resultado também de um coletivo de cientistas. Neste caso, o autor enfatiza que reconstruir historicamente o contexto da descoberta seria buscar qual 'inspiração' desencadeou a idéia científica em meio a um árduo trabalho intelectual de um indivíduo, cientista. Ou seja, resgatar o sujeito da pesquisa e suas 'inspirações' de natureza metafísica e até irracional (como um sonho) aos olhos de um positivista rígido, linear.

Por outro lado, desconstruímos o sentido, com frequência, dado ao contexto da descoberta, resignificando-o em termos da evolução histórica de um conceito, ou seja, interpretamos o contexto da descoberta como o contexto de conceitualização de um modelo científico. As contribuições científicas de um cientista são pertinentes, mas a evolução de um conceito pode inserir o estudante em um processo de conceitualização do real. A ênfase didática à conceitualização científica pode permitir um aprofundamento conceitual e uma aproximação ao fenômeno estudado, além de apresentar ao estudante uma alternativa eficaz de encarar a própria construção do saber nas aulas de física, por exemplo.

Nesse sentido que a presente pesquisa de tese tem continuidade eminente. A extensão dos modelos de Young e Fresnel ao contexto didático expõe, de modo mais expressivo, a conceitualização da noção de onda na ciência. Portanto, caracteriza uma possível continuidade do Trabalho.

Por outro lado, uma intervenção didática da estratégia proposta na Tese exploraria os reais potenciais didáticos da estratégia delineada. A intervenção didática, junto a estudantes do ensino médio, pode evidenciar impressões efetivas de uma seqüência de ensino baseada em um exemplo histórico de conceitualização científica. A abordagem da

Confrontando estes resultados com os exames vestibulares de outros estados, o ritual expresso é bastante semelhante.

A estratégia para resolver a prova, por outro lado, traduz uma visão parcial do ensino de física que, valoriza a memorização de fórmulas e a solução de problemas-padrão desvinculados da realidade do aprendiz e como acrescenta ZANETIC (1989, p. 115) 'da realidade da física enquanto uma área do conhecimento'. Na seqüência, explicitaremos a *intencionalidade didática*, defendida pela presente pesquisa de Tese, para a abordagem histórica de Huygens (Young e Fresnel) na física escolar.

## **1.2 Transposição Didática da abordagem histórica: desafios...**

O relativo consenso, entre educadores e pesquisadores, sobre os possíveis potenciais didáticos da abordagem de episódios históricos na ciência escolar, muitas vezes oculta que há, na verdade, um contínuo esforço em superar obstáculos expressivos (brevemente referenciados na seção anterior) inerentes ao movimento de transposição didática desse saber. Isso porque, os documentos históricos, produzidos pelos historiadores, do mesmo modo que os textos originais dos cientistas, não podem, de forma ingênua, ausentes de uma intencionalidade e preparação didática, simplesmente lançarem-se na ciência escolar. (FORATTO, 2009, p.26) Logo, a contextualização histórica encontra desafios de natureza distinta quando se pensa sua transposição didática para a educação científica. A inexpressiva presença de materiais didáticos com este fim, do mesmo modo que a ausência de pesquisas sobre os reais avanços que a abordagem histórica proporciona na aprendizagem dos estudantes (PACCA, 1983), em qualquer nível de ensino, traduzem, por sua vez, uma nítida realidade: a de que este tema está longe de compor um debate estéril. Por outro lado, esse quadro sugere, inevitavelmente, a necessidade de desvelar/pensar sobre os obstáculos/problemas que se caracterizam contornáveis e/ou superáveis no movimento de transposição dos fatos históricos para o contexto escolar. Um problema, ou como categoriza FORATO (2009), dificuldades de natureza estrutural, que surge (m) de imediato, se refere ao recorte do episódio histórico, ou nos termos expressos por outras pesquisas, a seleção do conteúdo histórico. Como demarcar um caso histórico como significativo didaticamente? Ou, no contexto de um

episódio científico, delimitar, de modo neutro ou parcial, os fatos históricos suscetíveis à transposição didática? Por outro lado, é possível construir uma abordagem histórica (ao descontextualizar, dessincronizar e despersonalizar) de modo a explorar os objetivos de natureza educacional sem, contudo, distorcer a história da ciência a ponto de apresentar uma pseudo ou quasi-história, opondo-se às sugestões da historiografia? Como conciliar objetivos de gêneros pedagógicos e historiográficos sem causar prejuízos a esses campos do saber? Que abordagem priorizar ao acomodar a história da ciência no ensino das ciências: como um conteúdo escolar, isolado dos conceitos científicos? Ou uma versão que contextualiza os conceitos científicos, como se explora em uma estratégia didática? Como conciliar, ao mesmo tempo, os objetivos de natureza histórica/epistemológica e os objetivos de natureza conceitual?

Com certeza a transposição didática dos temas históricos não implica em escolhas simples, pelo contrário, muitas vezes as opções repercutirão negativamente sobre um ou outro sentido, ou seja, em alguns casos as perdas podem ser inevitáveis. Por exemplo, ao recortar ou demarcar um episódio histórico, tematicamente e temporalmente, para transpô-lo ao contexto escolar, o tempo didático fatalmente exige simplificações. Essas simplificações disfarçam, com frequência, omissões/equívocos históricos e/ou conceituais, ocultando contextos, personagens e fatos. No limite, contribuindo para as tão criticadas distorções da realidade histórica, deformações da natureza da ciência e crenças fantasiosas sobre as criações científicas.

É possível que dois sentimentos contrários se manifestem diante dos conflitos e obstáculos explicitados, inércia/imobilismo ou inquietação/movimento. Contudo, apesar de os obstáculos desvelados parecerem intransponíveis em um primeiro momento, na verdade eles disfarçam uma questão crucial que contribui para, senão superar, contornar os conflitos explicitados na transposição didática dos episódios históricos da ciência: a saber, a intencionalidade didática da abordagem histórica. Na seção seguinte discorreremos justamente sobre a *intencionalidade didática* delineada para abordar, na física escolar, a conceitualização histórica de Ondas no contexto do Tratado da luz de Huygens (HUYGENS, 1986) e, uma possível extensão para os Tratados de Young (YOUNG, 1900) e Fresnel (FRESNEL, 1900).

se o estudante for confrontado com contextos que apresentem potencial problematizador. Contextos que desafiem/estimulem o estudante a buscar estratégias para interpretar e resolver problemas ou conflitos conceituais.

No estudo do caso Huygens em textos didáticos foi possível evidenciar uma verdadeira transposição didática do modelo proposto por este cientista para as ondas. A versão presente na física escolar se assemelha, em geral, ao modelo de ondas resignificado por Fresnel, que incorpora a superposição de ondas, contribuição genuína de Young.

A transposição didática desse tema escolar oculta o contexto de conceitualização científica, pois silencia a ‘evolução’ (termo interpretado como uma sucessão de acontecimentos) histórica do modelo de ondas. Um modelo científico é resultado de um processo histórico, fruto da construção coletiva de conhecimento. Nesse sentido, resgatar a evolução histórica de um conceito na ciência, explorando as contribuições, significações e resignificações conceituais, delineadas por cientistas de várias épocas, realidades temporais, até a versão conceitual moderna, possibilita uma recorrência histórica ao contexto da descoberta, de conceitualização científica.

É comum pensar o contexto da descoberta em termos de um cientista isolado, ou seja, como a história da contribuição científica de um cientista unicamente. Por exemplo, como explora Paul Strathern em sua obra ‘O Sonho de Mendeleiev’ (2002). O texto apresenta a trajetória científica de Mendeleiev. Contudo, expõe uma visão humana da contribuição científica desse personagem histórico. Ou seja, depois de um árduo e contínuo trabalho intelectual, que tinha como ‘gênese’, ou ‘problema de pesquisa’, a organização dos elementos químicos, se revela em um sonho a idéia que ele exaustivamente buscava, a Tabela Periódica: “[...] vi num sonho uma tabela em que todos os elementos se encaixavam como requerido. Ao despertar, escrevi-a imediatamente numa folha de papel.(STRATHERN, 2002, p. 246)”

Mendeleiev sugeriu que lendo a tabela a partir da coluna da esquerda, as colunas verticais listariam os elementos na ordem ascendente de seus pesos atômicos. E as fileiras horizontais listariam os elementos em grupos com propriedades gradativas semelhantes. Contudo, alguns elementos químicos não se encaixavam nesse padrão delineado. Então, nesses casos, Mendeleiev sugeriu que os pesos atômicos estivessem incorretos ou, de forma não menos ousada, na presença de anomalias em sua Tabela Periódica simplesmente deixava uma lacuna. Na verdade, ele previu a existência de outros elementos que

que as teorias somam-se umas às outras sem respeitar os distintos contextos (temporal e conceitual) em que têm origem, um equívoco de ordem epistemológica que incide sobre a natureza da ciência.

Evidentemente, se tem clareza que uma versão histórica que articule as inúmeras faces da ciência é intangível. Assim, torna-se uma defesa necessária, para não dizer forçosa, propor *estudos de caso* para a história da ciência no contexto educativo. Delineada com o objetivo de clarificar os problemas-gênese da ciência, retratar as faces das controvérsias científicas para, além de propor a ciência como uma atividade humana, como um processo histórico, apresentá-la como um exemplo de conceitualização do real.

Assim como na transposição didática, em uma pesquisa de Tese ou estudo acadêmico de outro gênero, as demarcações temporais e espaciais são inevitáveis. Conseqüentemente, essas características repercutem em escolhas delicadas e, de algum modo, em perdas. Nossa escolha foi aprofundar teoricamente os potenciais didáticos do contexto histórico de Huygens para a física escolar. Esgotar o tema seria intangível, tendo em vista as possíveis faces para a abordagem histórica no contexto didático. Nossa idéia foi sempre interpretar a história da ciência à luz da didática da ciência, pois a versão histórica buscada se dirige à realidade escolar. Portanto, não se tratava de interpretar historicamente os fatos científicos segundo a perspectiva dos historiados, por exemplo. Contudo, também não ocultamos, em nossa análise, as críticas da historiografia da ciência às distorções históricas presentes na educação científica. Buscamos, assim, contrabalançar as perdas decorrentes da transposição didática dos episódios históricos e os ‘ideais’ historiográficos, sem nos rendermos ao preciosismo histórico presente na historiografia da ciência. Reconhecemos, assim, distorções históricas no caso de Huygens, sua possível intencionalidade didática, e então julgamos insuficiente os propósitos didáticos tradicionais para o contexto da ondulatória na alfabetização científica.

O tempo didático tem historicamente justificado a relativa ausência da história da ciência (dos episódios históricos) na educação científica ou as versões distorcidas dos episódios históricos, por vezes presentes no contexto educativo. O fato de se ocultar a contextualização histórica muitas vezes expressa os obstáculos presentes na transposição didática de uma ciência produzida ao longo de três séculos que deve ser descrita em três anos. A descontextualização, dessincretização e despersonalização do saber escolar se apóiam nestas restrições temporais. Por outro lado, uma aprendizagem significativa só é possível

### **1.3 O caso histórico de Huygens, Young e Fresnel: *intencionalidade didática* delineada para sua transposição à física escolar**

#### **Criação de conceitos na ciência: possível extensão para a conceitualização na física escolar**

A criação de conceitos na ciência pode ser explorada em termos cognitivos, ou seja, detalhar quais as estratégias de raciocínio são experimentadas pelo cientista no contexto de criação científica junto a um episódio histórico ou, no contexto de evolução histórica de um conceito. Um tema crucial no campo da epistemologia da ciência<sup>2</sup>, central nas questões filosóficas que buscam delinear com mais clareza o problema ‘o que é ciência afinal?’, se refere às faces ‘racionalidade’ *versus* ‘irracionalidade’; ‘objetivismo’ *versus* ‘subjetivismo/relativismo’ presentes ou não na escolha de teorias rivais na ciência (NERSESSIAN, 2008). Contudo, historicamente, esse debate tem se mostrado relativamente estéril, pela ausência de consenso na análise filosófica e, porque de algum modo, acabou mascarando um tema não menos crucial no contexto de descoberta científica: os modelos de raciocínio ou os esquemas (cognitivos) que os cientistas mobilizam durante as inovações e criações científicas. Explorar as estratégias de pensamento dos cientistas, por exemplo, junto aos episódios científicos que compõe a evolução histórica de um conceito, como o de ondas, demarcado no estudo de caso explorado na presente Tese de Doutorado, apresenta contribuições ricas para pensar a cognição humana e, por sua vez, a conceitualização no contexto da física escolar.

A ‘abordagem histórico-cognitiva’, conforme categorizada por NERSESSIAN (2008), se aproxima da idéia que propomos para o papel da história da ciência na educação científica. O exemplar histórico explorado pela autora é a construção do conceito de campo por Maxwell. Neste contexto histórico, ela delimita os modelos de raciocínio mobilizados por este cientista na resignificação conceitual da idéia de campo, ou seja, os mecanismos cognitivos que contribuíram para a inovação conceitual/científica. Propõe como problema de

---

<sup>2</sup> Interesse explícito também em pesquisas dirigidas ao ensino de ciências, principalmente quando se pensa a incursão didática da natureza da ciência.

referência em seus estudos ‘como os modelos mentais são criados, manipulados, avaliados e adaptados nos processos de resolução de problemas na ciência?’. Neste estudo de caso, evidenciou que a resignificação do conceito de campo por Maxwell em 1861-62 se delineou a partir do uso de analogias, experimentos mentais e representações imagéticas. É possível observar que se tratam de certos ‘esquemas’ de pensamento/cognitivos mobilizados também em outros contextos históricos de criação científica.

No caso de Huygens, esses esquemas também são acionados, por exemplo, quando este cientista explora a analogia entre a luz e o som. No que se refere à forma de propagação da luz (HUYGENS, 1986, p. 18), imaginada como uma onda mecânica, é explicada por analogia às ondas sonoras. Huygens enfatiza que o ar (meio que propaga o som), em função de sua natureza, pode ser comprimido com facilidade e, à medida que reduz seu volume apresenta uma tendência a expandir-se. O efeito combinado de sucessivas compressões e rarefações são responsáveis por transferir energia entre as moléculas do ar, produzindo ondas longitudinais. O significado físico de elasticidade, atribuído ao éter (meio em que a luz se propaga), no modelo de ondas mecânicas proposto por Huygens, sugere semelhança com a interpretação de elasticidade do ar, presente no contexto de propagação das ondas sonoras. Em termos gerais, o sistema, definido pelo ar, em equilíbrio, reage diante de uma perturbação, ao ser comprimido e, opõe-se à variação de pressão (flutuação de densidade) retornando ao estado inicial, caracterizado pelo equilíbrio de pressão. Na interpretação de Huygens, a elasticidade do éter e o mecanismo de restauração desse meio, para explicar a propagação das ondas mecânicas de luz, é semelhante à conferida ao ar (HUYGENS, 1986, p. 18).

Huygens expõe uma forma de raciocínio que contribui para suas formulações sobre as frentes de onda, que inclusive são resignificadas por Young-Fresnel para a interpretação dos fenômenos de interferência e difração. Expõe também um modelo para o mecanismo de propagação de uma onda mecânica, sistematizado por analogia a modelos mecânicos relativamente simples, como o pêndulo de Newton ou choques/colisões mecânicas comuns (HUYGENS, 1986, p. 18). No caso da analogia entre a propagação do som e da luz, deve-se ter clareza que, na época, a luz era interpretada como uma onda mecânica e não eletromagnética, e em termos de sua vibração/propagação era imaginada por Huygens como longitudinal. A natureza mecânica da luz foi resignificado por Maxwell séculos mais tarde, entre 1861-62, enquanto a idéia de ondas

novamente uma história ‘fabulosa’, com pouca correspondência ou semelhança à história ‘real’ do fato científico.

O educador, inspirado pelos textos didáticos que priorizam as sínteses científicas, oculta a transição conceitual que envolve abstrações na conceitualização científica. Característica que poderia se mostrar muito útil cognitivamente para os alunos. Esta intencionalidade didática para a história da ciência não nega a história como um elemento cultural importante para a formação dos alunos, ou a natureza da ciência como pertinente para desmistificar equívocos, ou versões errôneas do que é ciência e de como procede o trabalho do cientista. Ao contrário, ao acompanhar o mecanismo de abstração dos modelos científicos, o trabalho do cientista e o contexto histórico de sua obra são explorados no tempo. Portanto, não se nega essas categorias da natureza e construção da ciência. Contudo, elas aparecem espontaneamente ao se delinear historicamente o movimento de conceitualização científica.

Quando analisamos, no Capítulo 3 o tipo de abordagem histórica em textos escolares, no contexto da natureza da luz, um traço comum presente nos livros didáticos explorados, foi a ausência de propostas de atividades que envolvessem os episódios históricos apresentados. Característica que parece sugerir, em princípio, a falta de clareza quanto aos objetivos didáticos que se busca com a história da ciência no contexto educativo, em particular no ensino de física. A dimensão histórica priorizada nos manuais escolares propõe possibilitar uma imagem mais crítica da natureza da ciência? Pretendem expor os episódios científicos em uma perspectiva informativa, em contrapartida à idéia formativa? Buscam clarificar os conceitos científicos?

Cabe destacar também a inexpressiva interlocução entre os trechos históricos e os conteúdos de ensino, o que representa um forte obstáculo à real incursão de discussões históricas nas aulas de física. Além disso, o gênero e a extensão histórica da natureza da luz, presentes nos livros didáticos, remetem à questões mais específicas da história da natureza da luz. O gênero histórico comum no contexto educativo e, de fato, presente entre os manuais escolares examinados, que distorce, simplifica, resignifica e reconstrói os fatos e episódios científicos pode repercutir em equívocos de distintas ordens. No exemplo da natureza da luz, uma apreciação atemporal das contribuições de Huygens e Newton pode conduzir à idéia de que esses cientistas são precursores da interpretação atual da luz, um equívoco de ordem histórica/conceitual. Por outro lado, esta idéia imprime, necessariamente, uma visão cumulativa da evolução histórica do conhecimento. Ou seja, pressupõe

durante o processo de conceitualização reconstrói-se unicamente conceitos. Na verdade, remodela-se a visão de mundo, a forma de interpretar problemas, o modelo de raciocínio e métodos de análise.

A história da ciência é apreciada por pesquisadores por seu valor inerente como expressão da cultura, do mesmo modo que a literatura. Poucos se atrevem a questionar o papel da literatura no campo da disciplina de língua portuguesa. Porém, parece que este discurso tem tido uma incursão positiva na literatura da área. Contudo, a ausência da história da ciência na física escolar denuncia uma realidade muito distante da contextualização histórica. Não julgamos esse argumento como frágil, mas talvez insuficiente para fortalecer a defesa da abordagem didática da história da ciência. Para a presente pesquisa, a história da ciência apresenta potencial para expor a conceitualização científica que, explicita modelos em estados mais incipientes à noções abstratas. A história da ciência apresenta potenciais que contribuem para o aprendizado da física.

Consideramos que ao sustentar a história da ciência como uma estratégia potencial para o ensino de conceitos científicos, não estamos negando a dimensão cultural dos episódios históricos (científicos), nem depreciando o papel da história para desmistificar idéias deformadas da ciência ou do trabalho dos cientistas. Ao contrário, sugerimos que a incursão da história da ciência, no contexto educativo, se explorada como uma forma de explicitar o movimento de conceitualização científica, resgata, do mesmo modo que a ‘evolução’<sup>41</sup> conceitual das sínteses científicas, a própria natureza da ciência e, por conseguinte, sua dimensão cultural, uma vez que os episódios históricos são analisados junto ao seu contexto temporal.

A defesa, pura e simples, da história da ciência como um elemento motivador na física escolar, do mesmo modo que a defesa da história da ciência como cultura, reduz, em nosso entendimento os potenciais da abordagem histórica na educação científica. Por outro lado, tratá-la nesta perspectiva ‘motivadora’, ou por um viés que a valoriza por sua dimensão cultural meramente, pode surtir o efeito contrário ao que se espera. Na escolha de qual história da ciência se deve levar para o ensino de física, para ‘estimular’ o aluno, pode haver uma inclinação em definir episódios cruciais/caricatos, reforçando

---

<sup>41</sup> Evolução entende-se o movimento de modelos científicos mais incipientes para modelos de natureza mais abstrata, processo caracterizado, nestes termos, por rupturas e não um contínuo acúmulo de idéias.

transversais surge com os trabalhos de Young (1802) e Fresnel (1819)<sup>3</sup>. No entanto, apesar dessa interpretação parcial, o Tratado de Huygens expõe contribuições significativas para a conceitualização de ondas de um modo geral, sem desconsiderar também que suas idéias despertam a historicamente a discussão sobre a natureza da luz e a noção de frentes de ondas.

A ‘descoberta científica’ absolutamente não é uma criação que surge no vazio. A recorrência contínua a conceitos conhecidos é um esquema comum, com frequência usado na conceitualização, seja como uma forma de negação ao que existe, como no exemplo de Young (YOUNG, 1900), que em seu artigo “On the Theory of Light and Colours. The Bakerian Lecture” de 1801, em um tom tímido, com gênese em uma defesa à idéias do “Óptica” de Newton, se transforma em confronto quando expõe sua idéia original de superposição de ondas. Ou, por outro lado, para evidenciar semelhanças entre modelos, como quando Young recorre ao recurso analógico entre o mecanismo de audição, conhecido na época, para explorar o mecanismo da visão. No Escólio da Hipótese III desse artigo de 1801, Young expõe seu modelo sobre as cores. Young imaginava que na retina substâncias eram capazes de captar determinada frequência de vibração e entrar em ressonância com a ondulação do éter de determinada frequência, por analogia ao mecanismo de audição. No contexto científico atual sabe-se que, de fato, as células sensíveis à luz estão na retina e através de um processo fotoquímico, os fotorreceptores transformam (“traduzem”) as frequências de vibração recebidas, possibilitando a sensação da visão e das cores. Ao contrário do que imaginava Young, essas substâncias, células fotossensíveis, não vibram em fase com as ondulações recebidas, como no caso do som no tímpano.

Como é possível observar, a partir da breve análise do contexto histórico da luz, as práticas cognitivas dos cientistas, para sondar e compreender a natureza das ondas, conduzem à uma compreensão mais profunda da capacidade cognitiva humana, contribuindo para pensar a ciência cognitiva e, particularmente, a conceitualização na física escolar.

A história das ciências fornece os registros dos mecanismos de raciocínio presentes nas práticas de investigação através dos quais novos conceitos científicos surgiram. Do mesmo modo, localiza a criação de conceitos dentro de situações-problema junto ao seu contexto histórico-

---

<sup>3</sup> Os Tratados da luz de Huygens, Young, Fresnel e Arago foram organizados por Henry Crew em um compêndio “Scientific Memoirs: the wave theory of light” em 1900.

cultural. Além de expressar a ‘descoberta científica’ como fruto do uso adequado de capacidades básicas do aparato cognitivo humano.

Como destaca NERSESSIAN (2008) a mudança conceitual é uma das dimensões mais criativas e marcantes da prática científica. Inovações conceituais, como a noção de gene de Mendel, o conceito de gravidade de Newton, a noção de campo em Maxwell, a reinterpretção do espaço-tempo por Einstein, do mesmo modo que a imagem de DNA de Watson e Crick marcam transformações profundas na nossa compreensão da natureza, caracterizando-se como revoluções científicas. Assim, explorar a mudança conceitual é essencial para a compreensão da criatividade científica. E como defendemos em nossa pesquisa, o processo de conceitualização do real na física escolar.

Nesse sentido, é possível começar a perceber que o produto final da ciência, conforme se apresenta no ensino, não dá conta de explorar esses mecanismos cognitivos. Do mesmo modo não apresenta potenciais que contribuam significativamente para a conceitualização do estudante, uma vez que se trata de um processo gradual e contínuo; que exige estratégias de raciocínio; que surge diante de problemas e situação que demandam enfrentamentos.

No caso do estudo das ondas na física escolar, os estudantes apresentam visões equivocadas sobre conceitos elementares desse campo do saber. A ausência de clareza sobre o papel do meio e da fonte na propagação de ondas mecânicas, lacunas na compreensão da superposição de ondas, conforme exploraremos detalhadamente na presente pesquisa de Tese, explicitam fragilidades da abordagem tradicional dos conceitos científicos.

Por outro lado, na abordagem escolar tradicional, oculta-se que há, na ciência, recorrência constante a esquemas de pensamento durante a conceitualização do real. Assim, acaba-se imprimindo a velha idéia do cientista isolado, que de modo intempestivo/súbito se depara com a verdade científica absoluta. Ou seja, uma idéia iluminadora surge em um vazio intelectual conduzindo à descoberta científica.

Contudo, como enfatiza VERGNAUD (1990), a conceitualização do real, de um modo geral, é um movimento de natureza gradual e contínuo, não surge repentinamente sem um preparo intelectual. As sínteses científicas, priorizadas na física escolar, transmitem a imagem de que a conceitualização do real se caracteriza repentina, súbita, e ainda absoluta, fechada, ou seja, expressa-se a idéia de que o conceito se cria em um contexto/situação crucial, único, tornando-se a verdade absoluta. Essas imagens repercutem direta ou

A intencionalidade didática da abordagem histórica do contexto de Huygens foi apresentar a conceitualização de ondas. Naturalmente, ao acompanhar a evolução histórica de um conceito, os estudantes acessam diretamente faces da natureza da ciência. No entanto, a história da ciência não é vista como mais um conteúdo de ensino. Visão que, muitas vezes, dá origem às imagens deformadas da ciência, distorções como as presentes nos textos didáticos analisados no Capítulo 4. A história da ciência é interpretada como uma abordagem inerente aos conceitos científicos, e não desvinculada deles. Também buscamos pensar sobre como a história da ciência poderia contribuir para a conceitualização dos estudantes na física escolar. Nesse sentido, recorreremos brevemente aos estudos de Vergnaud. Isso porque sua Teoria dos Campos Conceituais explora duas faces da conceitualização pouco explicitadas na realidade escolar: o tempo e o contexto. O tempo de aprendizagem (conceitualização) dos estudantes se opõe ao tempo lógico de exposição dos conteúdos escolares. Por outro lado, os conceitos científicos se significam junto a contextos ou situações, portanto, os conceitos científicos não se reduzem à definições meramente. A conceitualização do real, para Vergnaud, é um movimento naturalmente gradativo, que surge em contextos significativos. Logo, a reconstrução didática proposta na Tese, para a evolução histórica do conceito de onda, no caso demarcado pelo contexto de Huygens, sugere exatamente essa idéia.

Uma possível continuidade da pesquisa é explorar, didaticamente, com mais expressividade, os Tratados de Young e Fresnel. Nestes termos, agregar, ao contexto histórico de Huygens, os tratados científicos de Young e Fresnel, na física escolar, explicitaria um espectro mais expressivo da evolução histórica do conceito de onda.

O estudo de caso histórico, ou de episódios históricos demarcados temporalmente, possibilita explorar os problemas e ‘situações’ nas quais os cientistas criam e significam, conceituam, modelos sobre o real. Do mesmo modo, reconstrói a visão de que a conceitualização dá origem a um produto estanque, absoluto, exemplificando a natureza contínua de resignificação do real, ou seja, expressa a conceitualização como um movimento em construção. O estudante se confronta com problemas científicos, equívocos e obstáculos conceituais e de métodos. Não se depara apenas com a evolução histórica de um conceito, mas com a metodologia científica também. Rompe, do mesmo modo, com a velha idéia de mudança conceitual absoluta, que não é verdadeira. Nem, tampouco, a crença que

mecânicos unicamente, objetos em colisões não apresentam interferência como ondas.

A descaracterização histórica do ‘Princípio de Huygens’ suprime a discussão sobre o papel do meio na propagação de uma onda mecânica, tema presente com ênfase em seu ‘Tratado da Luz’ originalmente proposto e, central nas dificuldades dos estudantes em termos da ondulatória. Nesse sentido, a intenção didática priorizada pelos textos que reinterpretam Huygens, analisados no Capítulo 4, apresenta-se insuficiente, em termos conceituais. Tendo em vista uma abordagem didática significativa das ondas mecânicas. Além das distorções de natureza histórica que, com frequência, repercutem em visões equivocadas da ciência ou da realidade histórica.

A presença de idéias errôneas dos fenômenos ondulatórios entre estudantes de distintos níveis de ensino, evidencia a pertinência de explorar este tema com mais expressividade no contexto educativo. Justificando também a importância de buscar abordagens sensíveis às dificuldades dos estudantes e que superem a exposição estanque desses conceitos físicos.

O estudo didático de episódios históricos que exemplificam o movimento de conceitualização do real, na ciência, pode contribuir para que os estudantes mergulhem nas perguntas científicas. Com base nisso, os desafios históricos, emergem como problemas de ensino, pertinentes para evidenciar, por exemplo, as primeiras sementes do modelo atual de ondas mecânicas na interpretação de Huygens. Os conceitos físicos atuais, por sua vez, não configuram a gênese da estratégia de ensino, eles surgem com a busca por respostas aos questionamentos presentes nos modelos históricos tratados. Logo, o contexto de Huygens não pode ser desconsiderado no ensino de física.

Defende-se que, na contextualização histórica, o estudante pode se deparar com as dificuldades dos cientistas, com conceitos incipientes, com idéias vagas que, mesmo equivocadas, revistas e/ou resignificadas, desempenham papel fundamental na conceitualização atual. Isso porque incitaram perguntas e desafios científicos, evidenciando que os modelos na ciência não nascem prontos e acabados. Assim, o estudante mergulha em contextos históricos que se caracterizam significativos, por se distanciar dos conteúdos prontos frequentemente presentes no ensino de ciências. Situações didáticas que permitem ao estudante suscitar perguntas e evidenciar as condições epistemológicas de criação e desenvolvimento dos modelos da ciência.

indiretamente em uma visão distorcida da aprendizagem. A imagem de que o estudante também sem razões firmes, problemas-gênese, contexto e situações significativas, simplesmente descobre a verdade científica, a verdade escolar.

Episódios históricos da ciência, como a evolução histórica do conceito de ondas, exemplificam um processo de conceitualização do real. Nesse sentido, possibilitam ao estudante observar os instrumentos de pensamento que são acionados pelos cientistas durante a construção de um conceito. Ou seja, os ‘esquemas’ em ação (em movimento) que conduzem os cientistas às criações científicas. Com base nisso, a presente pesquisa de Tese busca explorar o contexto histórico de Huygens como uma estratégia para o ensino dos conceitos ondulatórios, do mesmo modo que contribuir para o estudante acompanhar a evolução temporal do conceito de ondas, ou seja, a conceitualização (histórica) de ondas. Para esse fim, demarcamos como fato histórico o contexto de Huygens.

A evolução histórica contada no presente trabalho expõe a significação e resignificação do conceito de ondas sem ocultar aspectos da ‘natureza da ciência’. A começar pelo contexto mecanicista no qual nasce as idéias de Huygens, fortemente vinculado a uma imagem de natureza. Desmistificando, assim, o referencial de um cientista puro, neutro, rompendo com a idéia natural que nega a realidade histórico-cultural na qual se insere o cientista. Desconstruindo também a ilusão de que um cientista sozinho, isolado, é capaz de construir um modelo científico crucial (a descoberta científica crucial), sem as contribuições de seus contemporâneos/sucedores, ou mesmo a crença que uma idéia nasce e germina, sem falhas ou lacunas, em uma época demarcada, contrapondo-se a idéia de um movimento gradual, com continuidades e rupturas, idas e vindas, lento. Como no caso da evolução histórica do conceito de ondas que, de Huygens a Fresnel, apresenta um extenso curso histórico. Huygens sistematiza um modelo ondulatório da luz com ‘equivocos’/lacunas conceituais. Contudo, um modelo de ondas mecânicas que, por analogia ao som, contribui satisfatoriamente para pensar os mecanismos de propagação de uma onda mecânica e o mecanismo de equilíbrio do meio, por exemplo; além de, em termos científicos, ter se caracterizado como o modelo no qual Young e Fresnel se debruçaram para delinear suas idéias.

O caso de Huygens (1986) também se constitui em um contra-exemplo à versão cumulativa ou de evolução contínua do conhecimento. Huygens pensa nas ondas de luz como vibrações mecânicas, que se

transmitem por forças de contato entre as partículas de éter. Em seu modelo de onda não está presente a idéia de superposição. As ondas são de natureza mecânica e longitudinais. Personagens científicos contemporâneos como Young e Fresnel, no século XIX, reconstróem o conceito de ondas proposto por Huygens agregando significações expressivas para delinear um modelo ondulatório mais adequado, incorporando a idéia de superposição de ondas junto a elementos de periodicidade como: comprimento de onda, frequência, amplitude e ainda a interpretação de ondas transversais (CREW, 1900).

Essa resignificação do modelo de Huygens, de fato é uma ruptura conceitual na evolução histórica do conceito de onda. Na verdade, expressa a dialética continuidade e ruptura, uma vez que as frentes de onda do modelo geométrico de Huygens são reconstruídas por Young-Fresnel. Os conhecimentos novos de algum modo se ancoram ao velhos/antigos dando origem a um saber novo, híbrido, em certo sentido, já que carrega formulações antigas e novas.

A *intencionalidade didática* da abordagem histórica, na presente pesquisa, busca colocar o estudante diante das situações históricas de conceitualização científica. Diante dos contextos que propiciaram a significação e resignificação do conceito de onda. As noções científicas não têm sentido se pensadas como idéias isoladas de uma fenomenologia. Os conceitos (científicos ou não) se significam em situações/contextos que compõem um quadro de enfrentamento, caracterizado por problemas e um contexto de pesquisa que exige superação. Busca-se que a história da ciência exponha as situações de enfrentamento dos cientistas para os estudantes. Uma vez que o conhecimento histórico não pode ser apresentado como a descrição de um fato meramente. Contrariamente, tem que estimular o pensar do aluno, a crítica, o processo cognitivo de conceitualização do estudante também.

Por isso que, a estratégia proposta para explorar o contexto histórico das ondas, é delineada com perguntas, problematizações históricas e questões que surgiram das dificuldades que os estudantes apresentam sobre o mecanismo de propagação de ondas e sobre a idéia de superposição de ondas observados em pesquisas sobre os modelos mentais (TARANTINO, 2007; WITTMANN et al, 1999).

A abordagem didática tradicional expõe a síntese científica, em uma seqüência lógica, descontextualizada e linear. Em contrapartida, referenciais da psicologia cognitiva reforçam que o processo de conceitualização do real, e da ciência escolar em particular, requer muito

possibilita uma significativa interpretação do mecanismo de restauração de equilíbrio do meio. Pertinente para explorar ondas mecânicas em um sentido atual. Contudo, supor essa extensão de modo irrestrito pode, por outro lado, criar uma visão errônea do que ocorre quando duas ondas se cruzam. Como evidenciado nas pesquisas exploradas no Capítulo 4, com frequência, os estudantes priorizam um modelo mecânico equivocado para construir o raciocínio das ondas:

- um impulso maior (em uma corda) implica em uma velocidade maior da onda. Negam, neste sentido, que a velocidade das ondas mecânica depende somente das propriedades elásticas do meio;
- Objetos mais leves (menor massa) são lançados mais facilmente atingindo velocidades maiores. Pulsos ‘menores’ – menor amplitude, atingem velocidades de propagação maiores. Contudo, a forma do pulso e a maneira de criação da onda não afetam a velocidade da onda.
- O centro de massa de um objeto é considerado quando se descreve seu movimento (trajetória). Somente o pico da onda (ou o ponto de máximo deslocamento) é considerado quando se descreve a superposição. No entanto é necessário considerar a natureza (forma) das ondas para descrever suas propriedades no caso da superposição de ondas.
- Quando objetos colidem entre si seus movimentos mudam. Ondas que se cruzam, ‘colidem’, se cancelam. Em contraste à idéia científica de que ondas se cruzam sem efeitos permanentes em suas características.

Essas distorções presentes nos modelos mentais dos estudantes podem ser problematizadas didaticamente junto à contextualização histórica do modelo ondulatório proposto por Huygens, conforme explorado no presente trabalho de Tese. Neste sentido que enfatizamos os potenciais educativos deste episódio histórico, por tornar possível a incursão de conceitos físicos pertinentes à uma interpretação adequada de ondas mecânicas. O estudo crítico do modelo ondulatório de Huygens (com forte viés mecânico), que se assemelha à propagação das ondas sonoras, possibilita abordar didaticamente o papel da fonte e do meio na propagação das ondas mecânicas e o mecanismo de restauração de equilíbrio do meio. Por outro lado, a ausência de idéias como a superposição de ondas em Huygens pode expor ao aprendiz a insuficiência de traduzir um modelo de ondas em termos de modelos

e dessincretizar, de modo dogmático, os conceitos científicos, oculta o contexto de conceitualização histórica dos modelos científicos (CHEVALARD, 2005).

No entanto, descaracterizar a ciência e, em muitos casos, distorcer os episódios históricos, pode ser a imagem de uma realidade cuja matriz não é puramente ideológica ou, por outro lado, ingênua, da ciência, mas, em contrapartida, traço dos obstáculos inerentes à transposição didática. Portanto, caracteriza-se um mito imaginar que a abordagem escolar, por vezes, distorcida e, até equivocada, da natureza da ciência ou, da conceitualização na ciência, seja fruto unicamente das falhas, ou mesmo ausência, desses conteúdos de ensino, na formação do professor. Há uma tradição escolar, com concepções sobre 'o que' e 'como' ensinar. Portanto, romper com essa tradição de transposição e contrato didático requer superar desafios que não se encerram em dificuldades inerentes aos temas (históricos) de ensino.

Na abordagem do 'Princípio de Huygens', a intencionalidade didática freqüente, busca apresentar mais rapidamente uma formulação atual do Princípio, que é interpretado como um modelo geométrico para explorar os fenômenos ondulatórios. Nestes termos, o modelo de Huygens converte-se em um mero instrumento-matemático para tratar fenômenos como interferência e difração de ondas. Por isso as idéias originalmente propostas por Huygens são reconstruídas em termos do presente (STAUB, SOUZA CRUZ, 2009).

Contudo, os estudantes apresentam conhecimentos bastante equivocados sobre o papel do meio e da fonte na propagação das ondas, além de confusões sobre a idéia de superposição de ondas. Assim, explorar o mecanismo de propagação das ondas, do mesmo modo que a restauração de equilíbrio do meio e o papel da fonte geradora de ondas, no contexto genuíno de Huygens, apresentaria contribuições didáticas significativas.

Por outro lado, a evolução conceitual das ondas mecânicas, tendo como gênese modelos incipientes, como o de Huygens, em direção a modelos mais abstratos como os do presente, expõe o estudante diante do processo de conceitualização do real, ou seja, do movimento de abstração de um conceito como o de ondas. Por contraste à intenção didática dos livros escolares, que simplesmente apresentam as sínteses científicas, ou seja, o modelo abstrato em sua forma final. Com base nisso, exploramos o papel didático do modelo original de Huygens.

Logo, imaginar os fenômenos ondulatórios como colisões mecânicas, conforme Huygens delineia em seu 'Tratado da Luz'

mais que um acúmulo de conceitos estanques, isolados de sua realidade temporal ou de contextos que o problematizem.

No contexto da psicologia cognitiva, um personagem expressivo, já mencionado, que contribui para pensar a conceitualização, na física escolar, é Gerard Vergnaud. Discípulo de Piaget e diretor de pesquisa do Centro Nacional de Pesquisa Científica da França, propõe que o desenvolvimento cognitivo está fortemente articulado a um processo de conceitualização do real. Com base nisso, destaca-se o papel relevante da abordagem de Vergnaud para pensar a conceitualização no contexto da física escolar. Suas ideais têm origem na crença de que não é possível explorar o desenvolvimento cognitivo dos sujeitos negando a natureza e as especificidades dos conhecimentos envolvidos. Para Vergnaud (1990), o movimento gradual de conceitualização do real é uma característica inerente/inegável ao ato de conhecer. Por outro lado, enfatiza também que os conceitos não se significam isoladamente. Ao delinear a Teoria de Campos Conceituais para interpretar a natureza do conhecimento e os mecanismos de criação de modelos do real supõe que (VERGNAUD, 1983):

- 1) Um conceito não se forma em um só tipo de situação;
- 2) Uma situação não se analisa com um só conceito;
- 3) A construção e apropriação de todas as propriedades de um conceito ou todos os aspectos de uma situação é um processo longo.

A evolução histórica do modelo atual de ondas, por exemplo, não se caracteriza por uma descoberta científica demarcada por fatos históricos isolados, em uma realidade temporal estanque (isolada). É, por outro lado, um fruto histórico. Resultado de um longo e gradativo esforço intelectual de significação e resignificação de idéias. Huygens, no século XVII, por exemplo, apresenta contribuições científicas inegáveis para a conceitualização das ondas, contudo parciais; com equívocos de natureza conceitual e distorções em termos da imagem de natureza. Personagens científicos contemporâneos como Young e Fresnel, no século XIX, reconstróem o conceito de ondas proposto por Huygens, agregando significações mais expressivas para delinear um modelo ondulatório. Uma reconstrução racional da história da ciência, em termos didáticos, ocultaria a origem real dos fatos históricos e fundamentalmente a extensa evolução temporal, continuidades e rupturas, das criações científicas, que traduzem o modo como os cientistas pensam diante dos problemas, crises e controvérsias

científicas. A conceitualização do real, em termos científicos, e em termos didáticos, não pressupõe apenas sucessão temporal mas também a idéia de que um conceito não se forma em um único contexto de idéias ou problemas.

Com base nisso, é possível supor que, para Vergnaud, o sentido de conceito tem uma conotação crucial e atípica, que destoa da concepção caracterizada tradicionalmente no contexto escolar. Um conceito não se significa isoladamente, ele é, na verdade, formado por três conjuntos:

(1) o conjunto das *situações* que dão sentido ao conceito [referência]. O termo situação não expressa uma situação didática, mas sim uma ‘tarefa’, como se interpreta usualmente no contexto da psicologia, que traduz os processos cognitivos e as respostas dos sujeitos em função das situações com as quais são confrontados. Não que, por outro lado, uma situação didática não apresente potenciais que contribuam na conceitualização. Ao contrário, a expectativa é justamente essa, que os modelos educativos apresentem essas características e contribuam de modo significativo para o desenvolvimento cognitivo dos estudantes. Contudo, na visão de Vergnaud, as situações são pensadas de um modo mais geral, aplicável a contextos diversos. Em síntese, nas situações, o conceito torna-se significativo.

(2) os *invariantes operatórios* representam o que se conserva (ao se explorar uma situação) nos conceitos, expressando o significado dos conceitos. A forma estrutural da atividade, ou seja, os ‘esquemas’, são a organização invariante do sujeito sobre uma classe de situações dadas, que exige implicitamente conhecimentos-em-ação. Esses conhecimentos-em-ação constituem o conjunto de objetos, propriedades e relações (invariantes) usados pelo sujeito para explorar uma situação.

(3) as *representações simbólicas* que expressam os invariantes. Compreende o conjunto de representações simbólicas, lingüísticas e não-lingüísticas (linguagem natural, gráficos) que permitem representar simbolicamente o conceito, suas propriedades, e as situações em que se aplicam o significante do conceito.

A Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud não é uma estratégia didática, mas fornece subsídios para delinear propostas nesse sentido, uma vez analisa a evolução temporal dos sujeitos à medida que aprendem. Sua imagem de conhecimento, destoa, da naturalmente presente nos textos didáticos, no contexto educativo e até na literatura

cruzam sem, em nada, atrapalham-se uns aos outros?; o que são ondas periódicas? quando uma onda sofre interferência?; quando ocorre a superposição de ondas?; como se pode produzir ondas em fase ou com uma diferença de fase constante?. Esta dimensão do Tratado de Huygens permite discutir o fenômeno de interferência (superposição de ondas) e faces de natureza epistemológica da ciência, como por exemplo: a característica crucial que contribui para delinear o ‘real’ modelo, de natureza mecânica, proposto por Huygens é a ausência da idéia de interferência de ondas. Deste modo, evidenciar o insucesso presente em tentativas de traduzir a visão de Huygens em termos de um modelo ondulatório atual é um exemplo expressivo da natureza parcial dos modelos científicos.

As diversas dimensões exploradas expõem, do mesmo modo, faces da conceitualização científica, como esquemas cognitivos analógicos, representações imagéticas, entre outros, que contribuem para pensar a conceitualização escolar e instrumentalizar os estudantes para a conceitualização escolar.

Como analisado na Tese, na física escolar, as contribuições científicas de Christiaan Huygens, no século XVII, expressam um exemplo de reconstrução didática dos fatos históricos. Esta abordagem resignifica as idéias deste cientista em termos de uma interpretação ondulatória atual. Ao ‘Princípio de Huygens’ agrega-se a idéia de superposição de ondas, em um modelo de ondas periódicas, por oposição à versão originalmente proposta por Huygens em seu ‘Tratado da Luz’ de 1690 (STAUB; SOUZA CRUZ, 2009; SILVA, 2009; KRAPAS, 2007). De fato, o real pensamento de Huygens expõe uma concepção essencialmente mecânica das ondas, caracterizada por ondas não periódicas e que não apresentam interferência construtiva ou destrutiva, mas fundamentada em uma sólida interpretação do mecanismo de propagação das ondas (HUYGENS, 1986). A visão ondulatória associada a Huygens, no ensino de física, se assemelha, em larga medida, à resignificação dada por Fresnel, por agregar os elementos de periodicidade em um modelo de interferência das ondas, conforme o sentido proposto por Young (CREW, 1900).

Evidentemente, se tem clareza que uma versão histórica que articule as inúmeras faces da ciência caracteriza-se intangível. Contudo, a transposição didática tradicional, ao descontextualizar, despersonalizar

natureza da ciência, como a natureza provisória/parcial dos modelos científicos, exemplificada com a resignificação do modelo de Huygens por Young-Fresnel em termos das contribuições científicas da superposição de ondas. Outro exemplo da natureza da ciência se refere ao contexto temporal de Huygens, que repercute em sua imagem de natureza, determinando seu modelo mecânico da natureza da luz.

- Analisar a natureza do éter na interpretação ondulatória da luz proposta por Huygens e a analogia entre a luz e o som possibilita discutir didaticamente a propagação de uma onda mecânica e detalhar o mecanismo de restauração de equilíbrio do meio em termos de forças restauradoras e em termos de equalização de densidade (equalização de pressão). No caso da elasticidade do éter no modelo de Huygens, explorado por analogia ao mecanismo de propagação das ondas sonoras no ar, é possível detalhar na física escolar o papel do meio na propagação da onda mecânica, problematizando: como se restitui o equilíbrio do éter para Huygens ao sofrer uma perturbação?; qual esse mecanismo de restauração?; a luz poderia se propagar em outro meio para Huygens?; quais as características fundamentais de uma onda mecânica no modelo atual?; como uma onda mecânica se propaga?; o que uma onda transporta?; há transformação de energia?; de que forma?
- Discutir a opacidade e transparência dos corpos no modelo de Huygens propicia analisar a relação entre a frequência, comprimento de onda e velocidade de propagação da onda, suscitando questões como: a velocidade da luz depende do índice de refração; velocidade das ondas sonoras depende unicamente do meio; quando há mudança de meio quais características das ondas se alteram?; a frequência se mantém constante mesmo com uma mudança de meio?; quais as características das ondas que se alteram?; os sons de todas as frequências propagam-se com igual velocidade em um dado meio, com a luz ocorre o mesmo?
- Explorar a ausência da idéia de interferência de ondas no modelo delineado por Huygens sugere questões como: por que os raios de luz, provindos de uma infinidade de lugares se

especializada. Acredita que o conhecimento está organizado em campos conceituais que expressa como:

“[...] um conjunto informal e heterogêneo de problemas, situações, conceitos, relações, estruturas, conteúdos e operações de pensamento, conectados uns aos outros e, provavelmente, entrelaçados durante o processo de aquisição (VERGNAUD, 1982, p.40)”

Em termos gerais, expõe que o desenvolvimento cognitivo depende das situações e conceitualizações específicas. Traduz como ‘situação’ uma tarefa, de natureza teórica ou empírica, com a qual o sujeito se confronta e decodifica a fim de resolvê-la:

“[...] o saber se forma a partir de problemas para resolver, quer dizer, de situações para dominar. [...] Por ‘problema’ é preciso entender, no sentido amplo que lhe atribui o psicológico, toda situação na qual é preciso descobrir relações, desenvolver atividades de exploração, de hipótese e de verificação, para produzir uma solução (artigo 213, 1990, p. 52)”

Nos termos explicitados acima, a narrativa histórica tem que dar idéia da realidade temporal de conceitualização do real e do significado real de ‘conceito’. No caso do conceito de ondas, por exemplo, explicitar que este conceito não se significou em um contexto absoluto, mas, por outro lado, com base em situações diversas. (Re) nasce no século XVII, no contexto do mecanicismo, com Huygens em seu tratado da luz, fundamentando-se basicamente no estudo de modelos mecânicos. A analogia entre a luz e o som proposta por este cientista também explicita a extensão de situações presentes na conceitualização histórica de ondas. Young, por outro lado, delinea seu modelo da (natureza) da luz, como um genuíno médico-cientista, explorando a fisiologia do olho humano. Sua física surge parcialmente deste contexto. O confronto de idéias que Young (YOUNG, 1900) expressa em sua ‘operação’ textual/discursiva com documentos originais de Newton e Cartas trocadas entre Newton e cientistas como Hooke, expõe a diversidade de situações e ‘tarefas’ presentes na conceitualização do real na ciência. Fresnel, neste contexto histórico, debruçado sobre o ‘Tratado de la lumier’ de Huygens interpreta as frentes de ondas deste cientista com base na idéia de superposição de ondas sugerida por Young, contudo, reconstrói (por um viés matemático) matematicamente o Princípio de Huygens.

No contexto escolar, a dinâmica didática deve priorizar diversidade nas estratégias e atividades de ensino para que o estudante aplique um conceito em situações variadas, evidencie possíveis fragilidades, reforce idéias e signifique o conceito. Na verdade, essa exposição teórica de VERGNAUD (1990; 1983) traz em sua essência a idéia de ‘porvir’ ou ‘dever’. O movimento de conceitualização do real é um movimento contínuo e gradativo de significação e resignificação de conceitos.

Um tema crucial no contexto da educação científica, que deve ser analisado criticamente, é o modelo didático de conceitualização do real idealizado tradicionalmente. Apresenta-se, com frequência, a visão de que o tempo didático deve suprir um extenso espectro de conceito científicos que, descontextualizados, facilmente serão assimilados e acomodados às estruturas cognitivas dos estudantes. Contudo, tem se apresentado, de forma inegável, que a aprendizagem significativa não avança de modo súbito, não se expressa como um acontecimento repentino, mas como um processo gradual, lento, que supõe o confronto com distintos contextos problematizadores, além de dedicação aos estudos. Portanto, contrariamente às teses precursoras de mudança conceitual, (a alfabetização científica) não se caracteriza por um movimento simples e de ruptura decisiva na alfabetização científica. Como consequência disso, é possível evidenciar que, não é a mera abordagem de conceitos científicos isolados/da síntese científica que contribuirá satisfatoriamente à educação em ciências. Em contrapartida, a realidade educativa sugere a ênfase em estratégias didáticas que superem esses obstáculos presentes nas abordagens mais tradicionais de ensino.

A intencionalidade deste capítulo não é expor detalhadamente as teorias do campo da psicologia cognitiva, mas, por outro lado, delinear possíveis contribuições desse campo de pesquisa à proposta de tese. De fato, os episódios históricos presentes na criação do conceito de ondas, no contexto científico, exemplificam faces da conceitualização do real que contribuem para pensar a aprendizagem de modelos na educação científica. Contudo, não é só isso, quando o estudante acompanha o desenrolar de um episódio histórico, desde os conceitos incipientes da criação científica, ele mergulha nos problemas e situações que contribuíram para significar o conceito científico. Além de evidenciar que a existência de um conceito é indissociável de outros conceitos e de uma fenomenologia. Como no caso da evolução histórica

## Considerações Finais

A presente Tese de doutorado explicitou o papel dos aspectos cognitivos na conceitualização dos estudantes, assim como o papel das ‘situações’ e do ‘tempo’ no processo de aprendizagem. Com base nestas questões e em aspectos que conceitualmente são difíceis aos estudantes as escolhas históricas foram demarcadas. Conforme mostra a investigação, a contextualização histórica apresenta potenciais didáticos para a análise da conceitualização do real, por tornar possível investigar esquemas cognitivos, a significação e resignificação conceitual em situações históricas e, neste caso, a própria natureza da ciência. O estudo do caso Huygens, examinado na Tese, contribui perfeitamente para pensar didaticamente outros casos históricos. Ou seja, pensar com esta intencionalidade didática a abordagem de outros casos históricos da ciência para a física escolar.

O modelo ondulatório de Huygens foi analisado como um exemplo de conceitualização científica, por isso enfatizamos neste contexto histórico, além de faces conceituais e da natureza da ciência, esquemas cognitivos movimentados por Huygens na significação e resignificação de seu modelo da natureza da luz. Destacamos, para este fim, as seguintes dimensões de análise:

- Demarcar temporalmente o modelo de Huygens em termos de uma imagem mecanicista da natureza. Caracterizando, deste modo, o modelo original, de onda mecânica, delineado por este cientista para a natureza da luz.
- Explorar a ausência da idéia de força restauradora na interpretação mecânica das ondas proposta por Huygens. Nesse sentido problematizar a visão de onda mecânica presente em Huygens (Conduzir a uma análise conceitual como por exemplo: como surge uma onda?; as ondas mecânicas necessitam de um meio para se propagar?; em Huygens evidencia-se a idéia de força restauradora? qual a noção de força neste contexto histórico?; qual o papel da força restauradora no contexto das ondas mecânicas, em particular no caso das ondas sonoras propagando-se no ar?; quais os tipos de ondas mecânicas?; o que são movimentos periódicos ou oscilatórios?). Contrapor a análise conceitual com faces da

perturbação ao se propagar no éter, contudo, porque cada corpúsculo de matéria atingido por uma onda não comunica seu movimento apenas para a partícula seguinte, na linha reta traçada do ponto luminoso, mas para todas à sua volta. Logo, cada ponto de uma frente de ondas é uma fonte de ondas secundárias, esféricas, que podem ser chamadas de ondícula secundária ou ondícula de Huygens, cujo envoltório destas ondículas é considerado uma nova frente de ondas, conforme abordado no ensino. No entanto, a abordagem didática priorizada no ensino de física resignifica a interpretação mecânica de Huygens para a luz, uma perturbação que se propaga no éter, um meio material, traduzindo as frentes de onda de Huygens como resultado da superposição de ondas eletromagnéticas, baseado no princípio de interferência construtiva e destrutiva. Uma contribuição de Young.

Abordar esta dimensão na interpretação de ondas proposta por Huygens estimula o debate sobre a superposição de ondas, uma característica crucial no modelo moderno de ondas e da natureza da luz.

da luz/do conceito de ondas que, de modo incontestável, emerge dos expressivos tratados da luz de Huygens, Young e Fresnel.

Os objetivos educacionais da abordagem histórica da ciência, delineados neste capítulo, com base nas contribuições da psicologia cognitiva, auxilia a julgar a conflituosa escolha entre um recorte ou uma abordagem mais ampla da história da ciência, ou seja, extensão *versus* profundidade. Essa escolha depende dos objetivos pedagógicos traçados. Ao explorar a evolução histórica de um conceito na ciência, esse antagonismo, de certa forma é minimizado, uma vez que se detalha em profundidade um conceito por abordar sua evolução histórica. E, por outro lado, a conceitualização histórica possibilita a interlocução em extensão de um conceito científico com diversos outros conceitos, desviando o conteúdo escolar de um possível esvaziamento. Do mesmo modo que o próprio Vergnaud insiste na natureza gradual da conceitualização do real, o ensino de conceitos científicos deve se dar de forma recorrente, e não estanque.

Ao explorar a história do modelo de ondas, na física escolar, o conceito científico não se esgota na análise de uma situação, ele continuamente ressurgue diante de novos problemas, situações, remodelando-se e reconstruindo-se, a conceitualização é sempre porvir, parcial, em construção. Assim como a verdade científica é histórica, parcial, em contraste à idéia de verdade absoluta, a criação de conceitos deve ser pensada desta forma, não se encerra em tempo algum. Isso, para alguns, pode ser olhado como uma expectativa negativa diante da aprendizagem, assim como o ‘erro’, com frequência, historicamente (e didaticamente), também é considerado infecundo para a mobilidade do pensamento, para a criação de idéias/conceitos; para não dizer contraproducente mesmo. Muitos educadores e pesquisadores temem que a idéia de verdade provisória, abordada no contexto científico, pode sugerir um ceticismo generalizado em termos das criações científicas, ao relativizar a verdade científica. Contudo, essa crença não deprecia a ciência, entretanto mostra que o real sempre está mostrando novas faces, complexificando os conceitos. Por outro lado, valora a imensa/ilimitada capacidade humana de aprender. Superar equívocos, complementar idéias parciais, suspeitar do ‘real’ - da realidade diante dos sentidos – reformular, reconstruir, avançar em graus de abstração e, portanto, do conhecimento do real. O capítulo seguinte expõe brevemente pesquisas que defendem a abordagem histórica na educação científica. Do mesmo modo explora os objetivos didáticos propostos pela literatura à contextualização histórica.

## Capítulo 2

### Extensão da História da Ciência para o Contexto Didático: possibilidades e desafios apresentados pela literatura

#### 2.1 Visões Deformadas da Atividade Científica: qual o papel da História da Ciência na Formação de Professores e Pesquisadores

É consensual entre os filósofos contemporâneos a crítica acerca da imagem tradicional da ciência, a visão empírico-indutivista, no sentido de que ela é deficiente para fundamentar a atividade científica contemporânea e a evolução do pensamento científico. Ocorre que esta imagem tradicional da ciência não fica restrita ao campo da epistemologia. Ela está largamente disseminada no meio escolar, no ensino de ciências, tendo em vista as concepções de professores, alunos e a apresentação dos livros didáticos.

Apesar de haver esta incoerência, entre o que realmente se pode afirmar da formação do pensamento científico, e o que efetivamente é transmitido aos estudantes, o tradicional, por comodidade ou desconhecimento, continua seu império no ensino de ciências. Esta concepção baliza e mitifica a visão do que realmente se processa na natureza e construção do conhecimento científico. Surge então a necessidade de se desenvolver investigações com a intenção de analisar e lidar com os obstáculos acarretados por esta visão epistemológica deformada (KÖHNLEIN; PEDUZZI, 2002; MEDEIROS; BEZERRA FILHO, 2000; LOMBARDI, 1997) na educação científica.

As pesquisas a seguir detalhadas evidenciam a extensão de visões equivocadas da ciência no contexto da Educação Básica e a abordagem didática da história como uma possível alternativa para superar essas distorções.

O artigo *‘Para uma Imagem não Deformada do Trabalho Científico’* (GIL-PÉREZ et al., 2001) apresenta sete visões deformadas

contexto da óptica geométrica o fato de os raios de luz se cruzarem sem que um perturbe o outro como uma propriedade da luz e, por outro lado, quando abordam a óptica física, de forma quase mágica, a luz para a sofrer interferência, não há um diálogo entre estas duas dimensões da óptica, fato que pode se configurar fonte de confusão e equívocos entre os estudantes.

Na interpretação de Huygens, é natural pensar que as ondas se cruzam sem confusão, sem destruir umas às outras. Um exemplo simples, relativamente comum, que corrobora a idéia de Huygens, refere-se a dois feixes luminosos emitidos por duas lâmpadas, sobrepondo-se um ao outro em um anteparo. De fato, não é possível evidenciar regiões claras e escuras, fruto de superposição das ondas, não há interferência. Contudo, a história da natureza da luz, ilustra mais um exemplo símbolo das sutilezas presentes na natureza e ensina a desconfiar do real sensível, abstrair para mergulhar na essência da natureza da luz.

A ausência da visão de periodicidade das ondas configura-se um obstáculo para a idéia de interferência, imprescindível para uma compreensão da natureza da luz. No exemplo explorado a luz não sofre interferência pois as fontes não apresentam mesma fase ou uma diferença de fase constante, as ondas luminosas emitidas estão vibrando fora de fase. Young que no século XIX realiza o experimento da dupla fenda e a partir da dispersão de luz monocromática obtém interferência com a luz. Com base nisso, é possível evidenciar o insucesso presente em tentativas de traduzir a visão de Huygens em termos de um modelo ondulatório atual, como o modelo de superposição de Young, ou “traduzir a idéia de onda eletromagnética nos termos do Princípio de Huygens [descrita no Tratado]” do mesmo modo, “inversamente, não se poderia descrever a propagação das interações mecânicas de Huygens com o formalismo de Maxwell” (SILVA, 2007, p.157).

Huygens enfatiza a inexistência de interferência de ondas, de acordo com o sentido atual da superposição de ondas, em seu modelo da natureza da luz, supõe que uma partícula de matéria pode receber diversas ondas, sucessivas ou simultâneas, provenientes de diferentes direções e inclusive sentidos contrários sem que se aniquilem, este fato é explicado recorrendo novamente à analogia com choques mecânicos, analogia com o hoje conhecido ‘berço de Newton’.

Em contrapartida, afirma que uma infinidade de ondas, embora provenientes de diferentes pontos do corpo, unem-se de modo a comportar-se como uma única onda. De fato há um reforço da

de forças e de equilíbrio de pressão, com base em uma análise atual, inspirada por questões problematizadoras como:

- \* Como se restitui o equilíbrio do éter para Huygens ao sofrer uma perturbação?
- \* Qual o papel (natureza) do éter para restituir o equilíbrio? Porque a natureza especial do éter é imprescindível para propagar as ondas mecânicas de luz.
- \* Qual o mecanismo de restauração de uma onda mecânica em termos modernos?
- \* Qual o mecanismo de restauração de equilíbrio em um gás? E em um sólido? Exemplifique modelos mecânicos desses mecanismos?
- \* Como a interpretação dedicada à propagação das ondas mecânicas em Huygens assemelha-se à propagação de ondas sonoras no ar?
- \* Quais as características fundamentais de uma onda mecânica no modelo atual?
- \* Como uma onda mecânica se propaga?
- \* O que uma onda transporta?
- \* Há transformação de energia? De que forma?

### 8.3.4 - Ausência da idéia de interferência no modelo ondulatório de Huygens

Em termos de uma estratégia de ensino, evidenciar que o modelo ondulatório de Huygens apresenta uma semelhança mais significativa com a mecânica do que, em contrapartida, à óptica moderna e o eletromagnetismo pode ser uma forma de ensinar conceitos no ensino de física, por um viés que prioriza o contraste entre modelos científicos. Neste sentido, explorar como característica crucial a ausência da idéia de interferência de ondas em Huygens contribui para delinear o 'real' modelo, de natureza mecânica, proposto por este cientista e possibilita evidenciar o insucesso presente em tentativas de traduzir a visão de Huygens em termos de um modelo ondulatório atual. Em contrapartida, propicia um terreno fértil para discutir com os estudantes a superposição de ondas, base do fenômeno de interferência. O problema que despertou interesse de Huygens no contexto da natureza da luz "Por que os raios de luz se cruzam sem, em nada atrapalhar uns aos outros?" pode se caracterizar como um problema de ensino que, se devidamente discutido possibilita um estudo detalhado do modelo de superposição de ondas. Com frequência, os livros didáticos abordam no

do trabalho científico presentes na concepção de professores de ciências. A 'visão empírico-indutivista e atórica': pressupõe a observação neutra e objetiva como gênese do conhecimento, um contraste à idéia de que a observação está impregnada de teoria; a 'visão rígida (algorítmica, exata, infalível, ...)': acredita que a ciência segue rigorosamente o método científico, de natureza indiscutivelmente confiável; a 'visão ahistórica e aproblemática': a primazia é dada ao produto do conhecimento, concebido como estanque e imutável, de caráter absoluto, a ciência nasce desarticulada de um problema; a 'visão exclusivamente analítica': destaca a perspectiva fragmentada do conhecimento em contraposição ao caráter complexo e unificador de várias teorias científicas; a 'visão acumulativa de crescimento linear': enfatiza a construção do conhecimento científico como contínuo, desconsiderando as rupturas nas trajetórias históricas; a 'visão individualista e elitista': concebe o conhecimento científico como fruto de mentes brilhantes, gênios com freqüentes idéias iluminadoras, relegando-se ao esquecimento o trabalho coletivo desse empreendimento; a 'visão socialmente neutra': interpreta a ciência como uma instância isolada, sem trocas com a realidade sócio-histórica e cultural.

HARRES (1999) também desenvolve sua tese explorando as concepções equivocadas de professores acerca da natureza da ciência. De forma bastante similar aos estudos realizados nesta perspectiva em cenários diversos, identifica que os professores pesquisados manifestam uma imagem inadequada da natureza da ciência, semelhante aos pressupostos empiristas. Cabe explicitar algumas das afirmativas mais acentuadas entre os professores no que diz respeito a gênese e desenvolvimento da ciência, evidenciando visões bastante inadequadas do conhecimento científico: a elaboração de Leis e Princípios científicos dispensa obrigatoriamente a criatividade, a intuição e a imaginação do pesquisador; o modo como a ciência produz conhecimento segue necessariamente a seqüência: observação dos fatos, elaboração de hipóteses, comprovação experimental das hipóteses, conclusões, generalizações; o conhecimento científico se distingue do não científico pelo fato de usar o método científico, isto é, partir da observação e experimentos para, posteriormente, elaborar leis e princípios; existe apenas um método geral e universal para produzir conhecimento científico; as afirmações científicas e os enunciados científicos são necessariamente verdadeiros e definitivos.

Com o propósito de investigar as idéias sobre a natureza do conhecimento científico entre futuros professores de química, física, biologia e ciências, BORGES (1991) utilizou seis textos que contemplam distintos modelos teóricos (concepções) de ciência, destacando-se: o empirismo indutivo (Francis Bacon), o falseacionismo (Karl Popper), o contextualismo (Thomas S. Kuhn) e o anarquismo epistemológico (Paul Feyerabend). Ao analisá-los, os alunos deveriam atribuir uma nota a cada um deles e, em seguida, comentar criticamente o posicionamento assumido. O instrumento metodológico *Idéias sobre a natureza do conhecimento científico* foi adaptado do original criado por Zylbersztajn (1986)<sup>4</sup>. Os resultados da pesquisa sinalizaram que dos 238 licenciandos investigados em 23 turmas de 9 IES do estado do Rio Grande do Sul; 49% ressaltam o empirismo, tendo em vista a idéia de que a fonte do conhecimento está na observação neutra; 19% enfatizam o construtivismo, acreditando que a observação está impregnada de teoria; 32% são classificados como indefinidos. Contudo, conforme comenta BORGES (1991), os indefinidos compreendem também aqueles que a partir dos comentários tecidos não foi possível identificar a concepção de ciência, podendo, desta forma, aumentar o número de empiristas e de construtivistas. Considerando isoladamente os cursos de Licenciatura, Borges evidencia que no curso de Licenciatura em Física, os percentuais correspondentes à categoria empirismo aumentam, compreendendo 58%; quanto aos construtivistas 23% e os indefinidos 23%.

Crescentes investigações e pesquisas (GIL-PÉREZ et al., 2001; BAHIA, 2001; HARRES, 1999; PRAIA; CACHAPUZ, 1994; OSTERMANN; MOREIRA, 1999) no que se refere às imagens que educadores, em particular professores de ciências, vinculam a gênese e desenvolvimento da ciência, estão em sintonia com o que ZIMMERMANN & BERTANI (2003) indicam no artigo “Um novo olhar sobre os cursos de formação de professores”: mesmo o professor tendo posições inconscientes e/ou assumidas acriticamente sobre o desenvolvimento da produção científica elas intervêm nas práticas pedagógicas, interferindo diretamente na formação e estruturação do pensamento do aluno. Com base nisso, deve-se pensar melhor acerca da

---

<sup>4</sup> ZYLBERSZTAJN, A. *Idéias sobre a natureza do conhecimento científico*. Natal, UFRN, 1986.

ensino. Como consequência, o significado de elasticidade atribuído aos dois contextos tem sentidos um pouco distintos.

Para analisar a propagação da luz Huygens<sup>40</sup> discute uma analogia com a transmissão de movimento entre corpos sólidos (rígidos). Sugere que este comportamento pode contribuir para compreender como a luz, uma vibração mecânica, se transmite por forças de contato entre as partículas do éter. Assim, considera um grande número de esferas, constituídas de matéria dura e de igual diâmetro, dispostas em linha reta. Lançando-se uma esfera, semelhante às arrançadas seqüencialmente, à primeira da fila, o movimento transmite-se rapidamente à última que se afasta do conjunto que permanece imóvel, sem qualquer vestígio de movimento entre as esferas intermediárias e a lançada inicialmente, conforme já discute no caso da interferência das ondas ao se reportar ao modelo mecânico atualmente conhecido como “pêndulo de Newton”.

Neste contexto, é possível imaginar o éter com características similares à dureza perfeita e elasticidade ideal para explicar a propagação da luz. A elasticidade do éter garante às partículas restituir-se igualmente depressa, seja quando forem empurradas fortemente ou fracamente. Razão que justifica o fato da luz conservar sua velocidade à medida que se afasta da fonte. O som, ao contrário, se torna cada vez mais fraco à medida que se afasta do objeto que o produz, uma vez que o ar não apresenta características ideais similares às do éter. Assim, a energia das ondas sonoras, ao se espalhar, diminui a intensidade.

Uma apreciação crítica detalhada da pertinência da natureza do éter para Huygens junto ao modelo delineado para a luz possibilita uma estratégia de discutir a propagação de uma onda mecânica em meios distintos e detalhar o mecanismo de restauração de equilíbrio em termos

---

<sup>40</sup> Imbuído de seus trabalhos científicos no contexto dos choques mecânicos, em particular, colisões elásticas unidimensionais, Huygens imprime à tese defendida para a luz traços claros dessa abordagem. As constantes analogias a colisões mecânicas para exemplificar a forma de propagação das ondas mecânicas de luz evidenciam essa recorrência. Torna-se pertinente enfatizar que para Huygens a quantidade de movimento, interpretada como uma grandeza escalar, não se conserva durante as colisões. O que se conserva para Huygens, em qualquer sistema de referência, é a soma dos produtos das massas dos corpos pelos quadrados de suas respectivas velocidades. Esta expressão remete, exceto pela ausência do fator 1/2, à idéia de conservação da energia cinética antes e após a colisão. Contudo, a interpretação de energia, conforme concebemos hoje foi estabelecida mais tarde. Este termo não apresenta significado físico para Huygens. Esse expediente evidencia, novamente, o estrito vínculo entre as ondas mecânicas no éter concebidas por Huygens com as ondas sonoras no ar que, no limite, pode ser imaginado como um gás perfeito e interpretado por colisões elásticas.

[o ar, por exemplo]; e, assim, nada há de estranho em supô-la também em pequenos corpos invisíveis como os do éter. Se tentássemos encontrar alguma outra maneira pela qual o movimento da luz se comunicasse sucessivamente, não seria encontrada nenhuma que melhor conviesse do que a elasticidade à propagação uniforme... supondo a elasticidade na matéria etérea, suas partículas terão a propriedade de restituir-se igualmente depressa, seja quando forem empurradas fortemente ou fracamente. Assim o progresso da luz continuará sempre com uma velocidade igual (HUYGENS, 1986, p.19)”.

Huygens enfatiza que em virtude da extrema velocidade da luz e outras propriedades especiais que ela apresenta não é possível interpretar sua propagação de maneira similar à do som. Contudo, é possível evidenciar claramente a semelhança dos modelos mecânicos associados à propagação do som no ar<sup>39</sup>, conforme explicitado acima, e aquele articulado à propagação da luz, conforme segue, inclusive a recorrência a colisões mecânicas elásticas no modelo de Huygens remetem a esse paralelo.

A possível extensão entre os dois modelos mecânicos apresenta um recurso didático pertinente para o ensino de física, particularmente porque além de propiciar um estudo da propagação de uma onda mecânica no ar, possibilita um contraponto com a propagação de uma onda em um sólido, por exemplo, onde os mecanismos de restauração apresentam-se em termos de forças, ao contrário de um gás, onde as forças são nulas e, nesse sentido, apresentam-se em termos de equilíbrio de pressão. Com fins didáticos essa distinção é fundamental para explorar a propagação de ondas sonoras no ar e em sólidos que, em geral, são abordados como análogos por ambos articularem a noção de forças restauradoras. No entanto, a questão da elasticidade nos dois casos são distintos, no primeiro a elasticidade está associada a questão da equalização de pressão, e no segundo caso em termos de forças elásticas, explicitando a natureza distinta dos mecanismos de restauração. Por isso a natureza da elasticidade em sólidos e nos gases apresenta variação, embora esse contraste não seja abordado no contexto de

---

<sup>39</sup> Com frequência os textos didáticos abordam os modelos de ondas mecânicas em um gás, sólido e líquido associando-os em termos de forças restauradoras, contudo, o mecanismo de restauração de um gás deve ser analisado no sentido descrito, como resultado de equilíbrio de pressão, já que em um gás ideal, o ar no limite pode ser considerado desta forma, as forças entre as partículas são nulas.

formação dos professores no ensino de ciências, para que não reproduzam em sala de aula uma imagem positivista da ciência.

Em algumas de suas reflexões voltadas para educação, BACHELARD (1999) enfatiza:

“Sem dúvida, seria mais simples ensinar só o resultado. Mas o ensino dos resultados da ciência nunca é um ensino científico. Se não for explicada a linha de produção espiritual que levou ao resultado, pode-se ter certeza de que o aluno vai associar o resultado a suas imagens mais conhecidas.”

PEDUZZI (2001) evidencia contribuições significativas da utilização didática da história da ciência articulada a uma epistemologia crítica para futuros bacharéis em Física. O texto *Força e Movimento: de Thales a Galileu* implementado na disciplina de Física Geral I no curso de bacharelado em Física da Universidade Federal de Santa Catarina em 1999/1, ilustra a história de um segmento da mecânica, priorizando aspectos críticos dessa trajetória. Entre eles, pode-se destacar: mostra os problemas e a criatividade do cientista em ação – como as dificuldades que Niccolò Tartaglia (1500-1557) supera ao concluir que a trajetória de um projétil lançado obliquamente não pode ser retilínea em nenhum segmento da sua trajetória; chama a atenção para a existência de certas semelhanças entre a física intuitiva do aluno sobre a relação força e movimento e concepções historicamente superadas sobre este tema (física aristotélica, física da força impressa e física do ímpetus); contribui para desfazer um mito na ciência – o associado à lenda da experiência da torre de Pisa; mostra a força da razão e as observações impregnadas de teoria – que as diferentes interpretações de Galileu e Scheiner sobre as manchas solares exemplificam tão bem; explicita um segmento significativo da evolução do conceito de força; exemplifica, a partir do caso de Rético e Copérnico, a importância de homens que incentivaram grandes cientistas a divulgarem sua obra; exhibe a dimensão coletiva do conhecimento; mostra tanto os acertos quanto os erros na ciência.

Tendo em vista avaliar a receptividade do texto junto aos alunos dessa disciplina, de natureza específica do curso de Física, PEDUZZI (2001) encaminhou aos alunos uma questão para uma apreciação crítica da abordagem histórica ancorada ao estudo da mecânica: *Faça uma análise crítica sobre a presença da história da ciência neste seu curso de Física Geral I?*. De maneira geral, os alunos, futuros bacharéis, manifestaram-se favoravelmente à história, sinalizando relevantes e

satisfatórios indicativos da pertinência da história da ciência em uma disciplina de Física Geral I.

Conforme acentua PEDUZZI (2001), a história da ciência pode:

- Incrementar a cultura geral do aluno, admitindo-se, neste caso, que há um valor intrínseco em se compreender certos episódios fundamentais que ocorreram na história do pensamento científico (como a revolução científica dos séculos XVI e XVII, por exemplo);
- Desmistificar o método científico, dando ao aluno os subsídios necessários para que ele tenha um melhor entendimento do trabalho do cientista;
- Mostrar como o pensamento científico se modifica com o tempo, evidenciando que as teorias científicas não são 'definitivas e irrevogáveis', mas objeto de constante revisão;
- Chamar a atenção para o papel das idéias metafísicas (e teológicas) no desenvolvimento de teorias científicas mais antigas;
- Contribuir para um melhor entendimento das relações da ciência com a tecnologia, cultura e a sociedade;
- Tornar as aulas de ciências (e de Física) mais desafiadoras e reflexivas, permitindo, deste modo, o desenvolvimento do pensamento crítico (MATTHEWS, 1995, p.164-214);
- Propiciar o aparecimento de novas maneiras de ensinar certos conteúdos;
- Melhorar o relacionamento professor-aluno;
- Levar o aluno a se interessar mais pelo ensino de física.

Uma visão crítica da evolução da história da ciência e da pesquisa científica contemporânea deve impregnar o pensamento do futuro educador. Para que, ao se deparar às novas estruturas do ensino médio, como os Parâmetros Curriculares Nacionais (BRASIL,1999), possa assumi-las de forma diferenciada, utilizando o que sua formação foi capaz de propiciar. E para os futuros bacharéis, o entendimento crítico de sua própria ciência configura-se igualmente pertinente.

do ar se movimentam para frente e para trás recebendo energia das moléculas mais próximas da fonte e transmitindo-a para as moléculas mais afastadas dela.

É possível enfatizar que o significado físico de elasticidade atribuído ao éter no modelo de ondas mecânicas proposto por Huygens sugere semelhança com a interpretação de elasticidade do ar presente no contexto de propagação das ondas sonoras. O mecanismo de restauração de equilíbrio do ar não pressupõe a idéia de força restauradora. As moléculas de um gás estão separadas a ponto de comportarem-se de modo independente. Nesse sentido, um gás pode ser imaginado como um sistema de partículas livres caracterizado pela ausência de forças. (em um gás ideal as forças são nulas)<sup>36</sup>. Para efeitos de análise, o ar pode ser considerado como um gás perfeito, ideal<sup>37</sup>, nestas condições, os choques entre as moléculas evidenciam-se praticamente elásticos, sem perdas apreciáveis na energia cinética. Em termos gerais, o sistema, definido pelo ar, em equilíbrio, reage diante de uma perturbação, ao ser comprimido e, opõe-se à variação de pressão (flutuação de densidade) retornando ao estado inicial caracterizado pelo equilíbrio de pressão<sup>38</sup>. A elasticidade do ar caracteriza-se por esta 'facilidade' de movimentar-se, de 'restituir o equilíbrio', opondo-se à flutuação de densidade provocada pela perturbação. Esta síntese torna-se pertinente no contexto da pesquisa pois, no caso do éter, para explicar a propagação das ondas mecânicas de luz, a idéia de elasticidade, semelhante à conferida ao ar, parece estar presente na interpretação de Huygens:

“[...] a elasticidade consiste no movimento muito rápido de uma matéria sutil... Isto está de acordo com a razão que Descartes fornece para a elasticidade... há muitos corpos que possuem essa propriedade

---

<sup>37</sup> Um **gás perfeito** ou **ideal** é um modelo idealizado para o comportamento de um gás. Um gás perfeito obedece às seguintes leis: lei de Boyle-Mariotte, lei de Charles, lei de Gay-Lussac. Para fazer com que um gás real se comporte aproximadamente como ideal, reduz-se a pressão e eleva-se a temperatura, para que a distância entre as moléculas seja a maior possível. É importante lembrar que não existem gases perfeitos em condições normais. Para tornar um gás próximo de ser considerado perfeito, é preciso que ele esteja a **alta temperatura e baixa pressão**.

<sup>38</sup> Essa característica de o ar escoar espontaneamente das pressões mais altas para mais baixas ilustra uma tendência ao equilíbrio de pressão concebida na Segunda Lei da Termodinâmica que explicita a idéia de que quando abandonamos um sistema ele tende espontaneamente ao equilíbrio com sua vizinhança.

mecânicos que contribuem para detalhar o mecanismo de forças no modelo de ondas mecânicas do presente.

Em virtude da ausência da idéia de força restauradora é impossível dissociar o éter das explicações de Huygens. Detalhar a natureza do éter e sua pertinência junto ao modelo de ondas mecânicas proposto para a luz, como se apresenta a seguir, contribui para clarificar o mecanismo de restauração de equilíbrio na visão de Huygens e discutirlo em uma abordagem moderna.

### 8.3.3 - A Natureza do éter na interpretação ondulatória de Huygens: mecanismo de restauração

A interpretação ondulatória de Huygens contesta o vazio absoluto e interpreta o espaço como preenchido por uma substância transparente muito mais sutil que o ar, o éter que, sem peso, não causa atrito aos corpos, indetectável por meios físicos e químicos permeia toda a matéria que existe (penetrabilidade notável). A natureza do éter apresenta singularidade por suas características elásticas ideais, imprescindíveis à conservação da velocidade da luz a grandes distâncias, exibindo, deste modo, um mecanismo eficiente de restauração de equilíbrio.<sup>34</sup>

No que se refere à forma de propagação, Huygens enfatiza que o som em função de sua natureza pode ser comprimido com facilidade e, à medida que reduz seu volume apresenta uma tendência a expandir-se. Logo, a causa da propagação das ondas do som compreende o esforço<sup>35</sup> de expansão desses pequenos corpos que se entrecrocaram, quando estão mais próximos nos círculos das ondas (HUYGENS, 1986, p. 18). Huygens tinha clareza, com base nos conhecimentos que dispunha na época, que no caso do som tem-se um efeito combinado de sucessivas compressões e rarefações responsáveis por transferir energia entre as moléculas do ar, produzindo ondas longitudinais, nas quais as moléculas

<sup>34</sup> Uma vez que se o movimento se tornasse mais lento à medida que se distribuisse entre a matéria (como ocorre com o som), afastando-se da fonte de luz, ele não poderia conservar essa grande velocidade. Recorrendo à linguagem atual, sua energia se dissiparia.

<sup>35</sup> O fato de um meio ser mais elástico, no sentido em que tem uma constante de elasticidade maior, implica que o meio reage a uma dada deformação. Em muitos casos, com propósitos didáticos essa reação à deformação ou perturbação é traduzida em termos de uma maior força restauradora. Inclusive a velocidade das ondas sonoras depende da elasticidade do meio em que se propagam

## 2.2 Extensão de visões equivocadas no ensino de ciências: dimensão histórica como alternativa didática?

As pesquisas a seguir detalhadas evidenciam a extensão de visões equivocadas da ciência no contexto da Educação Básica e a abordagem didática da história como uma possível alternativa para superar essas distorções.

KÖHNLEIN (2003) apresenta os resultados de um estudo desenvolvido com um grupo de alunos da 3ª série do ensino médio, com o intuito de vislumbrar as interpretações dos estudantes acerca do trabalho do cientista. Nestes termos, propôs uma atividade em que os estudantes deveriam criar uma pequena história em quadrinhos que ilustrasse o cientista em seu dia a dia, envolvido em sua pesquisa. Em síntese, conforme KÖHNLEIN (2003), as histórias construídas pelos alunos encerram o trabalho do cientista ao laboratório, espaço onde a partir de observações e experimentações sistemáticas conclui indutivamente leis e teorias científicas; a caricatura do cientista, cabelos desajeitados (como os de Einstein) e em todos os momentos sozinho, representa um sujeito diferente do homem comum, social e histórico.

Tendo em vista identificar a percepção de ciência dos estudantes das primeiras séries do ensino médio, PINHEIRO (1996) realiza uma pesquisa semelhante, com um grupo de 97 alunos em 1994. Com base nas categorias propostas por Ledbetter (1993)<sup>5</sup>, em estudo similar, classifica as respostas dos alunos. O traço comum nas concepções de ciência tecidas pelos estudantes sinaliza significativa semelhança à vertente do empirismo. Representam as categorias mais freqüentes entre os alunos investigados: a visão de que a ciência simboliza retrato (cópia) fiel da realidade do mundo natural<sup>6</sup> (57,7%); a imagem de que a ciência reflete apenas uma disciplina escolar, desvirtuada da vida cotidiana<sup>7</sup> (15%); a idéia de que a natureza, coberta por um véu, é desvelada pelo cientista que descobre então seus mais íntimos e ocultos segredos<sup>8</sup> (10%).

<sup>5</sup> LEDBETTER, C. E. Qualitative comparison of students' constructions of science. Science education, 77 (6), p. 611-624, 1993.

<sup>6</sup> Categoria de Ledbetter: 'a ciência como algo que está no mundo, na natureza';

<sup>7</sup> Categoria de Ledbetter: 'atividade centrada na escola';

<sup>8</sup> Categoria de Ledbetter: 'descoberta`.

A abordagem dos conteúdos veiculada aos livros didáticos no ensino de ciências em geral, e de física em particular, também reforça idéias equivocadas sobre a gênese e desenvolvimento da ciência, contudo continuam a se disseminar de maneira desenfreada. BASSO & PEDUZZI (2003) examinam como se apresenta o conteúdo do modelo atômico de Bohr em dois livros didáticos do ensino médio: Física 3 (Cabral & Lago, 2002) e Física 3 (Gaspar, 2001). Com o objetivo de esclarecer dúvidas suscitadas durante a análise e evidenciar as concepções epistemológicas dos autores, em sintonia ou não com a abordagem dada ao tema nos livros, BASSO & PEDUZZI encaminham questões aos respectivos autores, estabelecendo uma interação com os mesmos. Os livros didáticos sugerem que situações experimentais conduziram Bohr à formulação de seu modelo atômico: Cabral & Lago (2002) enfatizam que a radiação do corpo negro, o efeito fotoelétrico e os espectros de emissão e absorção do hidrogênio desencadearam os estudos de Bohr; Gaspar (2001), conforme BASSO & PEDUZZI (2003), destaca que *Bohr utilizou-se dos resultados de Balmer para desenvolver sua teoria*. Assim, concluem que os autores difundem, nos respectivos textos, a visão empírico-indutivista no tratamento dado à gênese do modelo teórico de Bohr e, de acordo com os esclarecimentos proporcionados pelos autores, evidenciam que os posicionamentos adotados foram assumidos conscientemente.

DELIZOICOV & ERN (2002, 2003) desenvolvem uma pesquisa visando mapear a abordagem dada ao conteúdo veiculado ao movimento do sangue no corpo humano, com expressivo destaque ao uso da analogia 'coração bomba', em livros didáticos do ensino fundamental e médio, e manuais relativos à formação de professores de biologia nas disciplinas Anatomia e Fisiologia Humana. Entrevistas com os professores dos dois níveis de ensino complementam a análise, propiciando compreender detalhadamente aspectos acerca da formação inicial e da prática pedagógica dos respectivos biólogos-educadores no que concerne o tema investigado. DELIZOICOV & ERN (2002, 2003) evidenciam tanto na análise realizada nos textos selecionados quanto nas entrevistas, que a gênese da analogia 'coração bomba' não é considerada, repercutindo em uma compreensão simplificada e, muitas vezes equivocada dos conteúdos referentes ao sistema sanguíneo. De acordo com DELIZOICOV & ERN (2002, 2003), a descontextualização histórica presente nos modelos teóricos apresentados no ensino em geral, e na biologia particularmente, *'descaracteriza a significação'* dos conhecimentos científicos estudados. Nesse sentido, destacam as

movimento em virtude de 'forças'. Isso exprime a real natureza dos modelos científicos, onde as idéias nascem confusas, incipientes em alguns casos, contudo, longe de se caracterizarem estereis, justamente por inspirarem problemas e impulsionarem a pesquisa. Em virtude da ausência da idéia de força, na interpretação de ondas mecânicas em Huygens o mecanismo de restauração de equilíbrio é explorado em termos da natureza perfeitamente elástica do éter e não com base na idéia de força restauradora, nesse sentido, como consequência dessa visão a quintessência etérea apresenta-se indissociável do modelo ondulatório da luz proposto por Huygens.

Em termos educativos, ao explorar o modelo de Huygens no contexto mecanicista é possível criar junto aos estudantes um 'estado de conhecimento' profícuo para contrapor as idéias deste cientista com o modelo atual de ondas mecânicas. Contudo, os conceitos físicos presentes na interpretação atual surgem em virtude de problematizações priorizadas na análise histórica e conceitual de Huygens, uma abordagem que diverge à habitual, de natureza aproblemática e estanque. Transpor para o ensino de física o episódio histórico destacado neste estudo de caso possibilita incursionar questões de natureza conceitual, com potenciais didáticos significativos para delinear o modelo atual de ondas mecânicas. Na seqüência, sugerimos um conjunto de questões problematizadoras relevantes nesse sentido, apresentadas no quadro síntese:

- \* Em que sentido a visão de onda mecânica em Huygens diverge do modelo atual de onda mecânica?
- \* Como surge uma onda no modelo de Huygens e em termos atuais? Em que sentido as explicações científicas destes modelos assemelham-se?
- \* As ondas mecânicas necessitam de um meio para se propagar?
- \* Em Huygens evidencia-se a idéia de força restauradora para interpretar o mecanismo de restauração de equilíbrio das partículas que propagam a onda?
- \* Qual o conceito de força neste contexto histórico?
- \* Então, para Huygens, como se restitui o equilíbrio do (meio que propaga a onda) éter ao sofrer uma perturbação? Qual o mecanismo de restauração de equilíbrio?
- \* Como a idéia de força restauradora apresenta-se pertinente no sentido moderno de ondas mecânicas? Explorar modelos

com frequência, a quantidade de movimento de um corpo como a força que o corpo tinha ou era capaz de produzir, interpretação explícita na Terceira Lei de Descartes (PEDUZZI, 1999, p.20-24). Com G. W. Leibniz (1646-1716) que o conceito de força se resignifica, opondo-se à idéia de medir a força pela quantidade de movimento, contudo, efetivamente confunde-se com o conceito de energia.

### **8.3.2 - Ausência da idéia de forças no modelo ondulatório de Huygens**

Neste contexto histórico a ausência de uma visão consensual, de ordem qualitativa e quantitativa, do conceito de força repercute diretamente na interpretação ondulatória de Huygens. Com base nisso, o modelo de ondas mecânicas em Huygens (1629-1695) diverge em dimensões distintas do modelo atual de ondas mecânicas, por exemplo, no que se refere ao mecanismo de forças para explicar a restauração de equilíbrio dos meios sólido e líquido que propagam uma onda. Por outro lado, assemelha-se à dinâmica de propagação das ondas sonoras no ar conforme buscamos explorar na discussão presente especificamente na seção seguinte. Com intencionalidade didática, detalhar em que sentido a visão de onda mecânica em Huygens se afasta do modelo atual possibilita priorizar uma análise conceitual e histórica no ensino de física, contribuindo para que os estudantes explorem o tema em termos atuais.

A imagem mecanicista nega a possibilidade de ações diretas à distância, enfatizando a crença em um mundo completamente preenchido e, em sintonia com essa abordagem da natureza está presente em Huygens a idéia de ações por contato para as interações físicas, ou seja, a interação entre as partículas resulta de colisões. Com base nisso interpreta a propagação das ondas. Para que seja possível transmitir um sinal (pulso) é imprescindível que a matéria intermedie, por choques, a transferência de momento linear. Do mesmo modo que inexistente a idéia de força, a noção de energia também não está presente neste contexto histórico, assim, uma onda caracteriza-se pelo transporte de movimento, momento linear em uma tradução atual.

Cabe destacar que, como não há um significado físico consensual para ‘força’, por exemplo, um expediente freqüente (natural) era expressar a força de um corpo em termos de sua quantidade de movimento (PEDUZZI, 1999, p.20), uma vez que o senso comum parece evidenciar que os objetos são colocados e mantidos em

contribuições da história e da filosofia da ciência nos cursos de formação de professores, em especial. A inserção do tratamento histórico-epistemológico ao conceito de movimento do sangue no corpo humano, por exemplo, representaria uma visão mais completa do assunto.

SILVEIRA (2003) analisa o conceito de substância no ensino de Química à luz da concepção de obstáculo epistemológico e de perfil epistemológico, contemplados na filosofia histórica de Bachelard. Nestes termos, examina seis coleções didáticas de 5ª a 8ª séries do ensino fundamental, sinalizadas pelo PNLD/2002. Conforme discorre, evidencia em parte significativa dos livros analisados a presença de obstáculos substancialistas e realistas, em virtude, principalmente da não consideração das distintas interpretações presentes na evolução histórica do conceito de substância. De acordo com SILVEIRA (2003), a primazia conferida à classificação das substâncias, estudadas sem uma definição precisa e contextualizada, enfatiza o produto do conhecimento, ressaltando um conceito ahistórico e aproblemático, repercutindo em um entendimento simplificado e ingênuo do tema abordado. Pensar o perfil epistemológico do conceito de substância, conforme defende, em princípio, possibilitaria uma compreensão contextual e rica.

Com base nas pesquisas acima ilustradas, constata-se que a história e a filosofia da ciência podem propiciar contribuições significativas na perspectiva de reverter as interpretações equivocadas do trabalho científico presentes no ensino de ciências, no caminho de uma visão crítica e dinâmica da ciência.

A fim de sinalizar a pertinência da história e da filosofia da ciência no ensino de ciências, MATTHEWS (1995, p.165) apresenta as contribuições que a abordagem contextualista (que prioriza as dimensões ética, social, histórica, filosófica e tecnológica da ciência), pode propiciar: humanizar as ciências e aproximá-las dos interesses pessoais, éticos, culturais e políticos da comunidade; tornar as aulas de ciências mais desafiadoras e reflexivas, permitindo, deste modo, o desenvolvimento do pensamento crítico; contribuir para a superação do ‘mar de falta de significação’ que se diz ter inundado as salas de aula de ciências, onde fórmulas e equações são recitadas sem que muitos cheguem a saber o que significam; melhorar a formação do professor auxiliando o desenvolvimento de uma epistemologia da ciência mais rica e autêntica, ou seja, de uma maior compreensão da estrutura das ciências bem como do espaço que ocupam no sistema intelectual das coisas.

Alguns trabalhos (BARROS; CARVALHO, 1998; GAGLIARDI, 1988) sinalizam a importância da história da ciência no ensino de ciências como uma ferramenta para propiciar a superação de concepções alternativas dos alunos, causa de dificuldades de aprendizagem dos conceitos científicos, apresentando-se como resistências aos esforços didáticos. Pesquisas no ensino de física (ZYLBERRSZTAJN, 1983; PEDUZZI, 2001) apontam semelhanças entre algumas concepções prévias dos alunos e as raízes históricas destes pensamentos. Assim, as contribuições da história e filosofia da ciência desempenham um papel relevante nos estudos das mudanças conceituais.

Outros estudos (GUERRA et al., 1998) recomendam a inserção de temas de cunho histórico no ensino de ciências como meio de contextualizar o saber científico e explorar a dimensão interdisciplinar dos conceitos, facilitada também pela história aliada à filosofia. GUERRA et al. (1998; 2004) destacam que a visão de inter-relação constante entre saberes, de natureza dissonante à que a escola está estruturada, ou seja, disciplinar, fragmentada, pressupõe ideais norteadores do ensino distintos dos que permeiam o espaço escolar, pois é necessário extrapolar os moldes tradicionais nos quais repousam as práticas pedagógicas. Tendo em vista essa premissa interdisciplinar, GUERRA (1998) sintetiza a relevância da dimensão histórico-filosófica no ensino de ciências para uma abordagem interdisciplinar dos conteúdos. Assim, torna-se indispensável o uso da história e da filosofia da ciência quando se pretende práticas didáticas que transcendam o ensino dos “*conteúdos pelos conteúdos*”:

“Vivemos numa sociedade tecno-científica onde a ciência ocupa um papel de destaque enquanto discurso legitimador para outras formas de conhecimento, bem como funciona como discurso de poder dos especialistas que falam em nome da ciência. Nesse sentido devemos implantar uma prática interdisciplinar a partir da compreensão dos processos de construção do conhecimento científico que, guardadas as suas especificidades, é o mesmo de qualquer outra forma de conhecimento.”

Segundo ZANETIC (1989), a física é parte da cultura, ao contrário de um aglomerado de conteúdos sem sentido e com um fim em si mesmos. A excessiva matematização, a ênfase na observação e experimentação de conceitos e teorias ocultam os conflitos internos às comunidades científicas e a produção humana a ela veiculada,

as leis da natureza, todos os corpos que se movem continuam a se mover até que esse movimento seja interrompido por algum outro corpo. É evidente que o ar e os outros corpos líquidos, nos quais nós vemos essas coisas se moverem, diminuem pouco a pouco a velocidade de seu movimento; nós podemos mesmo sentir na mão a resistência do ar se nós abanarmos rapidamente um leque que esteja aberto, e não existe corpo fluido sobre a Terra que não resista, ainda mais manifestamente que o ar, aos movimentos de outros corpos” (DESCARTES, 2007, p. 78).

A natureza das forças expressa na terceira lei traduzem essencialmente forças de resistência, ou, essencialmente ‘tendência’ a conservar um ‘estado’ ou ‘modo’ concebido por Deus expressos como: resistência à separação (coesão), resistência à união (fluidez), resistência ao movimento (repouso) e resistência ao repouso (movimento) (BARRA, 2003, p.312). Em contraste ao que se poderia supor, que os choques/encontros das partículas na visão cartesiana admitissem explicações que articulasse a noção de forças, sem recorrer a dimensão metafísica, nos textos de Descartes não se evidencia a presença de arguições dessa natureza, como afirma MARTINS (1989, p. 39; p.115-116), para Descartes “[...] quando duas partículas colidem, elas devem mudar seu movimento, porque de outra forma elas se penetrariam mutuamente” e essa mudança ocorre de tal modo a conservar a quantidade de movimento total do universo. No sentido Newtoniano da lei da Inércia a mudança de movimento é devido a forças, em contrapartida, para Descartes, os estados de repouso e movimento da matéria alteram-se devido a colisões.

Logo, o termo força, de gênese metafísica, tem sentido quando pensado junto à primeira lei, em termos da natureza imutável da ação divina. Como consequência dessa premissa teórica Descartes caracteriza o movimento sem recorrer às causas (conforme destacado na exposição inicial desta seção), que pertencem a um domínio que se transpõe à essência da matéria. Isso evidencia sua censura à definição comum que aborda a natureza do movimento apoiando-se na noção de ação ou força (“aquilo que move”), uma visão que se desvia de sua ontologia restritiva que nega forças ou elementos dinâmicos como atributos da matéria, com realidade física (BARRA, 2003, p. 313).

Em síntese, um fato que também contribui para a falta de clareza quanto à noção de força é que no senso comum evidencia-se que as forças são gênese do movimento, responsáveis por colocar e manter os objetos em movimento apresentava-se natural traduzir (imaginar),

da imutabilidade de Deus e de sua criação contínua<sup>33</sup> (DESCARTES, 2007, p.78-80).

A ausência de referência a forças que agem para conservar ou mudar o movimento de um corpo nas duas leis que traduzem o ‘Princípio da Inércia’ de Descartes remete às causas do tipo mecânicas, colisões unicamente, como as causas externas que produzem mudanças no estado de movimento ou de repouso dos corpos. As alterações nos ‘estados’ dos corpos ocorrem, de fato, em função das colisões, mas, em contrapartida, as ‘leis físicas’ que regem os choques devem se harmonizar a conservação da quantidade de movimento, articulada a uma dinâmica metafísica. No contexto da Terceira Lei de Descartes, que se refere à transferência de movimentos, nos termos da quantidade de movimento de um corpo a outro, em uma colisão unidimensional, evidencia-se o termo ‘força’, contudo com uma conotação bastante peculiar, que remete à ordem divina:

**A Terceira Lei da natureza:** se um corpo colide com outro que tem uma força [tendência] maior a persistir no estado em que se encontra, ele não perde nada de sua quantidade de movimento [isto é] ele simplesmente inverte o sentido de seu movimento; se, por outro lado, este corpo incidir contra um outro que tem a força [tendência] menor à manutenção de seu estado, ele perde tanto movimento quanto o que imprime ao copo com o qual colide (DESCARTES, 2007, p.79).

Na sentença da Terceira Lei estabelecida por Descartes, em virtude da crença em um universo pleno, que não admite vazio, evidencia-se constante a resistência ao movimento e, nesse sentido, não é possível imaginar um movimento retilíneo com velocidade constante. Para contornar essa contradição, Descartes enfatiza que se distingue o movimento a que os corpos tendem dos movimentos reais:

“Não há outra razão pela qual eles (os corpos) continuam a se mover quando são abandonados pela mão que os atirou, senão que, seguindo

---

<sup>33</sup> No imaginário cartesiano o poder e ação de Deus não se restringem à criação, Descartes refere-se à idéia de ‘criação contínua’ interpretada como intervenção constante de Deus na natureza, contudo, com o intuito de conservar as substâncias em sua existência, em seus ‘modos’ e ‘estados’: “[...] uma substância, para ser conservada em todos os momentos de as duração, precisa do mesmo poder e da mesma ação que seria necessário para produzi-la e recriá-la de novo, caso não existisse ainda” (DESCARTES, 1988, Terceira Meditação, § 34). (BARRA, 2003, p. 308) Nesse sentido, Deus caracteriza-se responsável por manter o movimento, expediente caracterizado por ‘criação contínua’. Diferentemente da intervenção contínua de Deus no curso da natureza, nos termos de Newton, que atribui poder irrestrito a Deus, que pode mudar livremente, a qualquer instante as ‘leis da natureza’.

encerrando as noções físicas em esferas de conhecimento abstratas compreendidas como inacessíveis:

“Certamente uma física que envolva as emoções, as idas e vindas das grandes idéias geradoras presentes nos problemas cruciais, o uso do discurso racional, o papel do discurso e conceitualização tidos por mágicos, as idéias fantásticas dos pensadores científicos que construíram as grandes teorias que já dominaram ou ainda dominam o cotidiano dos físicos, enfim, toda essa física é incomparavelmente mais rica que a física essencialmente formal, a-histórica, recheada de exercícios, distante, quer de uma cultura popular, quer de uma cultura científica, parte integrante da vida inteligente contemporânea.”

O diálogo entre a história e a filosofia da ciência, no ensino de ciências naturais, pode contribuir para uma análise mais crítica da natureza e construção do conhecimento científico, propiciando um contraste com a imagem do ‘senso comum’, que defende uma espécie de história factual e cronológica que pode ser sintetizada como a “*mera composição de átomos elementares e impessoais de acontecimentos em sucessão*” (ZANETIC, 1989). A história da ciência possui distintas interpretações, resultado das convicções teóricas de quem a descreve. A idéia de neutralidade normalmente disseminada nos relatos de episódios históricos em livros didáticos, e mesmo no discurso de professores no ensino de ciências, corrobora uma visão distorcida da ciência, que insiste em divisar o sujeito do objeto de conhecimento.

É possível evidenciar que a abordagem histórica é vista mais como uma dimensão cultural da ciência do que, de fato, como inerente ao processo de conceitualização científica. Quando pensada em termos didáticos, sempre se destaca as contribuições dos episódios históricos para desmistificar idéias equivocadas sobre a natureza da ciência. Pouco se diz sobre as possíveis contribuições da contextualização histórica para explorar a conceitualização, ou seja, a formação de conceitos científicos na ciência. É esta face da história da ciência que buscamos resgatar.

No capítulo seguinte, analisamos a história da ciência e suas faces no contexto educativo. Apresentamos também algumas críticas e obstáculos delineados pela literatura à abordagem didática da história da ciência.

# Capítulo 3

## A História da Ciência e suas Diferentes Faces: Contexto Didático

### 3.1 - Críticas e Obstáculos à incursão da História da Ciência no contexto educativo: possível superação?

Com frequência, a literatura especializada expressa como pertinente a incursão da dimensão histórica e filosófica no ensino em geral, configurando um posicionamento relativamente consensual entre pesquisadores em Ensino de Ciências. Contudo, algumas vozes críticas expressam oposição à articulação da História da Ciência (HC) em termos didáticos. Além disso, evidencia-se uma dissonância acentuada entre a defesa explícita no universo acadêmico das contribuições da HC e o controverso contexto da sala de aula, ainda bastante distante de articulações dessa natureza (PEREIRA; AMADOR, 2007; PAGLIARINI, 2007; WUO, 2000; MATTHEWS, 1995).

Os obstáculos à HC no ensino surgem com diferentes ênfases, no próprio contexto educativo, por parte dos professores que, em muitos casos, expõem: a) a possibilidade da HC desviar os estudantes dos temas que na verdade são “importantes”, ou ainda, de potencializar o desenvolvimento de posições cépticas face aos saberes científicos ao relativizar este tipo de conhecimento; b) a ausência de material didático adequado, da mesma forma que a inexpressiva presença de abordagens com viés histórico nos manuais escolares; c) a atual configuração dos currículos escolares que convergem para o desafio “vestibular”, um contexto que desencoraja intervenções pedagógicas inovadoras; d) o “tempo insuficiente” para apresentar os conteúdos de HC, uma convicção que possibilita evidenciar a visão estanque, de natureza disciplinar, da HC em termos didáticos; e) a forte resistência dos estudantes e da própria escola em se contrapor e romper com o modelo ortodoxo, “tradicional” e pouco sensível à contextualização histórica, que se naturalizou na Educação; f) e por fim, a formação inicial e continuada de professores de ciências, gênese, em muitos casos, dessas

Para DESCARTES (2007, p. 77) as ‘leis físicas’ surgem como sentenças imutáveis de Deus à natureza e o princípio da inércia, efetivamente linear e não circular como se exprime em Galileu, delineia-se, neste contexto, em termos genuínos na filosofia cartesiana, como uma semente científica fecundada mais tarde por Newton. Na seqüência, apresenta-se as três leis formuladas por Descartes que regulam a maneira como os corpos adquirem ou perdem movimento. As duas primeiras expõe com clareza a idéia da Inércia (DESCARTES, 2007, p. 77-78):

**“A Primeira Lei da Natureza: cada coisa permanece no seu estado se nada o alterar; assim, aquilo que uma vez foi posto em movimento continuará sempre a mover-se [ou seja] se conserva o mais possível e nunca muda a não ser por causas externas. Por conseguinte, se vemos que uma parte da matéria é quadrada, ela permanecerá assim se nada vier a alterar sua figura; e se estiver em repouso, nunca se moverá por si mesma. Mas, uma vez posta em movimento, também não podemos pensar que ela possa deixar de se mover com a mesma força enquanto não encontrar nada que atrase ou detenha o seu movimento. De modo que, se um corpo começou a mover-se, devemos concluir que continuará sempre em movimento, e que nunca parará por si próprio (DESCARTES, 2007, p.77)”**

**“A Segunda Lei da Natureza: todo corpo que se move tende a continuar o seu movimento em linha reta.** Cada parte da matéria, considerada em si mesma, nunca tende a continuar o seu movimento em linha curva mas sim em linha reta, embora muitas dessas partes sejam muitas vezes obrigadas a desviar-se porque encontram outras no caminho, e quando um corpo se move toda a matéria é conjuntamente movida e faz sempre um círculo, ou anel. Essa regra, tal como a precedente, depende do fato de Deus ser imutável e de conservar o movimento na matéria por uma opção muito simples [...] (DESCARTES, 2007, p.78)”

Com base em uma interpretação imediata, a Primeira Lei de Descartes parece sugerir que a persistência ou a continuidade dos modos da matéria (BARRA, 2003, p. 305), neste caso, movimento e repouso, por serem considerados ‘estados’ decorrem de sua própria natureza, contudo esse pressuposto não se sustenta diante da exposição em que Descartes enfatiza que tanto a primeira quanto a segunda lei seguem-se

imutável, mas sobretudo porque age de uma maneira que nunca muda [...] Donde segue que Deus, tendo posto as partes da matéria em movimento de diversas maneiras, manteve-as sempre a todas da mesma maneira e com as mesmas leis que lhe atribuiu ao criá-las e conserva incessantemente nessa matéria uma quantidade igual de movimento (DESCARTES, 2007, p.76-77).”

Propõe, então, dois possíveis caminhos para analisar as causas do movimento: (i) a causa primária e universal que é Deus, “que produz geralmente todos os movimentos que existem no mundo”; (ii) as causas secundárias e particulares, que fazem com que “cada parte da matéria adquira [o movimento] que antes não possuía”. As causas primeiras dos movimentos representam a força divina que criou a matéria com movimento e repouso e, em virtude de Deus não estar sujeito a mudanças, movimento e repouso conservam-se na existência. Da mesma maneira as ‘leis da natureza’, incorruptíveis à luz de sua concepção metafísica, constituem causas segundas dos diversos movimentos observados (DESCARTES, 2007, p.77):

“Como Deus não está sujeito a mudanças, agindo sempre da mesma maneira, podemos chegar ao conhecimento de certas regras a que chamo leis da natureza, e que são as causas segundas, particulares, dos diversos movimentos que observamos em todos os corpos, e daí a importância dessas leis (DESCARTES, 2007, p.77).”

Neste contexto é possível evidenciar que a idéia de ‘força’ em Descartes requer conceitos de natureza metafísica por enfatizar que as causas do movimento e do repouso, ou seja, as forças responsáveis por sua existência e duração têm como gênese a criação de Deus e a imutabilidade inerente à sua vontade. Nesse sentido, “Deus criador, ... faz as coisas existirem e as conserva na existência, isto e na duração” (GUÉROULT, 1954, p.1 *apud* BARRA, 2003, p.305) Sendo assim, no que tange a origem e a natureza dos princípios que introduzem a diversidade e a mobilidade no mundo material o expediente divino é representativo o que implica afirmar que a física de Descartes faz sentido se articulada à sua metafísica (BARRA, 2003, 305). O programa mecanicista enfatiza como único princípio dinâmico, o de ordem metafísica, responsável pelos diversos estados em que matéria se encontra, como a persistência do movimento, do mesmo modo que as mudanças do movimento devido às freqüentes colisões entre os corpos.

inquietações educacionais, por se ver alheia a discussões dessa natureza (PEREIRA; AMADOR, 2007; MARTINS, 2007; STAUB, 2005).

Em contrapartida, os historiadores da ciência sugerem uma diligência constante face às lacunas e reinterpretações incorretas, de fato abusivas, da HC com fins didáticos. Em larga medida, tais “deformações” históricas podem se caracterizar ingênuas, conseqüência de desconhecimento por parte de professores e autores de manuais, contudo, podem também se configurar suficientemente conscientes, buscando transmitir mensagens ideológicas, em sintonia com a corrente historiográfica *whiggismo* que surge como ideal de um partido político britânico que acomodava a história aos seus próprios interesses. A extensão dessa perspectiva à HC exprime-se na primazia dedicada às teorias e episódios históricos pertinentes à ciência atual (BALDINATO; PORTO, 2007; PEREIRA; AMADOR, 2007; MARTINS, 2007; ALLCHIN, 2004; GIL-PÉREZ, 2001; MATTHEWS, 1995; WHITTAKER, 1979a; 1979b).

Em uma conferência no MIT, na década de 70, surgiram severas críticas à presença da dimensão histórico-filosófica no ensino de ciências, desafiando o referido contexto de discussões. KLEIN (1972), por exemplo, acredita que a única abordagem possível da HC na educação científica é a pseudo-história, pois afirma que é impossível não descaracterizar a história da ciência ao incorporá-la ao ensino. Para Klein, os gêneros históricos retratam uma interpretação, um viés e, por isso transmitem (in) consciente a visão de quem os descrevem. Logo, o modelo ideal de história da ciência, imparcial e objetivo, que ele aspira para o ensino, caracteriza-se um mito, uma idealização.

ALLCHIN (2004) também assume posições críticas ao uso da HC com fins didáticos sugerindo que, usualmente, em contextos educativos, surge uma versão romanceada e exarcebada (sensacionalista) da HC que contribuem para a criação e reforço de determinados estereótipos e mitos. Para o gênero específico que se assemelha a paródias/arremedos históricos, sem legitimidade alguma face a documentos ou registros de natureza histórica, como o episódio da queda da maçã na cabeça de Newton, ou a súbita (casual/acidental) descoberta de Arquimedes que, dominado por um sentimento de êxtase e euforia, corre despido pelas ruas de Siracusa (Sicília, Itália) gritando “Eureka” (MARTINS, 2006b; THUILLIER, 1994), Allchin designa de “falsa história” e censura para educação científica.

Um exemplo expressivo de reconstrução histórica, neste contexto, trata-se do gênero histórico defendido por Lakatos<sup>9</sup>. A história de valor para este personagem refere-se à reconstruída racionalmente, referendada pela concepção de ciência do historiador. Tal perspectiva prioriza, no curso histórico da ciência, seqüências de episódios científicos que possibilitaram contribuições ao estado atual (contemporâneo) da ciência. Balizado por esse olhar, deve-se suprimir acontecimentos que se julga não apenas irrelevantes, mas irracionais à luz de sua epistemologia.

Descaracterizar a ciência e, em muitos casos, falsificar os episódios históricos, de modo a disfarçar a história genuína, pode ser a imagem de uma realidade cuja matriz não é puramente ideológica mas, para além dos obstáculos já explicitados, traço das dificuldades inerentes à transposição didática do saber científico aos textos escolares (TEIXEIRA; KRAPAS, 2005). Os obstáculos presentes na transposição didática exigem contínua “vigilância epistemológica” para que o conhecimento de referência não seja distorcido de tal modo que se torne irreconhecível, sem domínios de correspondência, em termos educativos (CHEVALLARD, 2005, p.49).

A “descontextualização dogmática” presente, freqüentemente, nos livros de física oculta a gênese e os problemas que inspiram e desafiam o trabalho científico, um movimento que se traduz por empobrecer o significado dos conceitos científicos e, em uma extensão mais ampla, reforçar uma visão epistemológica equivocada (ASTOLFI; DEVELAY, 2002, p.48).

De acordo com ZANETIC (1989), o perfil da história da ciência presente em textos didáticos dedicados ao ensino médio e superior; com freqüência tratados em apêndices, notas de rodapé, textos complementares, destoados do corpo central do texto; caracterizam-se como arremedos de história da ciência por priorizarem seqüências cronológicas de episódios históricos cruciais, perfil biográfico de grandes personagens históricos, descobertas casuais/acidentais de teorias científicas e, ilustrações que perpassam uma visão fantasiosa, sensacionalista dos fatos científicos.

Embora se defenda que uma história pura, isenta de simplificações, alheia a equívocos, caracteriza-se intangível, não se deve mergulhar em um relativismo absoluto (irrestrito), professando a idéia do “tudo vale”,

---

<sup>9</sup> Nesse sentido, Lakatos interpreta a história internalista como uma reconstrução que desconsidera as idiossincrasias, valores dos cientistas, ao traçar, delinear a trama histórica.

não naquilo que a move; pois me parece que não estamos acostumados a distinguir essas duas coisas com suficiente precisão. Além disso, entendo que é um modo da coisa móvel [...] (DESCARTES, 2007, p. 70)”

Descartes enfatiza que Deus imprimiu ao universo um movimento inicial que a natureza conserva, uma vez que as ‘leis físicas’, imutáveis, permanecem eternas no tempo, não sendo alteradas nem pelo próprio Criador. As ‘leis da natureza’, passíveis de desvendar, seguem comportamentos físicos específicos que mantém inalteradas a quantidade de movimento total do universo. A inspiração divina, de natureza metafísica, presente em seu modelo de universo, garante a conservação da quantidade de movimento. A grandeza física ‘quantidade de movimento’ (escalar) se expressa em Descartes como o produto da ‘quantidade de matéria’ de um corpo pela velocidade (PEDUZZI, 1999, p. 5-13).

“Para Descartes, a quantidade de movimento do mundo é constante porque ao criar a matéria Deus a dotou tanto de repouso quanto de movimento eterno e indestrutível. O movimento e o repouso são interpretados, corretamente, como estados da matéria. Como, fisicamente, de acordo com o mecanicismo cartesiano, o contato e o choque representam, respectivamente, as únicas possibilidades de comunicação e de ação entre os corpos, Descartes vê no mecanismo das colisões apenas alterações de quantidades de movimento individuais, mas não total do universo.” (PEDUZZI, 1999, p.8)

Por um viés genuinamente metafísico Descartes discorre sobre as causas do movimento, o que, em princípio, parece evidenciar, um contraste à sua tese do movimento, que nega ações ou forças. Contudo, a interpretação sugerida por Descartes para as fontes de atividade na natureza, que se traduzem pela idéia das causas do movimento, encontra-se em um domínio alheio à natureza intrínseca da matéria. Acredita em um princípio dinâmico de gênese metafísica, expresso na ação criadora de Deus, conforme explicita no artigo 36 intitulado “Deus é a primeira causa do movimento e possui sempre a mesma quantidade no universo” de seus *Princípios* (DESCARTES, 2007, p.76-77):

“Deus [...] deu origem à matéria com o seu movimento e o repouso de suas partes, conservando agora no universo, pelo seu concurso ordinário, tanto movimento e repouso como quando o criou [...] Também sabemos que Deus é a perfeição, não só por ser de natureza

através do espaço vazio caracterizava-se uma ‘heresia’, uma defesa contra-senso para os cartesianos que, buscam uma concepção puramente mecânica das interações físicas (gravitacionais, elétricas e magnéticas) (DEBUS, 1996, p. 193; MARTINS, 1998c, p.89-93, p.99-101).

À luz de uma educação newtoniana, pensar em duas partículas que, afastadas, podem exercer efeitos (gravitacionais, elétricos,...) uma sobre a outra parece natural. Contudo, à época, supor forças à distância implicaria atribuir virtudes ‘ocultas’ à matéria, uma vez que parecia impossível uma partícula atrair ou produzir atrações pelas outras à distância sem julgá-la com ‘poderes ocultos’, ‘inteligência’ que a permitisse ‘descobrir’ (localizar), já que não dispõe de visão e outros sentidos, onde estão as outras partículas do universo e, deste modo, atrair ou ser atraída, em uma certa direção, com certa força. (MARTINS, 1998c, p.93). Logo, Descartes acreditava, em sintonia com o ‘horror’ ao vazio, que as forças (ações) deveriam, necessariamente, ser transmitidas por algo material, consequência direta de sua concepção do universo pleno (FORATO, 2006b, p.41-42).

A teoria física apresentada por Descartes nos *Princípios da Filosofia* em 1644 despertou entre seus intérpretes a busca por uma idéia menos obscura sobre o lugar destinado às forças na estrutura ontológica do universo cartesiano, resultado da defesa fervorosa deste personagem histórico à natureza inerte da matéria, pedra angular de sua doutrina mecanicista. Como o programa cartesiano enfatiza princípios explicativos redutíveis à matéria em movimento unicamente, uma questão crucial refere-se à própria definição de movimento.

Ao expor sua idéia da natureza do movimento<sup>32</sup> Descartes desloca a ênfase da força ou ação que transporta para o transporte em si. Insiste que a verdadeira natureza do movimento reside no “transporte” e não na suposta “**força ou ação que transporta**”, a fim de mostrar que o movimento está sempre no móvel (móbil), e não naquilo que move (movente)” (BARRA, 2003, p.305). Conforme afirma DESCARTES (2007, p. 70):

“[O movimento] é a translação e não a força ou ação que transporta, visando demonstrar que o movimento está sempre na coisa movida,

---

<sup>32</sup> A tradição escolástica faz referência ao movimento com sentido de mudança expressando uma interpretação ampla que compreende a passagem de um atributo a outro. Como consequência, além da idéia de movimento local, ou relativo a lugar, considera-se movimento relativo à quantidade (aumento ou diminuição de tamanho) e qualidade (alterações do quente para o frio, do branco para o preto). Em contraste, Descartes exprime como significado inequívoco a idéia de movimento local criticando as demais acepções.

mas, em sentido contrário, deve-se buscar suavizar a extensão das simplificações e, suas conseqüentes distorções, ou, confrontá-las, conforme ZYLBERSZTAJN ensina (1988), para julgar as distintas facetas da história. Enfatiza ainda que:

“Se ao filósofo e historiador, é difícil a adoção de uma postura eclética, o educador científico pode, e deve, valer-se do pluralismo de versões, mostrando como cada uma delas revela diferentes facetas do conhecimento científico. Este posicionamento é particularmente necessário no que diz respeito à formação de professores de física, tanto para o curso secundário como para universidade.”

Com base nisso, na seqüência do trabalho busca-se evidenciar o gênero e a extensão histórica priorizada na abordagem da natureza da luz em textos didáticos do ensino médio com o objetivo de analisar os possíveis impactos, contribuições ou distorções, da dimensão histórica no estudo deste tema. Nesse sentido, obter subsídios para, na continuidade do trabalho, delinear estratégias de ensino que articulem a natureza da luz ao seu contexto histórico, significando os conceitos científicos presentes neste estudo.

### **3.2 O Gênero Histórico Priorizado em Textos Didáticos de Física: contribuições ou distorções para o estudo da natureza da Luz**

Analisa-se o conteúdo de História da Ciência, referente à natureza da luz, apresentado em três livros didáticos de Física do Ensino Médio. Nesta análise, buscamos evidenciar os objetivos da inserção histórica, em termos do tema delimitado; a extensão e o gênero da informação histórica; a possível conjugação dos conteúdos escolares com a exposição histórica; o papel da natureza da ciência junto ao contexto histórico explorado; e a presença ou não de atividades relacionadas ao conteúdo histórico. Como síntese da pesquisa pode-se enfatizar que o gênero histórico comum no contexto educativo e, de fato, presente entre os manuais escolares examinados, caracteriza-se por distorcer, simplificar, reconstruir e resignificar os fatos e episódios científicos, em uma dimensão danosa, um expediente que pode repercutir em equívocos de distintas ordens. Propõe-se explorar as implicações, em termos conceituais e epistemológicos, decorrentes do viés histórico, referentes à natureza da luz, priorizado nos livros

didáticos pesquisados. Cabe enfatizar que, quando se faz referência à “natureza da luz” demarcamos como contexto da pesquisa a Óptica e a Ondulatória. Torna-se pertinente esclarecer que não é objetivo da pesquisa localizar e detalhar a esfera responsável por “dogmatizar” a ciência no sentido da transposição didática. No entanto, é fato que os autores de livros didáticos não estão isentos às críticas e apresentam parcela significativa de responsabilidade sobre o que escrevem.

### Contexto da Pesquisa

Com base em uma detalhada apreciação crítica das coleções didáticas sugeridas pelo PNLD/2006<sup>10</sup> foi possível evidenciar uma incidência expressiva de extratos da HC, no contexto da natureza da luz, em dois manuais escolares particularmente: “Curso de Física” (MÁXIMO; ALVARENGA, 2005) e “Física: ondas, óptica e termodinâmica” (GASPAR, 2001). Em virtude do destaque conferido ao livro didático “Física” (GUIMARÃES; FONTE BOA, 2004) por MEDEIROS (2007), que o referencia como um bom exemplo do uso criterioso da história da Física, consideramos pertinente, nestes termos, incluí-lo aos manuais analisados, embora não se apresente como um livro sugerido pelo PNLD/2006. Logo, desenhou-se o contexto da pesquisa, caracterizada pela análise destes três manuais didáticos que serão designados por manual A, B e C, respectivamente.

Como critério de análise consideramos o contexto de ensino da natureza da luz, em termos históricos, priorizado nos manuais escolares, buscando evidenciar: os objetivos da inserção histórica, em termos do tema delimitado; o gênero/versão histórica priorizada (viés histórico é simplificado, distorcido, se assemelha ao *whiggismo*?); a extensão da informação histórica (detalhamento da história); a ênfase didática dispensada aos recortes históricos (a informação histórica é abordada junto à exposição dos conteúdos científicos? ou lateralmente, como um “box” complementar?); a possível conjugação dos conteúdos escolares com a exposição histórica; o papel da natureza da ciência junto ao contexto histórico explorado; e a presença ou não de atividades relacionadas ao conteúdo histórico.

<sup>10</sup> Plano Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio de 2006 que continua válido para 2008. Disponível [http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/port366\\_pnlem.pdf](http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/port366_pnlem.pdf). PORTARIA Nº 366, de 31 de janeiro de 2006.

A partir do século XVII apresenta-se uma forte tendência à adoção de uma imagem mecânica da natureza na construção de teorias científicas, em particular no domínio da física. O programa mecanicista imagina a natureza em termos da metáfora ‘máquina’ em contraposição à metáfora ‘organismo’, vigente no pensamento clássico aristotélico. Razões para a emergência de uma nova imagem de natureza na modernidade científica: a relação entre Deus e a natureza, reafirma-se a ênfase no voluntarismo divino (traduz-se na idéia do poder irrestrito de Deus que, pode intervir constantemente na natureza), negado, em certo sentido, por Aristóteles onde não há criação e o mundo é eterno, além de expor a tese de princípios de ordem natural, definidos por sua filosofia natural e, que, portanto, transcendem a ordem divina; a ontologia mecanicista eliminou as ‘essências’ e ‘virtudes’ na natureza, divinizada pelos antigos, a imagem da natureza como viva e ativa cede lugar a uma natureza passiva, sujeita aos desígnios divinos. Nesse sentido, só há uma natureza, uniforme e redutível, em última instância, à matéria e ao movimento. Essas entre outras características ilustram o contexto de ruptura com as imagens de natureza e de ciência da Antiguidade que, assimiladas, transformadas e transmitidas, contribuem para a construção de uma nova visão de natureza e ciência (ABRANTES, 1998, p. 31-52; p. 53-72).

Um personagem expressivo deste contexto histórico é René Descartes (1596-1650) que adota uma postura mecanicista delineando uma forte vertente de pensamento à época. Na imagem cartesiana da natureza o universo é preenchido por matéria e, em virtude disso, o vácuo não é possível (DESCARTES, 2007, p. 66). A cosmologia cartesiana expõe uma imagem distinta de matéria, movimento e mundo, com fortes objeções à tese presente no aristotelismo escolástico. A matéria, essencialmente inerte, passiva, isenta de características ocultas ou finalísticas, não apresenta poderes, qualidades, nem forças; apenas conserva movimento (DESCARTES, 2007, p. 59-93).

Como evidência da singularidade deste contexto histórico mecanicista e, deste modo, da visão cartesiana da natureza, a racionalidade científica priorizava destruir os vestígios de crenças supersticiosas e místicas da natureza, presentes com intensidade na cultura científica renascentista (ALFONSO-GOLDFARB, 1988). A reinterpretação da magia no século XVII resultou, na tradição cartesiana, em uma aversão, por exemplo, à idéia de força, em sentidos distintos, contudo, particularmente à idéia de forças (ações) à distância. Imaginar a existência de forças (ações) à distância, atuando diretamente

da alquimia além de trabalhos como de Aristóteles (384-322 a.C); Galeno (c.130-201 d.C) e Ptolomeu (c. 100-178 d.C) (DEBUS, 1996, p.22-44). Neste fértil terreno, a herança cultural inspira árdios ‘construtores’, como Copérnico (1473-1543) à delinear o modelo heliocêntrico, em meados do século XVI, que destituiu o homem da posição privilegiada, singular, do universo por romper com a concepção planetária geocêntrica (ALFONSO-GOLDFARB, 1988, p. 156).

“A figura renascentista tem a ruptura como lema... Entretanto, este contestador das ‘autoridades’ medievais apóia-se ainda nas ‘autoridades’ clássicas preservando o sistema de mundo legado pelos antigos. Não podemos nos esquecer que o *De revolucionibus* de Copérnico, só viria à luz numa época próxima à sua morte (meados do século XVI), e que a consolidação de seu sistema só se dará tempos mais tarde. Mas, talvez, o mais importante de ser mantido em mente seja os motivos que levaram o estudioso a escrever esta obra ‘revolucionária’: a volta à tradição platônica das esferas perfeitas ‘corrompidas’ pelos epiciclos de Ptolomeu... No momento em que nega o aristotelismo medieval, ele o substitui pelos pensamentos neopitagórico e platônico” (ALFONSO-GOLDFARB, 1988, p. 156).

A figura de Copérnico evidencia a confluência de formas de pensamento e o contexto híbrido de idéias no qual nascia a ciência moderna. Apesar da matemática, experimentação surgirem com expressividade moldando práticas metodológicas divergentes às medievais, crenças de matiz renascentistas também estão presentes e, nesse sentido, divisam ‘antigos’ e ‘modernos’. Georgius Agrícola (1494-1555) e Andréas Versalius (1514-1564) defendiam a retomada da cultura clássica como fonte genuína e verdadeira do saber. Johannes Kepler (1571-1630) e Galileu Galilei (1564-1630) censuravam esse tipo de expediente/apelo, criticando a possibilidade de saberes antigos apresentarem subsídios para as perguntas ‘contemporâneas’ (DEBUS, 1996, p.107-120). Contudo, em contraste a esse juízo, o pensamento destes cientistas carrega fortes sinais de crenças de natureza metafísica que, ao contrário de uma contradição evidenciam a dialética contínuo-descontínuo presente na essência da história da ciência (KOYRÉ, 1979).

O estado do conhecimento que se traduz no século XVII como auge da ‘Revolução Científica’ imprime à ciência traços mecanicistas fundamentais ao mundo do cientista moderno que, em virtude das fortes críticas à herança clássica, se desvencilha cada vez mais dos saberes antigos (ABRANTES, 1998, p. 73-77; FORATO, 2006a, p. 193).

### 3.2.1 - Análise do Gênero e Extensão Histórica nos Manuais Escolares: Contexto da Natureza da Luz

#### *Análise manual didático A*

Os autores apresentam de forma sucinta a controvérsia científica da natureza da luz, expondo o confronto entre o modelo de partículas, defendido por Newton, e o modelo ondulatório, de Huygens, em uma leitura complementar<sup>11</sup>, na seqüência do conteúdo “refração da luz”. Neste contexto, enfatizam fortemente os trabalhos de Newton ao detalhar a interpretação da teoria corpuscular à variação de velocidade da luz em diferentes materiais, explicitando que Newton concebia a velocidade da luz maior em meios mais densos em virtude de uma suposta atração sofrida pelo feixe de luz ao incidir em um meio de maior refração, como a água, por exemplo. Logo, essa força de atração seria responsável pelo desvio na direção de propagação da luz.

Em seguida, reforçam que esta característica contrasta com os pressupostos teóricos defendidos pela teoria ondulatória quanto à velocidade da luz. Entretanto, não expressam, neste momento porque a velocidade da luz para a visão ondulatória deveria ser menor em meios mais densos, abordando o tema apenas no capítulo seguinte quando tratam ondas. Deste modo, há uma extensa lacuna na apresentação da controvérsia científica, que suprime a discussão do ponto de vista ondulatório, enfatizando apenas a dimensão corpuscular. Apesar do modelo ondulatório ser retomado em capítulo seguinte, apresenta-se em outro contexto, caracterizado por um propósito didático distinto, não o da narrativa de um episódio controverso na ciência, no sentido histórico, mas sim, para ilustrar a base do ‘princípio de Huygens’, analisado em termos geométricos e, em seguida, em um contexto atual, articulando a idéia de periodicidade. Contudo, um fato estranho é que o texto nem sequer menciona que o modelo mecânico explorado para a refração de uma onda corresponde a uma idealização genuína de Huygens.

A primazia dedicada a Newton deve-se possivelmente às suas contribuições a Mecânica e, por conseqüência, seu prestígio junto à comunidade científica, um julgamento freqüentemente presentes nos “arremedos históricos” disseminados nos textos didáticos, que buscam a história das sínteses racionais (MARTINS, 2006a; ZANETIC, 1989)

<sup>11</sup> “Tópico especial para você aprender um pouco mais” intitulado “As idéias de Newton sobre a natureza da luz e as cores dos corpos”.

como evidência de uma ciência sem desvios ou falhas, a “ciência dos vencedores”. O estilo e a extensão da narrativa valorada possibilita julgar como intrínseco ao texto um gênero histórico equivocado, resultado de uma reconstrução que não está isenta a distorções de natureza conceitual e epistemológica (BALDINATO; PORTO; 2007).

A exposição histórica da natureza da luz, priorizando o modelo de Newton, parece bastante coerente com a visão de que a utilização didática da HC deve ser direcionada como mais um conteúdo a ser incorporado no Ensino de Física. O papel desta perspectiva parece resumir-se ao de mera ilustração, uma curiosidade sobre peculiaridades dos cientistas ou de um fato científico, uma distração ao estudante, cansado do formalismo matemático da Física. Logo, os equívocos ou supressões parecem atenuados diante do propósito do texto. A história estritamente racional e vencedora, evidenciada pela ênfase a Newton, mesmo que no estudo da natureza da luz seu êxito não seja comparado ao da Mecânica (MARTINS, 2006a), justifica, com base nestes argumentos, a primazia dada a este cientista.

Defende-se, por outro lado, que a utilização da HC como estratégia didática parece articular conceitos, significar e contextualizar os conhecimentos estudados, cumprindo uma função mais crítica. Nestes termos, uma história puramente cronológica/factual não se adequaria para este fim.

Uma característica simplificada da natureza e construção da ciência apresentada pelos autores refere-se à idéia de experimento crucial, evidenciada quando os autores encerram a discussão sobre a luz afirmando a experiência de Foucault (1850) como fato científico determinante para o abandono definitivo do modelo corpuscular newtoniano da luz, sugerindo que a controvérsia da luz estivesse concluída:

“Em 1862, um acontecimento importante dava fim a esta disputa que vinha se prolongando por mais de 150 anos. Como foi mencionado no Tópico Especial do capítulo anterior, p.182, nesse ano o físico francês Foucault conseguiu medir a velocidade da luz na água, verificando que seu valor era menor do que no ar. A teoria corpuscular de Newton, conforme vimos, ao explicar a refração, previa exatamente o contrário. Desta maneira, as idéias de Newton sobre a natureza da luz tiveram de ser definitivamente abandonadas, pois elas levam a conclusões que estavam em desacordo com os resultados experimentais” (MÁXIMO; ALVARENGA; 2005, p. 226).

As dimensões de análise priorizadas no contexto de Huygens evidenciam uma possível **Trama Histórica** que, articulada à **Trama Conceitual** (categoria conceitos físicos) expõe uma alternativa de seqüência didática para o tema ondas, do mesmo modo que uma alternativa para delinear estratégias de ensino com ênfase à dimensão histórica dos modelos científicos em temáticas distintas, uma extrapolação pertinente em termos de pesquisa.

Explora-se a seguir as dimensões históricas presentes no contexto do modelo ondulatório de Huygens sistematizadas na estratégia de ensino com o objetivo de detalhar, em termos didáticos, a proposta delineada.

### **8.3 - Contextos Históricos de Análise: possíveis contribuições didáticas (Trama histórica x Trama conceitual: estratégia didática)**

#### **8.3.1 - Dimensão Temporal do Modelo de Huygens: imagem mecanicista da natureza**

O modelo ondulatório de Huygens para a natureza da luz nasce em um contexto caracterizado por uma imagem mecanicista da natureza. Discutir, em que contexto histórico tem origem as idéias de Huygens e, nesse sentido, qual a extensão do mecanicismo em sua imagem da natureza da luz contribui para expor o real modelo ondulatório proposto por este cientista, em contraste à abordagem, com relativa frequência, atemporal e resignificada, dedicada a este personagem histórico no ensino da física (STAUB; SOUZA CRUZ, 2008; SILVA, 2007; KRAPAS, 2007).

A imagem de natureza baseada nos moldes mecanicistas caracteriza-se expressão de um conflituoso período histórico, freqüentemente conhecido como Renascimento, no contexto da cultura européia, entre os séculos XIV e XVI. A busca humanista da cultura clássica greco-romana, a queda de Constantinopla (1453), o declínio do sistema feudal, a invenção da bússola, a criação da imprensa constituem fatos que contribuem inegavelmente para fissuras irrecuperáveis nas dimensões social, política, cultural, religiosa e científica da época (FORATO, 2006a, p. 193-194; 2006b; 2003, p. 17-24). Uma nova visão de natureza reascende com a retomada de textos da astrologia, da magia,

Contexto didático		
Objetivos de natureza conceitual	Questões problematizadoras	Conceitos Físicos
* Caracterizar a natureza da luz presente em Huygens em termos de um modelo de onda mecânica.	Qual a extensão do mecanicismo na imagem da natureza da luz delineada por Huygens?	Com base nessa apreciação crítica explorar o modelo atual de onda mecânica priorizando: * Discutir como surge uma onda; * Explorar o papel da força restauradora no contexto das ondas mecânicas; * Analisar tipos de ondas mecânicas (com base em 3 modelos distintos); * Caracterizar movimento periódico ou oscilatório, modelo massa-mola e pêndulo simples; * Caracterizar um movimento periódico com base amplitude, frequência, período, frequência angular; * Reconhecer MHS; * Discutir o MHS em termos de energia; * Definir Lei de Hooke; * Transpor a idéia do movimento periódico para o caso de uma onda em uma corda; * Explorar os mecanismos de uma onda periódica longitudinal; * Explorar a energia em um movimento ondulatório.
* Confrontar o modelo de onda mecânica presente em Huygens com o modelo atual de onda mecânica.	* Em que sentido a visão de onda mecânica em Huygens diverge do modelo atual de onda mecânica? Priorizar uma análise conceitual. (Como surge uma onda? As ondas mecânicas necessitam de um meio? Em Huygens evidencia-se a idéia de força restauradora? Qual a noção de força?	* Velocidade da luz depende do índice de refração (n); * velocidade das ondas sonoras depende unicamente do meio; * Quando há mudança de meio quais características das ondas se alteram? * A frequência se mantém constante mesmo com uma mudança de meio. O que muda então? Quais as características das ondas que se alteram? A velocidade da luz e do som dependem do meio no qual se propagam por motivos divergentes. Os sons de todas as frequências propagam-se com igual velocidade em um dado meio, com a luz ocorre o mesmo? Diferentemente no caso da luz cada frequência tem uma velocidade diferente, isso permite observar a dispersão da luz em um prisma, por exemplo.
* Discutir a propagação de uma onda mecânica e detalhar o mecanismo restauração de equilíbrio em termos de forças restauradoras	Como restitui-se o equilíbrio do éter para Huygens ao sofrer uma perturbação? Qual o mecanismo de restauração? Qual o papel (natureza) do éter para restituir o equilíbrio? A luz poderia se propagar em outro meio? A natureza especial das ondas mecânicas de luz *Quais as características fundamentais de uma onda mecânica no modelo atual? * Como uma onda mecânica se propaga? *O que uma onda transporta? *Há transformação de energia? De que forma?	*Velocidade da luz depende do índice de refração (n) e da frequência; *velocidade das ondas sonoras depende unicamente do meio; * Quando há mudança de meio quais características das ondas se alteram?
Se a luz fosse uma onda mecânica como o som, para Huygens, não era de se esperar que ela se propagasse com maior velocidade em meios mais densos?  (Discutir a relação entre a frequência, comprimento de onda, velocidade da onda)	*Velocidade da luz depende do índice de refração (n); * velocidade das ondas sonoras depende unicamente do meio; * Quando há mudança de meio quais características das ondas se alteram? * A frequência se mantém constante mesmo com uma mudança de meio. O que muda então? Quais as características das ondas que se alteram? A velocidade da luz e do som dependem do meio no qual se propagam por motivos divergentes. Os sons de todas as frequências propagam-se com igual velocidade em um dado meio, com a luz ocorre o mesmo? Diferentemente no caso da luz cada frequência tem uma velocidade diferente, isso permite observar a dispersão da luz em um prisma, por exemplo.	
* Discutir o fenômeno de interferência	* Por que os raios de luz, provindos de uma infinidade de lugares se cruzam sem, em nada, atrapalharem-se uns aos outros? * O que são ondas periódicas? * Quando uma onda sofre interferência? Quando ocorre a superposição de ondas? * Como se pode produzir ondas em fase ou com uma diferença de fase constante?	

Desta forma, simplificam equivocadamente a história da física e distorcem conceitualmente a natureza da luz, justamente porque não referenciam, mesmo brevemente que a história desta controvérsia científica continua, uma vez que a interpretação da luz atualmente aceita não se assemelha ao modelo delineado por Huygens e Newton. Nesse sentido, torna-se inadequado um texto com este perfil conceitual e histórico, por não possibilitar uma compreensão crítica da natureza da luz, da mesma forma que uma discussão histórica significativa por, em virtude desta lacuna, transmitir a idéia de que o contexto polêmico da natureza da luz se encerraria, pacífica e linearmente, com o experimento de Foucault. A primazia conferida às idéias de Newton, mesmo que caracterize propósito do texto, conforme sugere o título da leitura complementar<sup>12</sup>, reforça estas deformações de conteúdo e contexto histórico.

Embora a interrupção dada à seqüência histórica, sugerindo o experimento de Foucault como experimento crucial na controvérsia da natureza da luz pareça sem propósito, evidenciou-se na obra “Origens Históricas da Física Moderna” (GIBERT, 1982, p.126), com perfil histórico específico e distinto do livro analisado - com fins didáticos -, a presença dessa idéia:

“A teoria da emissão [teoria corpuscular de Newton] não pode resistir à experiência crucial de Foucault. Nem o prestígio de Newton lhe valeu. Teve que ceder perante o resultado experimental, repetível, controlável, isto é, com sentido indiscutível. E é bom que assim seja em todo o conhecimento que se queira científico.”

Em síntese, a narrativa histórica da natureza da luz articulada pelo texto didático examinado abriga distorções que comprometem a compreensão de conceitos físicos, como a dualidade onda-partícula da luz, e o polêmico contexto histórico da luz. De fato, as simplificações para fins didáticos, em especial o expediente adotado, merecem alerta. Os autores deveriam deixar o tema em aberto e não caracterizá-lo de forma conclusiva, não incorrendo assim, em possíveis equívocos como a idéia de que a síntese racional da natureza da luz cabe à experiência de Foucault unicamente. Oculta-se, por exemplo, neste desenho histórico, a

<sup>12</sup> “As idéias de Newton sobre a natureza da luz e as cores dos corpos”

retomada anterior do modelo ondulatório por Young<sup>13</sup> e Fresnel (ABRANTES, 1998). A gênese e o desenvolvimento da natureza da luz apresenta um caminho irregular, sinuoso, que dificilmente se reverenciaria a um fato científico estanque.

A análise deste livro didático permite enfatizar a necessidade de delinear objetivos claros ao tratar determinado episódio histórico ou conteúdos de ensino. Com que propósito os autores apresentam a natureza da luz em um texto complementar com primazia às idéias de Newton? A breve menção a Huygens e a interrupção da discussão com o experimento de Foucault pode contribuir para uma visão contextual e conceitual da controvérsia da natureza da luz?

Apesar da apreciação crítica percebemos que há um avanço, ainda que de forma tímida, quanto ao tipo de história articulada a este texto complementar, pois, diverge do perfil usual de apresentar vida e obra dos cientistas, contudo, não explicita de forma transparente a controvérsia científica da natureza da luz.

#### **Análise manual didático B**

A estratégia de abordagem dos elementos históricos, utilizada pelo autor, prioriza quadros, semelhantes às tiras de desenhos em quadrinhos, *destacados* do texto principal, apresentando de forma breve os episódios científicos. Este espaço também apresenta outras dimensões dos conhecimentos físicos estudados, como por exemplo, articulações ao cotidiano, às tecnologias, explora os sentidos de termos científicos e confronta-os com o senso comum, aprofunda conceitos, deduções matemáticas, entre outros (BASSO, 2004).

Embora consideramos válidas as tentativas da utilização didática da HC em livros escolares, porque acreditamos que textos dessa natureza desafiam pesquisas e a própria sala de aula, espaço que pode ou não referendar propostas desse gênero e, também, por exprimirem um esforço de mudança, ainda que gradativo, não se pode ocultar e disfarçar a insuficiência de tais abordagens históricas. A forma sintética e descolada do texto principal, verdadeiros arremedos históricos, lançam uma idéia de pouco valor ao texto, que será explorado se o tempo for suficiente, como uma curiosidade que distrai o espírito cansado do formalismo matemático priorizado no ensino de física. Por outro lado,

Contexto Dimensão de análise – contexto/ episódios histórico	Contexto didático	
	Objetivos de natureza histórico-epistemológica	Questões problematizadoras
Dimensão temporal do modelo de Huygens: imagem mecanicista da natureza	* Explorar o real contexto histórico no qual nascem as idéias de Huygens referentes à natureza da luz, demarcada por uma 'imagem de natureza' singular.	* Como se caracteriza o contexto histórico no qual tem origem as idéias de Huygens?
Ausência da idéia de força restauradora na interpretação mecânica das ondas	* Propiciar uma imagem da natureza efêmera dos modelos científicos. (Pq contrapõe o modelo de Huygens com o modelo atual de ondas mecânicas)	* Em que sentido a visão de onda mecânica em Huygens diverge do modelo atual de onda mecânica? Quais as semelhanças? Priorizar uma análise do contexto histórico.
A natureza do éter na interpretação ondulatória da luz	* Detalhar a natureza do éter para Huygens e sua pertinência junto ao modelo delineado para a luz;	Em que termos não é possível, na interpretação de Huygens, dissociar a luz da idéia de éter?
Opacidade e Transparência dos corpos: uma visão da causa da refração Analogia entre a luz e o som;	* Explorar a luz como uma onda mecânica distinta do som.	Em que sentido a luz não se assemelha ao som, embora se caracterizem como ondas mecânicas, para Huygens e no sentido atual? (fundamentalmente em virtude do éter, o éter faz toda a diferença... ele é responsável pela propagação do pulso... logo determina inclusive a velocidade)
Ausência da idéia de interferência de ondas no modelo delineado por Huygens	* Explorar a característica crucial que contribui para delinear o 'real' modelo, de natureza mecânica, proposto por Huygens: a ausência da idéia de interferência de ondas; * Evidenciar o insucesso presente em tentativas de traduzir a visão de Huygens em termos de um modelo ondulatório atual. * Propiciar uma imagem da natureza efêmera dos modelos científicos.	* Como o modelo ondulatório de Huygens se afasta de uma possível articulação com o contexto científico atual, da ondulatória moderna? * Por que a ciência constrói modelos, qual sua natureza e seu papel no contexto científico?

<sup>13</sup> Ao tratar interferência da luz, dedicamos, em uma quadro uma breve síntese biográfica deste personagem científico. De suas contribuições à ciência destacamos o fato de ter obtido interferência com a luz e a sua proposta da transversalidade das ondas luminosas.

parcial dos modelos científicos evidencia-se neste contexto, problematizando a idéia de conhecimento absoluto, naturalizada no ensino de física.

\* O significado físico de elasticidade ideal inerente ao éter caracteriza um expediente necessário para um modelo de ondas que não apresenta claro o conceito de força como o proposto por Huygens, o que sugere semelhança com a interpretação de elasticidade do ar presente no contexto de propagação das ondas sonoras. O mecanismo de restauração de equilíbrio do ar não pressupõe a idéia de força restauradora de modo análogo ao éter. A possível extensão entre os dois modelos evidencia uma dimensão com potenciais pertinentes ao ensino de física. Emerge para o estudo didático, em termos conceituais, a interpretação do mecanismo de restauração de equilíbrio em termos de forças ou equilíbrio de pressão no modelo de ondas mecânicas em sólidos e líquidos ou em gases, respectivamente.

\* A ausência da idéia de interferência de ondas exprime uma característica crucial na interpretação ondulatória de Huygens que contribui para delinear o ‘real’ modelo sugerido por este cientista. Em termos da natureza da ciência possibilita evidenciar o insucesso presente em tentativas de traduzir a visão de Huygens no sentido de um modelo atual, do mesmo modo que a natureza dos modelos científicos; em termos conceituais, constitui terreno fecundo para um estudo da superposição de ondas como um conceito fundamental para a visão de ondas à luz do presente e uma evidência incontestável da natureza ondulatória da luz.

Apresenta-se, então, a estratégia didática, sistematizada no quadro-síntese exposto:

este autor apresenta algumas menções relâmpago a fatos históricos no decorrer do texto base de cada capítulo. Dedicaremos nossa apreciação às referências históricas articuladas à natureza da luz nas duas formas que se apresentam os elementos históricos.

No espaço dispensado ao estudo das ondas, em um quadro destacado do texto base, apresenta as características essenciais das ondas e das partículas com o propósito de distinguir estes objetos científicos, sugerindo, contudo, que não correspondem a idéias opostas (GASPAR, 2001, p.32). Expõe, então, o contexto de inquietação na ciência em fins do século XIX e início do século XX, em virtude da interpretação dual da luz e dos elétrons. Na seqüência, com o propósito de esclarecer a natureza eletromagnética da luz discute sucintamente a idéia de éter (em um “box” específico) para evidenciar a resistência histórica em tratar ondas na ausência de um meio para propagação. Nestes termos, referencia a experiência de Michelson-Morley, contudo, delineando como gênese desse fato científico a busca de evidências que corroborassem a existência/presença do éter, uma visão histórica equivocada, pois disfarça a história genuína. Embora, com relativa frequência, os textos didáticos, de nível médio e universitário, veiculem essa idéia, a real fonte de inspiração do interferômetro de Michelson-Morley (1887) era a de medir a velocidade da luz no éter (VILLANI, 1981). Em contraposição, a versão da historiografia tradicional enfatiza “o resultado negativo da experiência”, fazendo alusão à idéia de que se buscava realmente corroborar ou refutar a existência do éter.

Esse tipo de história exemplifica claramente a versão *whig* da história, por falsear e distorcer a HC em face da ciência atual. Logo, a perspectiva priorizada busca analisar o passado à luz do presente, em um sentido unívoco, marcado por deslocar os episódios científicos de seus contextos históricos ao interpretá-los em um sentido atual e, em muitos casos, deformando sua essência em virtude dessa “reconstrução racional”<sup>14</sup>. Em geral, a própria polêmica que se estendeu em virtude das conseqüências da experiência do interferômetro e que, desencadearam uma sucessão de tentativas na busca de invalidá-la não é apresentado nos livros didáticos, quando há referência histórica a este fato científico. Uma aparente “sutileza”, “detalhe” histórico que, no entanto, deixa clara a resistência à mudança de rede conceitual de uma

---

<sup>14</sup> A reconstrução racional nos termos de Lakatos (1998) resignifica a HC com base no que interessa à ciência atual e assim omite/suprime todos elementos de irracionais, elementos do contexto de criação de uma teoria, como, por exemplo, as inspirações dos cientistas, a gênese metafísica de fatos científicos, características que expressam um forte traço do gênero *whig*.

comunidade científica, ilustrando mais uma característica humana da ciência não revelada aos estudantes.

Uma análise extensa dessa coleção didática (PAGLIARINI, 2007, p.81) acentua que a marca expressiva do texto prioriza “as idéias aceitas atualmente e, no geral, ignora as contribuições de outros pesquisadores sobre o assunto explorado, centralizando em personagens principais”, em síntese, uma história tipicamente *whig*.

No que tange o estudo da refração o autor enfatiza que esse fenômeno nem sempre foi interpretado à luz do modelo ondulatório, estendendo o debate em um quadro destacado do texto base, caracterizando a discussão mais expressiva dos episódios históricos presentes na controvérsia científica da natureza da luz. Em contraste ao livro anteriormente analisado, este apresenta a controvérsia sem uma visão tendenciosa a uma das interpretações da natureza da luz, abordando na perspectiva dos dois modelos a refração, exibindo inclusive figuras para ilustrar tais concepções.

Neste contexto, detalha que o modelo ondulatório previa uma velocidade menor para a luz em meios mais densos. Com pressupostos contrários, o modelo corpuscular previa que a velocidade da luz, ao passar para um meio mais denso, como do ar para a água, deveria aumentar. A hipótese corpuscular sugeria a existência de uma força atuando no sentido de acelerar as partículas de luz para dentro da água, aumentando, por conseguinte, sua velocidade. Ao contrário do manual didático A este autor não sugere a experiência de Foucault como crucial, categórica, no sentido popperiano (POPPER, 1982), mas como pertinente para sustentar a hipótese ondulatória, sem depreciar outras contribuições que fortaleceram esse modelo da natureza da luz, em oposição à perspectiva corpuscular.

Como é possível evidenciar, as informações históricas apresentam-se mais timidamente em alguns casos, em outros com um detalhamento maior, contudo sempre através de breves referências colocadas ao longo do texto, abordada em um quadro estanque que, embora se articule ao texto central por um *link*, continua como um adereço, meramente. Essa estratégia de uso da HC não favorece uma abordagem significativa dessa dimensão da ciência, justamente porque interrompe o texto estudado e, por isso, muitas vezes é esquecida pelo professor e pelo estudante, que encaram esse tipo de abordagem como mais figurativa, uma curiosidade e, não como uma informação realmente pertinente que contribua para contextualizar e significar o tema de estudo. Além disso, o produto final da ciência ganha destaque

## 8.2 - Estratégia Didática: categorias de análise

O quadro-síntese a seguir explorado apresenta a **estratégia didática** delineada para o estudo do tema ‘ondas mecânicas’. A **categoria ‘contexto de análise’** expõe dimensões presentes no modelo de Huygens com potenciais didáticos significativos para abordagem do modelo atual de ondas, destacando-se: a imagem mecanicista da natureza; ausência da idéia de força restauradora no modelo mecânico das ondas; a natureza do éter: interpretação do mecanismo de restauração de equilíbrio; ausência da idéia de interferência de ondas. As **categorias** que integram o contexto didático caracterizam os possíveis **objetivos de natureza histórico-epistemológica e conceitual** seguidos da **dimensão problematizadora** correspondente à dimensão histórica do ‘contexto de análise’. A **categoria ‘conceitos físicos’** ilustra os conhecimentos possíveis de se explorar junto à exposição histórica. As sínteses a seguir evidenciam a possibilidade da abordagem proposta para o estudo de caso, ilustradas no quadro-síntese e detalhadas em seções específicas na seqüência:

\* O modelo ondulatório de Huygens para a natureza da luz nasce em um contexto caracterizado por uma imagem mecanicista da natureza. Discutir, com intencionalidade didática, em que contexto histórico tem origem as idéias de Huygens e, nesse sentido, qual a extensão do mecanicismo em sua imagem da natureza da luz contribui para expor o real modelo ondulatório proposto por este cientista, em contraste à abordagem, com relativa freqüência, atemporal e resignificada, dedicada a este personagem histórico no ensino da física, do mesmo modo que explorar a inegável influência de suas convicções de natureza e mundo em sua obra científica;

\* Na visão de ondas mecânicas delineada por Huygens inexistente a idéia de força (restauradora), nestes termos, se distancia fortemente do modelo atual de ondas mecânicas em sólidos e líquidos que incorpora o mecanismo de forças para explicar a restauração de equilíbrio desses meios. Detalhar em que sentido a interpretação de Huygens se afasta do modelo atual possibilita priorizar uma análise conceitual, ao explorar a pertinência da idéia de força no estudo de ondas mecânicas, e histórico-epistemológica, ao discutir a dinâmica de modelização de conceitos como o de força, por exemplo, que apresenta um longo movimento histórico até se moldar conforme a interpretação newtoniana. A natureza

As dimensões específicas do modelo de Huygens priorizadas remetem fortemente à idéia de modelos científicos. Como o presente estudo de caso enfatiza um gênero histórico crítico, evidentemente, a história delineada deve prescindir uma visão de ciência, contudo, sem referência expressiva a um personagem da epistemologia.

A interpretação de que um modelo científico sempre se caracteriza parcial, imperfeito à luz do real evidencia a impossibilidade de acreditar na ciência como uma imagem fiel e um conhecimento absoluto, imutável, da natureza, retratando, seguramente, a essência provisória dos modelos científicos. Do ponto de vista historiográfico contribui para olhar o passado como um contexto de formação genuína de modelos científicos que apresentam uma imagem simbólica, incipiente, porém aperfeiçoável da realidade. Ao contrário de uma visão destrutiva que encara o passado como uma sucessão de equívocos despropositados, reinterpreta-os à luz da visão de hoje.

Embora o presente trabalho não pretenda uma narrativa totalmente fiel aos episódios históricos, mas demarcada por uma interlocução com propósitos didáticos claros, busca encarar o passado como um começo, o que reflete um gênero histórico (historiográfico) crítico e atenua o efeito devastador de uma abordagem ‘anacrônica’, explorando o movimento gradual e progressivo do real-percebido ao real-idealizado presente na modelização científica.

Detalhar, junto aos estudantes, a essência do modelo de Huygens, favorece uma visão mais clara e, portanto, significativa, da natureza das ondas imaginada à época e, no que tange os conceitos físicos, possibilita um contexto crítico para inserir o modelo atual de ondas, com base em uma abordagem caracterizada pelo confronto de modelos científicos. Logo, para o contexto educativo, a estratégia didática delineada prioriza discutir aspectos fundamentais do modelo ondulatório de Huygens com o propósito de os estudantes mergulharem nos problemas e nas questões que conduziram à construção do modelo atual de ondas tendo em vista os **potenciais didáticos do movimento histórico de modelização científica**: transformar os conteúdos de ensino e expor aos estudantes o mecanismo de construção de modelos científicos como instrumentos pertinentes para lidar com a própria construção do conhecimento em sala de aula.

nos livros didáticos. Quando se faz referência à HC, o estilo mitificado dessas descrições ilustram uma face da ciência que não apresenta uma interlocução sólida com os conteúdos estudados. De um lado, a linha contínua, que segue o curso cronológico de fatos científicos “vencedores”, “realmente” pertinente aos estudantes. Do outro, um pouco da história, em geral caricatural, para divertir.

### *Análise manual didático C*

O livro C não foi selecionado pelo PNLD, contudo, como se caracteriza por um texto diferenciado (MARTINS, 2007) consideramos pertinente incluí-lo em nossa apreciação crítica, por apresentar de forma expressiva elementos da HC.

Em oposição à estratégia de abordagem priorizada nos demais textos didáticos, que apresentam a HC em “arremedos” dissociados do texto base, o referido livro articula a HC ao longo da apresentação dos conteúdos ordinários, com o objetivo de contextualizar e conduzir as discussões. Essa característica pode ser evidenciada no tratamento conferido ao tema natureza da luz por explorar os principais fatos científicos presentes nesta controvérsia científica junto ao desenvolvimento do texto principal, em uma perspectiva que diverge da idéia “anedótica”, que se esgota em um quadro ilustrativo estanque, usualmente presente em termos didáticos. O contexto histórico da natureza da luz articula-se ao estudo das ondas, explicitado no terceiro volume da coleção<sup>15</sup>, por contraste a seqüência didática com freqüência adotada pelos livros texto que abordam a ciência ondulatória junto à Óptica e à Termologia no segundo volume. Nestes termos, os autores discorrem sobre uma *visão histórica da luz* em uma seção específica, na seqüência do estudo das ondas sonoras.

A dimensão histórica ilustrada pelo autor confere primazia ao contexto científico do século XVII com o confronto dos modelos de Newton e Huygens explicitando com detalhes, quando trata a refração da luz, a contradição presente entre as duas teorias: para a ondulatória o desvio deveria ser acompanhado de uma diminuição na velocidade da luz, quando por exemplo, passa do ar para água, enquanto para a teoria corpuscular, deveria ocorrer o contrário. Os autores expõem, seguindo uma seqüência cronológica dos fatos científicos mais expressivos para o

---

<sup>15</sup> O **volume 2** divide-se em termologia e óptica. A óptica enfatiza a dimensão geométrica enquanto a óptica física é abordada no **volume 3** que se divide em eletricidade e ondas.

delineamento da interpretação atual da luz. As contribuições de Young e Fresnel no início do século XIX com as experiências de interferência e difração que evidenciam as características tipicamente ondulatórias da luz. Articulados a isso as medidas da velocidade da luz no ar e na água por Fizeau e Foucault, respectivamente, contribuem para a consolidação da interpretação ondulatória. A idéia de que a gênese da ciência está em um problema é ilustrada pelos autores que enfatizam a busca dos cientistas por uma imagem mais clara sobre o que é a luz. Os trabalhos de Maxwell que conduzem à natureza eletromagnética da luz são destacados.

É possível destacar que, em sentido oposto aos manuais escolares examinados anteriormente, não foram encontradas incorreções significativas na informação histórica disponibilizada, fundamentalmente por expor a polêmica em termos da natureza da luz sem ênfases a personagens “geniais” ou a experimentos “cruciais”, comum no tratamento conferido a Newton e a experiência de Foucault e Fizeau, respectivamente, uma característica que se expressa pela simetria no espaço dedicado às discussões do modelo da luz de Newton e Huygens e pela referência, mesmo que tímida, às contribuições de Young e Fresnel na estruturação do modelo ondulatório da luz. O fato de não encerrar a polêmica deste tema sugerindo um experimento “crucial” que, além de interromper a história, interpretando-a como acabada, também induz facilmente à visão individualista do trabalho científico, exprime o olhar atento dos autores à perspectiva histórica delineada, embora a ausência dos detalhes relativos aos trabalhos de Young e Fresnel, personagens apenas citados no texto, simplifique a história.

Por outro lado, a inexistência de um esclarecimento das idéias da época, das “imagens de natureza” presentes no modelo de Newton e Huygens conduz à visão de que suas idéias se encerram em si mesmas, e por isso, não contemplam um “contexto de referência” que, neste caso, se caracterizava pelo mecanicismo.

A apreciação crítica dos livros didáticos buscou ilustrar as contribuições ou distorções da abordagem histórica no contexto da natureza da luz e suas possíveis repercussões no ensino deste tema. Com base nisso, foi possível delinear um amplo espectro das características presentes nas referências históricas exploradas no contexto de pesquisa demarcado.

Uma característica pertinente, evidenciada na análise, tange a ausência de referências às fontes bibliográficas que contribuíram para

luz. Acompanhar o mecanismo de modelização presente no curso histórico coloca o aluno diante da significação e resignificação das idéias e ilustra a dinâmica de abstração inerente a esse processo.

A modelização está presente em distintos episódios históricos da natureza da luz. Outro exemplo representativo pode ser pensado em termos das ondas imaginadas à época de Huygens, que se caracterizam como uma perturbação em um meio traduzindo uma interpretação de natureza mecânica unicamente, fruto de um contexto que nega o vazio; em direção a uma caracterização abstrata<sup>31</sup> como a delineada no contexto moderno, onde as ondas distinguem-se em função de sua natureza, eletromagnética e mecânica (assimila-se diante disso a possibilidade de propagação das ondas luminosas no vácuo) mas, fundamentalmente, onde as ondas são significadas não em termos da perturbação em um meio mas por suas características essenciais como interferência, difração e polarização.

Uma apreciação justa do caso Huygens pode repercutir em discussões como as destacadas no ensino de física além de exigir uma revisão da idéia que fazemos de ciência, uma atividade comumente caracterizada com frieza histórica, onde se ocultam as crenças e visões de mundo que, muitas vezes, influenciam fortemente a concepção física com que o cientista interpreta a natureza. Um trabalho que ‘reconstrua’ didaticamente o modelo de Huygens buscando situá-lo no tempo evidencia um forte contraste com a imagem de um cientista isolado, neutro e objetivo, dependendo essencialmente dos fatos para estruturar seu modelo científico, um contraponto à visão empirista que sustenta tal tese.

A repercussão da visão de natureza concebida por Huygens em sua obra científica, orientadora de suas concepções físicas e filosóficas, não pode ser depreciada, mas enfatizado seu alcance junto a seu modelo da natureza da luz conforme é possível sinalizar com base nas características presentes no modelo de ondas de Huygens a seguir exploradas.

---

<sup>31</sup> No caso de Galileu que extrai o atrito configura uma maneira de atingir a essência do movimento. O cientista simplifica buscando a essência do fenômeno e, não ao contrário, como uma fuga à realidade, um juízo comum enfatizado no ensino de física. Nestes termos, a simplificação relaciona-se intimamente à abstração, a um afastamento do real imediato. A conquista conceitual presente no processo de modelização científica da realidade tem como gênese as idealizações. Extraem-se traços reais complexos dos fenômenos agrupando-os como uma busca de equivalência.

Em termos históricos, de fato há um longo percurso de modelização científica da imagem de raio de luz como uma noção bastante intuitiva e com forte impressão realista na Antiguidade Clássica ao modelo geométrico dos raios luminosos na interpretação das frentes de ondas de Huygens, base para o mecanismo da superposição de ondas proposto por Young. Uma abstração que exige um distanciamento da realidade concreta em direção a uma realidade ‘idealizada’, porém, com um vínculo estrito à fenomenologia, à natureza íntima da luz, caracterizando um passo fundamental à controvérsia histórica da natureza da luz.

À época dos gregos destacava-se fortes traços substancialistas nas concepções sobre a propagação da luz e a formação de imagens, que não se devem unicamente à defesa da natureza corpuscular da luz, como é possível evidenciar nas compreensões Pitagóricas e Platônicas que não apresentam um viés atomista. Para a tradição pitagórica um fluxo material se relaciona aos mecanismos da visão em sintonia com o que observavam no comportamento dos astros que irradiam luz. Para Platão a visão é propiciada pelo encontro de três raios, um emitido pelos olhos, outro pelo objeto e outro pela fonte luminosa. Entre os atomistas que compartilhavam a crença da luz composta por átomos sutis destaca-se a idéia de que a visão seria possível em função desse fluxo de partículas emitido pelo objeto e responsável por sensibilizar os olhos propiciando a formação de imagens. Neste contexto histórico o sentido conferido ao termo raio de luz nas três vertentes explicitadas tem a conotação de fluxo material o que exprime o realismo inerente a tais visões. A passagem dessa imagem concreta e substancial dos raios para a interpretação de Huygens que assume a idéia de raios como uma ‘representação’ das direções de propagação das frentes de ondas luminosas, desvincilhando-se desse significado realista e apropriando-se de uma construção geométrica<sup>30</sup>, caracteriza uma abstração fundamental na proposta do modelo ondulatório da luz, uma visão que contribui para pensar o mecanismo de superposição de ondas.

Com frequência, os estudantes conferem aos raios de luz realidade física, interpretando-os como um fluxo material (DANON; CUDNAMI; 1993), compreensão que se interpõe como um obstáculo no ensino, por exemplo, à assimilação das características ondulatórias da

descrever os enxertos históricos da natureza da luz, do mesmo modo não há atividades que envolvam os episódios históricos. Entre os livros didáticos examinados, os manuais A e B dispõe de uma extensa lista bibliográfica relacionada à HC, contudo, não é possível precisar a real incursão dessas fontes nas narrativas, justamente porque não há referência junto à exposição histórica delineada para a natureza da luz. Por outro lado, o manual C simplesmente oculta as fontes de pesquisa, a julgar pela inexistência de bibliografias no livro.

No que se refere à ênfase didática dispensada à abordagem histórica da natureza da luz foi possível sinalizar dois estilos distintos: de natureza essencial/básico ou de natureza complementar. Os manuais A e B apresentam a dimensão histórica da ciência com a função didática “complementar”, em enxertos estanques, prioritariamente, à margem da exposição dos conteúdos habitualmente considerados “essenciais”. O manual didático C prioriza como estratégia para abordagem das informações históricas a exposição junto ao texto principal, um estilo que destoa do perfil frequentemente dedicado às narrativas históricas em livros didáticos.

O capítulo seguinte aborda a Transposição Didática do Modelo de Huygens para a física escolar. Detalha as características da transposição didática tradicional e as dificuldades que os estudantes apresentam sobre o conceito de ondas.

---

<sup>30</sup> É Descartes que apresenta uma contribuição fundamental à geometria, fundando a geometria analítica.

## Capítulo 4

### Transposição Didática do Modelo de Huygens: reconstruções e resignificações das idéias originalmente propostas no ‘Tratado da Luz’

Os raros episódios históricos da ciência presentes nos textos didáticos (de distintos níveis de ensino) expõem uma dura realidade criticada de modo intenso pela literatura especializada (STAUB; SOUZA CRUZ, 2008; SILVA, 2007; KRAPAS, 2007; PAGLIARINI, 2007). Traduzem, por assim dizer, a relativa ausência da contextualização histórica na física escolar ou, as graves ‘distorções’ quando, por vezes, se evidencia sua presença. As reconstruções históricas, pelo menos na forma como priorizada nos textos escolares e de divulgação científica, apresentando sucessivos erros, equívocos ou mesmo as extensas lacunas de natureza histórica, são objeto de oposição no contexto de pesquisadores em educação científica (PEREIRA; AMADOR, 2007; MARTINS, 1998a; 1998b).

Contudo, os resultados dessas pesquisas, com pouca frequência, buscam a intencionalidade didática, explícita ou implícita, de origem histórica ou não, de tais abordagens, para então questioná-las. Em um sentido limite, parecem sugerir um ideal para a abordagem histórica da ciência no contexto escolar, ou seja, que é possível não resignificá-la quando sujeita ao movimento de transposição didática (CHEVALLARD, 2005). No entanto, caracteriza-se uma crença ingênua e passível de críticas imaginar que um episódio histórico pode ser contado na física escolar, adequado a um tempo didático, sem descontextualizar, dessincretizar e despersonalizá-lo, mesmo que parcialmente. O que, de fato, merece uma apreciação crítica detalhada, neste contexto, é a ausência de clareza ou, a insuficiência, da intencionalidade didática buscada pelos textos de ensino com a descaracterização histórica dos conteúdos escolares.

Na física escolar, as contribuições científicas de Christiaan Huygens, no século XVII, evidenciam um exemplo expressivo de

## Capítulo 8

### Estratégia Didática: história da ciência com intencionalidade didática

#### 8.1 - Confeção da estratégia didática: breve caracterização

A estratégia didática apresentada prioriza a reconstrução histórica das ‘perguntas’ que, pertinentes ao seu tempo, exibem potenciais didáticos para iluminar o estudo de conceitos físicos no contexto educativo. Na física da escola as contribuições científicas de Huygens, por exemplo, insinuam-se alheias a um modelo físico detalhado da natureza ondulatória da luz, justamente por suas idéias serem consideradas como princípios estanques e aproblemáticos, versão completamente distanciada da rica interpretação apresentada por este personagem histórico em seu ‘Tratado da Luz’. Em contrapartida, quando induz o estudante a uma visão física (modelo físico), com relativa frequência, o modelo está associado a uma interpretação atual que resignifica e distorce o real pensamento deste cientista que, propõe uma concepção essencialmente mecânica das ondas, caracterizada pela ausência de forças e superposição mas, fundamentada em uma sólida compreensão do mecanismo de propagação das ondas (SILVA, 2007; PAGLIARINI, 2007; KRAPAS, 2007).

A expressiva ênfase dedicada à dimensão geométrica dissociada da fenomenologia nos estudos da óptica dificilmente sugere ao estudante uma interpretação física dos conteúdos apresentados. A clara ausência de um diálogo entre a óptica física e a óptica geométrica nos textos didáticos apresenta-se como raiz de diversos problemas de ordem conceitual e histórica. Um exemplo disso refere-se ao distanciamento presente entre a abordagem dedicada aos raios de luz, que se cruzam sem perturbação quando estudados em face da dimensão geométrica e, por contraste, a interferência luminosa conferida à luz junto à exposição ondulatória. A evidente lacuna presente nesta passagem mostra a insuficiência do gênero didático habitual que não remete a uma interlocução entre estas duas dimensões da natureza da luz que, afinal apresenta ou não o mecanismo de superposição?

cientistas da época e historiadores da ciência, a existência de sintonia (“mais sintonia do que se imagina”) entre suas idéias e as delineadas por Newton no ‘Óptica’ e a síntese de Young sobre a superposição de ondas evidencia divergências significativas entre seu modelo ondulatório da luz e o modelo corpuscular de Newton. Para Young, a luz caracteriza-se como a própria vibração no éter e quando essas vibrações atingem um mesmo ponto elas podem provocar dois tipos de superposição, a superposição construtiva ou a destrutiva, dependendo da diferença de percurso entre elas.

reconstrução didática dos fatos históricos. Esta abordagem, priorizada ao se explorar o ‘Princípio de Huygens’ na educação científica, reconstrói as idéias deste cientista em termos de uma interpretação ondulatória atual. Com relativa frequência, o ‘Princípio de Huygens’ agrega, neste contexto, a idéia de superposição de ondas em um modelo de ondas periódicas, por oposição à versão originalmente proposta por Huygens em seu ‘Tratado da Luz’ de 1690 (SILVA, 2007; KRAPAS, 2007). De fato, o real pensamento de Huygens expõe uma concepção essencialmente mecânica das ondas, caracterizada pela ausência de forças e superposição, mas fundamentada em uma sólida interpretação do mecanismo de propagação das ondas (HUYGENS, 1986).

Nestes termos, a característica crucial para delinear o real modelo proposto por Huygens refere-se à ausência da idéia de interferência de ondas. Conforme Huygens, é natural pensar que as ondas se cruzam sem confusão, sem destruir umas às outras. Supõe que uma partícula de matéria pode receber diversas ondas, sucessivas ou simultâneas, provenientes de diferentes direções e, inclusive sentidos contrários, sem que se aniquilem. Ele explica este fato recorrendo à analogia com choques mecânicos, hoje conhecida como ‘berço de Newton’. Do mesmo modo, quando Huygens analisa a origem das ondas e propõe que cada ponto luminoso gera ondas das quais esse ponto caracteriza-se como um centro de emissão, destaca que “[...] as percussões nos centros dessas ondas não possuem uma seqüência regular, também não se deve imaginar que as ondas sigam umas às outras por distâncias iguais”. Logo, torna-se pertinente observar que o modelo proposto por Huygens não pressupõe ondas periódicas, a imagem formada se assemelha a pulsos independentes (HUYGENS, 1986, p. 20-21).

Com essa discussão é possível evidenciar o insucesso presente em tentativas de traduzir a visão de Huygens em termos de um modelo ondulatório atual, como o modelo de superposição de Young, ou descrever “a propagação das interações mecânicas de Huygens com o formalismo de Maxwell”, do mesmo modo que, inversamente, “traduzir a idéia de onda eletromagnética nos termos do Princípio de Huygens [descrita no Tratado]” (SILVA, 2007, p.157).

A visão ondulatória associada a Huygens no ensino de física se assemelha, em larga medida, ao modelo de Fresnel, em virtude da ênfase dada aos elementos de periodicidade e por pressupor interferência das ondas, conforme o sentido proposto por Young (CREW, 1900). Em contrapartida, a perspectiva de Huygens, esboçada no Tratado, retrata

ondas não periódicas e que não apresentam interferência construtiva ou destrutiva (HUYGENS, 1986).

No contexto das pesquisas em ensino de física, embora pesquisadores como SILVA (2007) e KRAPAS (2007) explorem detalhadamente o real modelo de Huygens delineado em seu ‘Tratado da Luz’ (1690)<sup>16</sup>, não se debruçam mais intensamente sobre o confronto entre o ‘Princípio de Huygens’, originalmente proposto, e a interpretação que de fato os livros didáticos abordam. ARAÚJO (2008) é uma exceção, por apresentar um trabalho nessa direção, mas levando em conta os livros didáticos do ensino médio. Expõe uma comparação entre o modelo genuíno delineado por Huygens, no século XVII, em seu ‘Tratado da Luz’, e a versão atualmente priorizada por livros didáticos de Física no contexto do ensino médio. Como resultados da pesquisa afirma que “[...] as informações veiculadas nesses livros não são fiéis à proposta inicial do modelo, ora omitindo elementos, ora incorporando contribuições de outros autores, e conduzem a uma visão inadequada da evolução histórica dessa teoria.” Conclui afirmando que “[...] a contribuição de Huygens deve ser compreendida no contexto de sua época.” Esta pesquisa contribui para evidenciar as resignificações dos fatos históricos, no contexto do modelo de Huygens, nos textos didáticos de física. Contudo, não busca a essência dessa distorção histórica, ou seja, a presença ou não de uma intencionalidade didática que fundamente a reconstrução do modelo de Huygens na física escolar.

Por outro lado, é fato conhecido que os textos destinados ao ensino médio são fruto de constantes simplificações dos compêndios universitários. Então, com base nisso, resgatamos alguns livros-texto do ensino superior a fim de evidenciar a presença ou não de uma intencionalidade didática que justifique a resignificação do modelo de Huygens na física escolar. Buscamos uma possível gênese dessas reconstruções didáticas que distorcem o significado físico do ‘Princípio de Huygens’ ao silenciar as origens e o contexto histórico do ‘Tratado da Luz’ escrito por este cientista. Em particular, por priorizar uma história anacrônica, ou seja, que reconstrói as idéias, as sínteses científicas, em termos do presente.

Recorrendo à afirmação de ARAÚJO (2008) “[...] a contribuição de Huygens deve ser compreendida no contexto de sua

Newton presume que: “[...] a luz não seja nem esse éter nem seu movimento vibratório, porém algo de natureza diferente, propagado por corpos luminosos”. O contraste entre Newton e Young se acentua com a *Questão 28* do *Óptica* quando ele nega o fenômeno conhecido atualmente como difração da luz (devemos nos lembrar que na *Hipótese IV* Young inclusive faz uma analogia entre a luz e as ondas sonoras):

“[...] se a [luz] consistisse apenas numa pressão ou movimento propagados num instante ou no tempo, ela se curvaria para a sombra. Pois a pressão ou o movimento não podem propagar-se num fluido em linhas retas, ultrapassando um obstáculo que detenha parte do movimento; ao contrário, eles se vergam e se difundem para todos os lados no meio quiescente que se situa além do obstáculo. As ondas, pulsações ou vibrações do ar em que consiste o som curvam-se manifestadamente, embora não tanto quanto as ondas na água [...] Mas nunca se soube de a luz seguir passagens curvas, nem se curvar para a sombra”.

Newton nega a difração da luz e qualquer analogia com o som, justamente porque para ele a luz não consiste nesse movimento vibratório e, embora em momentos do *Óptica* ele busque se abster de um posicionamento firme sobre a natureza da luz, na *Questão 29* surge essa idéia que queremos reforçar:

“Não são os raios de luz *corpos muito pequenos*, emitidos por substâncias reluzentes? Pois esses corpos passam pelos meios uniformes em linhas retas, sem se curvar em direção à sombra, o que é da natureza dos raios luminosos” (COHEN, WESTFALL, 2002, p. 235)

“Para colocar os raios luminosos em acessos de reflexão fácil e transmissão fácil, não é necessário nada além de eles serem corpos pequenos que, por sua força de atração, ou por alguma outra força, provoquem vibrações naquilo sobre o qual incidem, vibrações estas que, sendo mais ligeiras que os raios, ultrapassam-na sucessivamente, e o agitam de maneira a aumentar e reduzir alternadamente suas velocidades, e com isso colocá-las nesses surtos. (COHEN, WESTFALL, 2002, p. 236)”

Pela exposição de Young é possível evidenciar que o modelo ondulatório nos termos atuais surge no contexto histórico de Young e Fresnel. E, embora Young não rejeite completamente as idéias de Newton sobre a natureza da luz, enfatizando, para surpresa de muitos

<sup>16</sup> Priorizando como fonte histórica a versão do ‘Traité de la Lumière’ (1690) traduzido por Roberto de Andrade Martins, presente nos Cadernos de História e Filosofia da Ciência, uma publicação da UNICAMP (HUYGENS, 1986).

Por outro lado, um éter de densidade variável é proposto nas *Questões do Óptica* formuladas por Newton em 1717 (ABRANTES, 1998, p.95). Então, essa *Hipótese* formulada por Young, talvez tivesse mais sintonia com Newton do que ele supõe. O que não é o caso da *Hipótese* anterior.

Embora Young tente evitar um confronto com Newton, as proposições que seguem em seu tratado (após a exposição das hipóteses) contribuem para expor a natureza ondulatória de seu modelo de luz. A presença dessa incompatibilidade, que Young tenta ‘difarçar’ ao recorrer constantemente a Newton para sustentar suas idéias, se torna mais forte e explícita ao longo de seu texto.

Ainda neste artigo publicado em 1802, na *Proposição VIII* e corolários, expõe a idéia da superposição de ondas (Princípio de Interferência e as condições de interferência construtiva e destrutiva), que enfatiza ter sido recentemente apresentada por ele à Royal Society, como uma teoria capaz de tornar inteligível os principais fenômenos das cores explorados à época. Contudo, não explicita que se trata de uma explicação científica original e por ele delineada, o que fica implícito no texto. O modelo da superposição, por ele proposto, é o seguinte:

"[...] onde quer que duas porções da mesma luz cheguem ao olho por diferentes vias, quer exatamente ou quase na mesma direção, a luz torna-se mais intensa quando a diferença das rotas (caminho) é qualquer múltiplo de um determinado comprimento de onda, e menos intensa no estado intermediário das porções de interferência (quando estiverem em oposição de fase –  $\frac{1}{2}$  comprimento de onda) , e este comprimento é diferente para luz de cores diferentes. " (YOUNG, 1900, p. 60 *tradução nossa*)

Em seguida, essencialmente na *Proposição IX*, Young exprime sua concepção da luz “[a] luz radiante consiste de ondulações do éter luminífero”. Ao apresentar seu real modelo da natureza da luz e a idéia de superposição de ondas Young rompe com a doutrina newtoniana, reconhecendo que, de fato, **“é claramente assegurado por Newton que haja ondulações, embora ele negue que elas constituam a luz”**.

Newton não apresenta uma teoria ondulatória da luz (já que em seu modelo não existe nada parecido com as proposições que constituem a base da teoria ondulatória delineada originalmente por Young), sequer de natureza dual, fato que pode ser concluído à partir da análise do seu livro *Óptica*, como detalhamos nesse capítulo. Conforme já mencionado,

época.”, acima destacada, problematizamos essa frase, convertendo-a em uma interrogativa: Porque a contribuição de Huygens deve ser compreendida no contexto de sua época na física escolar? Antes de apresentar as razões ou, os possíveis potenciais, para a abordagem histórica do modelo de Huygens no contexto educativo, ponderamos questões essenciais da utilização didática da história da ciência. Será que é possível ser fiel e sempre preservar uma tradução literal da história da física quando nos deparamos com sua transposição didática? Esse ponto que queremos questionar.

As distorções históricas, muitas vezes, não são fruto de uma visão ingênua, mas cumprem uma função didática. E as pesquisas que sinalizam as distorções históricas, presentes nos textos escolares, no ensino médio e superior, esquecem esse viés, essa face inerente à transposição didática. Se não desconhecem, no mínimo ocultam, muitas vezes, essa dimensão inseparável, intransponível, da transposição didática, que independente da versão educacional adotada.

Mesmo nas mais completas abordagens históricas um viés sempre é priorizado. Por isso que alguns autores falam de histórias da ciência em vez de a história da ciência, justamente porque a história da ciência pode ser descrita a partir de distintas faces dependendo das intenções do autor ou mesmo do historiador (STAUB, 2005, FLÔR, 2005; PESSOA JR, 1996; ZANETIC, 1989). É claro que no contexto educativo essas distorções históricas têm ganhado uma dimensão de banalização. As reconstruções didáticas simplificam as sínteses científicas e, em geral, reduzem o contexto histórico dos modelos científicos a episódios ‘caricatos’ e com sentido ‘crucial’ (MARTINS, 2006a; 2006b), muitas vezes se perdendo a própria essência ou intenção genuína da criação/reconstrução didática. A nossa análise se debruça sobre esse resgate.

Como já argüimos, não é nosso propósito justificar as resignificações (e distorções) que os livros didáticos apresentam, mas esclarecê-las para então apresentar a nossa idéia, ou seja, de que as supressões históricas ou recriações dos modelos científicos, como no caso do modelo de Huygens, são insuficientes para uma aprendizagem efetiva, significativa, dos conceitos físicos, por exemplo, os presentes nos fenômenos ondulatórios.

Então, a fim de evidenciar a presença ou não de uma intencionalidade didática das reconstruções históricas do ‘Princípio de Huygens’, na física escolar, analisamos os seguintes livros didáticos do ensino superior: “Optics” (HECH, 2002); “Curso de Física Básica”

(NUSSENZVEIG, 1999); “Física IV: Óptica e Física Moderna” (YOUNG; FREEDMAN, 2003) e “Física para Cientistas e Engenheiros: Óptica e Física Moderna” (TIPLER, 1995), conforme expomos na seção seguinte.

#### 4.1 Distorção histórica do modelo de Huygens na física escolar: sua possível intencionalidade didática

A distorção histórica do ‘Princípio de Huygens’, que o resignifica em termos da ondulatória atual, está presente em muitos livros textos e, de certa forma, é uma distorção, ela mesma, histórica. É que ela já havia sido apontada no prefácio do livro “The wave theory of light: Memoirs by Huygens, Young and Fresnel”, de Henry Crew, editado na coletânea de “Scientific Memoirs”, dirigida por J. S. Ames e publicado pela American Book Company em 1900. Neste prefácio, Henry Crew cita o trabalho do Professor Schuster - “Philosophical Magazine”, vol XXXi, p. 77 de 1891 - que enfatiza que atribuir a Huygens a idéia de dividir a frente de onda numa série de Zonas (no sentido de franjas de difração) não é apenas injusto como também errôneo. Segundo Crew, este erro estava presente em praticamente todos os livros textos da época e a primeira menção das Zonas de Huygens como Zonas de Fresnel (que agrega a idéia de superposição de ondas proposta por Young) estaria na página 111 desse volume do “Scientific Memoirs”. É interessante observar que para se chegar a forma atual do Princípio, as perguntas e questionamentos na óptica de então eram relacionados com a existência dos raios, de franjas de difração, de polarização e de aberração. Idéias que simplesmente não apresentam contrapartida no “Tratado de Huygens”. Nesse sentido, em busca de uma explicação matemática para os raios e a difração que Fresnel reinventa o princípio de Huygens, dando-lhe um significado físico diferente ao incorporar a superposição que havia sido introduzida por Young.

Para além da distorção histórica, do ponto de vista da educação em ciências, é interessante analisar a intencionalidade didática dessa descaracterização. A releitura histórica, ou a criação de uma nova história, sempre presente nos processos de transposição didática, em geral cumprem uma determinada função que pode ser explicitada ou não. Tomemos por exemplo o livro “Optics” de E. HECH (2002, p.97), na seção 4.4.2 intitulada “Princípio de Huygens”. O autor faz uma exposição de poucas linhas sobre o trabalho de Huygens. Apresenta a

acidental. Destaca que ambas idéias são igualmente prováveis e o tempo, articulado a uma dose de intensa pesquisa científica dos fenômenos naturais, indicará a explicação mais adequada.

Nesse caso da hipótese IV Young reconhece um descompasso com Newton em relação à visão de éter. Sem, no entanto, explorar exatamente qual essa divergência. Pesquisadores destacam que não é possível delinear um modelo absoluto de éter sugerido por Newton, suas idéias sobre o éter são bastante híbridas e até, com relativa frequência, contraditórias (ABRANTES, 1998, p.93; MOURA; SILVA, 2008b). Conforme já mencionado ao explorar a idéia de éter na imagem newtoniana de natureza (Capítulo 5). Autores como Silva (SILVA, 2009), por exemplo, sugerem que, na *Questão 28* do *Óptica*, Newton rejeita categoricamente o éter e, por conseguinte, vibrações no éter. Ou que, por outro lado, o éter de Newton não pode apresentar densidade variável. Uma análise detalhada da obra de Newton evidencia que, na verdade, a real visão newtoniana do éter caracteriza-se um tanto obscura, ou no mínimo, expõe um Newton mais híbrido do que se imagina. Newton, na *Questão 28*, descarta incisivamente um tipo de éter - o éter cartesiano. Mas, supõe a possibilidade de um éter de natureza ideal. O que evidencia sua dificuldade em se desvencilhar do éter para explorar, por exemplo, os fenômenos hoje conhecido como difração e interferência. Ao mesmo tempo em que Newton se opõe ao éter, expressa que um éter idealmente sutil e que não seja absolutamente denso ou concebido em termos do ‘*plenum*’ cartesiano (a ponto de negar a existência do vácuo), seria perfeitamente possível. Uma vez imaginado em todo firmamento, com essas características, não ofereceria, por exemplo, resistência ao movimento dos corpos celestes (COHEN, WESTFALL, 2009, p. 234):

“[...] é necessário esvaziar o firmamento de toda e qualquer matéria, exceto, talvez, de finíssimos vapores, exalações ou eflúvios provenientes das atmosferas da Terra, dos planetas e dos cometas, e de um meio etéreo tão excepcionalmente rarefeito...Um fluido denso não pode ter nenhuma serventia e prejudica o funcionamento da natureza, explicando-se melhor sem ele os movimentos dos planetas e dos cometas. Ele só serve para perturbar e retardar os movimentos desses corpos grandes e para fazer a estrutura da natureza perder o vigor... E, em sendo ele rejeitado (na forma não ideal), as hipóteses de que a luz consiste numa pressão ou movimento **propagados por um meio como esse** são igualmente rejeitadas. (COHEN, WESTFALL, 2009, p. 234)”

rarefação/descompressão em um meio elástico. Nós ouvimos sons diferentes por causa das variações na frequência de onda sonora. Assim que as ondas sonoras entram no canal auditivo, vibram o tímpano que, é rígido e muito sensível. Mesmo a menor flutuação da pressão do ar vai movê-lo para frente e para trás.

Hoje é conhecido que o olho humano converte a radiação eletromagnética em imagens através de uma combinação de processos físicos e químicos e não por processo mecânico: as células fotossensíveis às frequências de luz não vibram como no caso do tímpano mas, ao serem estimuladas, desencadeiam processos fotoquímicos. Assim, antes dos sinais visuais se tornarem conscientes no cérebro, estes são pré-processadas na retina por essa camada de células nervosas. A energia das ondas luminosas ao penetrar no olho produz mudanças complexas nessas moléculas dos bastonetes e cones, iniciando uma série de reações que têm como resultado um sinal elétrico. Este sinal é transmitido ao cérebro pelo nervo óptico, que o interpreta e gera a imagem e as cores que estamos vendo.

Para Newton, o raio luminoso incide e sensibiliza a retina dando origem à vibrações no éter que, por sua vez propagam a informação ao cérebro ocasionando a sensação da visão. Essas vibrações são desencadeadas pela luz, contudo, não são a luz.

Em Young as diferentes frequências de vibração no éter correspondem a uma cor de luz que ao incidir na retina entram em ressonância com substâncias fotossensíveis que, enviadas ao cérebro permitem a sensação luminosa.

#### **HIPÓTESE IV (YOUNG, 1900, p.53)**

*Todos os corpos materiais têm uma atração para o meio etéreo, por meio da qual a sua substância [o éter] é acumulada dentro deles, e por uma pequena distância em torno deles [dos corpos materiais], em estado de maior densidade, mas não de uma maior elasticidade.*

Ao expor essa idéia, Young enfatiza que, ao contrário das três hipóteses anteriores, ela não se caracteriza como parte do sistema newtoniano, apresentando uma forte oposição ao modelo de Newton. Contudo, ao exploramos detalhadamente as *Hipóteses* anteriores propostas por Young, em particular a *Hipótese IV*, vimos que o confronto de idéias entre os dois cientistas é inevitável. De modo a suavizar esse antagonismo, que Young insiste em negar, argumenta que o fato dessa hipótese não concordar com Newton como algo meramente

formulação original de Huygens indicando rapidamente que a formulação era ainda ingênua e inicial e que, entre vários problemas, ela não incorporaria abertamente a superposição mas, em contrapartida, “[...] o princípio de Huygens pode ser usado para se chegar a lei de Snell...”. Em um parágrafo posterior o autor fala que Fresnel, com sucesso introduziu a superposição na formulação de Huygens. A seguir explicita a sua intenção didática: “É melhor não entrarmos nos detalhes físicos, tais como racionalizar a propagação no vácuo, e vamos apenas utilizar o princípio como uma ferramenta - uma ficção altamente útil que funciona”. Para além de uma crítica ao discurso histórico presente neste texto, chamamos a atenção para a frase que reduz o princípio de Huygens-Fresnel a um mero utensílio formal para o tratamento de determinados fenômenos físicos.

Do mesmo modo que HECH (2002), podemos tomar como exemplo o livro de NUSSENZVEIG (1999), onde o princípio de Huygens é apresentado como princípio de Huygens-Fresnel. Embora o autor não mencione as diferenças entre as contribuições científicas desses cientistas, neste texto didático é, pelo menos, insinuada a resignificação promovida por Fresnel. No caso, o objetivo é de apresentá-lo como um método formal de tratar fenômenos como difração e interferência, assim como o tratamento ondulatório da reflexão e refração. Em outras palavras, este enfoque está mais próximo do programa de Fresnel do que de Huygens.

YOUNG e FREEDMAN (2003) ao explorar ondas sugerem o ‘Princípio de Huygens’ como uma possível ferramenta, com muita frequência útil, para explicar fenômenos ondulatórios como a refração, reflexão e difração. Nesse sentido, fica clara a intencionalidade didática dos autores. Contudo, não há menção alguma à contribuição dada por Fresnel ao Princípio e, em uma breve exposição histórica, observa-se que embora os autores tenham feito uma escolha didática, realmente desconhecem o modelo genuíno de Huygens: “[...] a teoria de Maxwell apenas forneceu a base teórica para sustentar o princípio de Huygens”. A breve descrição histórica do texto insinua uma continuidade evidente entre o princípio de Huygens e as formulações de Maxwell. Contudo, há uma ruptura inegável entre as contribuições de Huygens e Maxwell e, além do mais, outros cientistas se interpõem neste percurso, resignificando o modelo de Huygens, como por exemplo Fresnel. A interpretação atual ao princípio de Huygens se deve a Fresnel que incorpora a idéia de interferência de ondas a esse modelo. Como sugerir uma descrição linear entre contribuições científicas que nascem em

contextos históricos tão afastados no tempo e com bases teóricas tão distintas?

Huygens explica a luz como uma vibração mecânica que se transmite por forças de contato entre as partículas de éter. Nesse sentido, pode-se afirmar, com base em uma apreciação crítica do Tratado sobre a Luz (HUYGENS, 1986) que suas idéias apresentam uma sintonia maior com a mecânica do que com a óptica moderna ou o eletromagnetismo, evidenciando diferenças significativas com a interpretação atual de ondas. Neste contexto, não há referência alguma a conceitos recentes como ação à distância, campo eletromagnético e outras interpretações contemporâneas que contribuem para delinear o modelo ondulatório da luz, como concebido hoje - que diverge fortemente da teoria idealizada por Huygens. Não há referência nem mesmo às características elementares das ondas, como amplitude de vibração, frequência, período ou comprimento de onda, afastando-o de uma possível articulação ao contexto científico da ondulatória moderna.

Segundo SILVA (2007, p.149), “[...] o modelo de Christian Huygens pode ser considerado uma reconstrução a posteriori (whiggismo), que impõe uma interpretação atual a conceitos enunciados no século XVII”. Quando se explora nos textos de ensino a natureza da luz, (no contexto da ondulatória) o modelo ondulatório de Huygens se reduz ao ‘Princípio de Huygens’, apresentado de modo estanque e aproblemático, em uma versão completamente distorcida historicamente.

TIPLER (1995 p.33) ao apresentar a propagação da luz assume claramente o princípio ou ‘construção’ de Huygens como um método geométrico imaginado por Huygens para descrever a propagação de qualquer onda através do espaço. Em termos históricos, não oculta a reconstrução do princípio de Huygens nos textos didáticos, contudo, considera natural diante da intencionalidade didática apresentá-lo apenas como um modelo (ou instrumento) geométrico para os fenômenos ondulatórios. Enfatiza a contribuição científica de Fresnel ao expressar o princípio de Huygens em termos da superposição de ondas (difração). “O princípio de Huygens foi mais tarde modificado por Fresnel, de modo que a nova frente de onda é calculada pela antiga frente de onda por superposição das pequenas ondas, considerando-se as amplitudes relativas e as fases”. Agrega a essa descrição a contribuição matemática de Kirchoff, “Kirchoff mostrou, bastante depois do seu enunciado original, que o princípio de Huygens-Fresnel era uma consequência da equação de onda, dando-lhe, portanto, firme fundamento matemático.

correspondem a uma dada cor de luz que, excitam as substâncias fotossensíveis, presentes na retina colocando-as em ressonância – ou em frequência de vibração constante (em concordância de fase) com as ondulações luminosas.

Contudo, Young acreditava que era impossível a presença de um número infinito de partículas, cada uma sensível a uma frequência de vibração específica. Uma interpretação, de fato, correta. Então, com base nisso, supôs a existência de três tipos de substâncias, sensíveis às frequências de luz azul, amarelo e vermelho. No caso, para Young esses três tipos de substâncias na retina seriam capazes de captar e vibrar em fase (com uma frequência de vibração constante) com determinada frequência de vibração do éter/ondulação do éter. Na verdade, o equívoco de Young, além da luz não corresponder a uma onda mecânica, foi quanto à célula sensível à frequência da cor amarelo. Hoje se sabe que na retina existem células sensoriais fotossensíveis às cores azul, verde e vermelho, chamadas cones. O mais surpreendente é que a estimulação combinada desses três grupos de cones é capaz de produzir toda a extensa gama de cores que o ser humano enxerga, mecanismo pressuposto por Young. Outras células mais sensíveis, bastonetes, respondem apenas à intensidade da luz e é graças a eles que podemos ver à noite.

Outra diferença fundamental, já mencionada, é que Young estava pensando em termos da luz como uma onda mecânica e o mecanismo de sensação das cores imaginava de modo semelhante ao que ocorre com a ‘percepção’ do som. Em termos atuais, é conhecido que os sentidos de olfato, paladar e visão envolvem reações químicas, mas o sistema auditivo é baseado somente em movimentos físicos, um processo de natureza mecânica. As ondas sonoras são produzidas por deformações provocadas pela diferença de pressão em um meio elástico qualquer (ar, metais, isolantes, etc), precisando deste meio para se propagar. Desta forma, percebemos que o som é uma onda mecânica, não se propagando no vácuo. A maioria dos sons acaba sendo obtido através de objetos que estão vibrando, como é o caso do alto-falante. Quando o diafragma contido no alto-falante se movimenta para fora da caixa acústica ele cria uma região de alta pressão pois comprime o ar que está nas proximidades. Da mesma forma, ocorre uma rarefação quando o diafragma se move para dentro da caixa. Quando as variações/flutuações de pressão chegam aos nossos ouvidos, os tímpanos são induzidos a vibrar e nos causam a sensação fisiológica do som. Logo, o som é produzido por ondas de compressão e

ondulações não correspondem a luz, elas simplesmente levam a informação de ‘luz’ ao cérebro.

No *Escólio da Hipótese III*, Young expõe seu modelo sobre as cores. Young imaginava que na retina substâncias eram capazes de captar determinada frequência de vibração e entrar em ressonância com a ondulação do éter de determinada frequência (YOUNG, 1900, p.53):

Escólio. “Assim, pela razão aqui dada por Newton, é provável que o movimento da retina seja mais vibratório do que de natureza ondulatória, **a frequência das vibrações**, deve ser dependente da constituição desta substância [deve ser dependente da constituição da substância da própria retina]. Agora, é praticamente impossível conceber cada ponto sensitivo da retina como contendo um número infinito de partículas, cada uma delas capaz de vibrar em perfeita sintonia com toda ondulação possível [esse item se refere a cada ponto da retina como capaz de vibrar em perfeita sintonia com todas as possíveis ondulações, ou seja, a retina entrar em fase com as ondulações]. Assim se torna necessário supor um número limitado, portanto, para as três cores principais, vermelho, amarelo e azul, para as quais as ondulações [cada uma delas] estão relacionadas em magnitude, praticamente como os números 8, 7 e 6, e cada uma das partículas é capaz de ser posta em movimento mais ou menos forçadamente, por ondulações que diferem mais ou menos de uma perfeita sintonia. Portanto, as ondulações da luz verde sendo praticamente da razão  $6 \frac{1}{2}$ , irão afetar igualmente as partículas em sintonia com o amarelo e azul, e produzir o mesmo efeito como a luz composta por essas duas espécies: e cada filamento sensitivo do nervo deve consistir de três partes, cada uma para a cor principal... Para o período que, de fato, constitui a harmonia de qualquer concorde, sendo um múltiplo dos períodos de ondulações individuais, deveria, neste caso, ser totalmente sem os limites da simpatia da retina, e deveria esse efeito, da mesma forma como a harmonia de um terço ou um quarto ser destruída, por depressão... para as notas mais baixas da escala audível. Ao escutar parece que não existe vibração permanente de nenhum tipo do órgão...” (YOUNG, 1900, p.53 *tradução nossa*)

No contexto científico atual sabe-se que, de fato, as células sensíveis à luz estão na **retina** e através de um processo fotoquímico, os **fotorreceptores** transformam (“traduzem”) as frequências de vibração recebidas, possibilitando a sensação da visão e das cores. Ao contrário do que imaginava Young, essas substâncias, células fotossensíveis, não vibram em fase com as ondulações recebidas, como no caso do som no tímpano. Em Young, as diferentes frequências de vibração no éter

Kirchoff mostrou que a intensidade das ondículas dependia do ângulo de avanço e era zero na direção para trás” (TIPLER, 1995, p.33).

A breve análise dos textos didáticos que apresentamos explicitam com clareza porque o ‘Princípio de Huygens’ é explorado em termos atuais no contexto didático. Ao modelo de Huygens se agrega as contribuições de Fresnel assumindo um papel estritamente instrumental-matemático. Com base nisso, uma ‘licença histórica’ não pode ser negada a este tipo de texto, que apresenta uma clara intenção didática? Parece em princípio que estamos inclinados a dar razão à intencionalidade didática dos textos analisados. Não! Esclarecemos apenas que, às vezes, as distorções históricas não tem gênese no senso comum, fruto do desconhecimento, mas expressam um posicionamento educacional.

Contudo, estamos em desacordo com esta intenção didática, pois os estudantes apresentam conhecimentos bastante equivocados sobre o tema ondas mecânicas, conforme explorado mais adiante. E a dificuldade mais expressiva remete à idéia do meio. Os alunos apresentam confusões de distintas ordens quanto ao papel do meio na propagação das ondas. Neste sentido que o modelo genuíno de ondas mecânicas, delineado por Huygens, tem um papel didático pertinente. Como ele está fortemente vinculado à idéia do meio, que é o éter neste contexto histórico, apresentar a evolução conceitual das ondas mecânicas tendo como gênese modelos incipientes, como o de Huygens, em direção a modelos mais abstratos como os do presente, significa apresentar o processo de abstração de um conceito como o de ondas. Por contraste à intenção didática dos demais livros escolares, que simplesmente apresentam as sínteses científicas, ou seja, o modelo abstrato em sua forma final. Uma abordagem que apresenta graves problemas, pois os equívocos conceituais dos alunos insistem em se perpetuar mesmo em graus mais avançadas de ensino. Um exemplo são as concepções errôneas dos estudantes em termos dos fenômenos ondulatórios. Parece um contra-senso continuar defendendo esse tipo de ensino de física que não avança na aprendizagem dos estudantes.

## 4.2 Textualização do ‘Princípio de Huygens’ na Física escolar

Os textos didáticos apresentam um papel expressivo na educação científica tradicional (KUHN, 1979, p.57; PAGLIARINI, 2007, p.10-12). Representam, com relativa frequência, (e em distintos

níveis de ensino), as principais fontes de referência às contribuições científicas atuais, tanto entre educadores como entre estudantes. Nestes termos, explorar as características textuais dos manuais didáticos, do mesmo modo que as possíveis intencionalidades educativas das abordagens didáticas priorizadas, conscientes ou não, apresenta-se fundamental para um estudo da realidade da física escolar. O caso da distorção do ‘Princípio de Huygens’ presente nos textos didáticos analisados, por exemplo, permitiu delinear, para este contexto, essas características textuais e desvendar sua intencionalidade didática. Do mesmo modo, pode contribuir para pensar a possível extensão dessa análise a outros temas de ensino.

De fato, os textos escolares, com expressiva ênfase, apresentam as síntese científicas e, para isso, resignificam as contribuições/idéias científicas de muitos personagens históricos adequando-as a uma interpretação atual. Expondo, deste modo, o modelo abstrato em sua forma final. Às vezes até, conforme observamos no caso Huygens, justificam a construção didática e há consciência da distorção histórica (apresentam uma intencionalidade didática). Em outras situações, no entanto, os autores acreditam que o modelo de Huygens é, de fato, o modelo da superposição de ondas.

Os textos didáticos buscam apresentar de modo mais depressa os modelos da ciência e, neste sentido, a exposição textual acaba seguindo um ritual discursivo comum. Caracterizado por uma seqüência linear e lógica dos conceitos científicos. A abordagem dos conteúdos nos textos didáticos não permite negar essa afirmação, em virtude, por exemplo, da ausência da contextualização histórica dos modelos científicos, como exploramos no caso de Huygens. Essa abordagem caminha na contra-corrente de uma possível incursão histórica. Além de justificar, por exemplo, a resignificação do ‘Princípio de Huygens’ que é explorado como um instrumento matemático para tratar a física ondulatória do presente. Contudo, qual a possível origem desse modelo presente com frequência na abordagem dos conteúdos escolares?

A cultura científica influencia fortemente as versões didáticas dos livros universitários (KUHN, 1979, p.56-58). Principalmente porque muitas vezes é o próprio cientista, ou educadores que já atuaram como físicos, químicos, biólogos ou matemáticos que escrevem estes textos. Trata-se justamente de textos para futuros cientistas, textos que pretendem uma formação acadêmica de cientistas e engenheiros. E, naturalmente, um cientista formado em uma certa tradição, em uma cultura acadêmica específica escreverá de acordo com os dogmas de sua

[regiões do nervo óptico], devem excitar vibrações, as quais (como as do som num tubo ou numa trombeta) percorrem ....o nervo óptico até chegarem ao sensorio (o que a luz em si não pode fazer), e ali, suponho eu, afetam o sentido com várias cores, conforme sua grandeza e mistura: as maiores com as cores mais fortes, os vermelhos e amarelos, as menores, com as mais fracas, os azuis e violetas; as intermediárias, com o verde; e a mistura de todas, com o branco, exatamente da mesma maneira que, no sentido da audição, a natureza utiliza vibrações aéreas de diversas grandezas para gerar sons de diversos tons, pois a analogia da natureza deve ser observada.[...]” (COHEN, WESTFALL, 2002, p. 46).

Supondo a natureza corpuscular da luz, Newton admite que cada frequência de vibração no éter depende da massa e/ou tamanho das partículas de luz (conforme Newton expõe na *Questão 29* do Óptica acima mencionada). Contudo, essa hipótese é completamente diferente do modelo que interpreta a luz como uma onda mecânica ou, no caso de Young, a luz como ondulações/vibrações no éter. Além disso, assumir que as partículas de luz podem originar vibrações no éter, que causam a sensação das cores, é distinto da idéia de que cada cor de luz corresponde às diferentes frequências de vibração dessas ondas no éter. Uma vez que a luz é uma vibração no éter, como sugere Young. Young, por exemplo, foi quem primeiro compreendeu que, para percebermos as cores, bastaria que o olho tivesse a capacidade de captar apenas três frequências de vibração, ou seja, três cores. Hoje sabemos que, de fato, a retina humana contém células receptoras exatamente para os comprimentos de onda das cores verde, azul e vermelho.

Uma interpretação imediata, da passagem escrita por Newton, talvez traduzisse o modelo de Newton em termos semelhantes à visão de Young, em virtude da ênfase dada ao éter nas duas concepções. Contudo, essa versão dos trabalhos desses dois cientistas nega essa interpretação que, em princípio, pode parecer uma sutileza entre Newton e Young: o papel atribuído às ondulações no éter.

Para Young, na ausência do éter é impossível a presença da luz e, por conseguinte, das cores que correspondem às diferentes frequências de vibração! Uma vez que a luz e as cores de luz são as vibrações no éter. Para Newton, em essência, a natureza da luz é corpuscular e independe do éter, as cores surgem em virtude de os raios luminosos apresentarem diferentes características e por isso interagirem de modo distinto com o éter. A luz, ao sensibilizar a retina, provoca ondulações no éter que levam a informação ao cérebro. Logo, essas

corpúscular da luz só aparece na *Questão 29* do *Óptica*, não mencionada por Young:

“Não são os raios de luz *corpos muito pequenos*, emitidos por substâncias reluzentes? Pois esses corpos passam pelos meios uniformes em linhas retas, sem se curvar em direção à sombra, o que é da natureza dos raios luminosos (COHEN; WESTFALL, 2002, p. 235).”

“Para colocar os raios luminosos em acessos de reflexão fácil e transmissão fácil, não é necessário nada além de eles serem corpos pequenos que, por sua força de atração, ou por alguma outra força, provoquem vibrações naquilo sobre o qual incidem, vibrações estas que, sendo mais ligeiras que os raios, ultrapassam-na sucessivamente, e o agitam de maneira a aumentar e reduzir alternadamente suas velocidades, e com isso colocá-las nesses surtos (COHEN; WESTFALL, 2002, p. 236).”

Com a análise apresentada neste trabalho, o real modelo de Newton sobre a natureza da luz, obscuro, ou de certo modo distorcido no texto de Young, está sendo desmistificado. Agora, pensando especificamente em termos do mecanismo de percepção da luz na retina, também é possível delimitar as contribuições de Young da interpretação ‘equivocada’ de Newton sobre este fenômeno. Para Newton, a sensação das cores era consequência das distintas formas de interação da luz com a retina. Newton imagina que os raios luminosos deveriam apresentar diferentes características e, portanto, sensibilizar a retina de modo distinto. Quando os raios luminosos incidem na retina, geram diferentes frequências de vibração no éter que, por sua vez, provocam a sensação das cores (COHEN, WESTFALL, 2002, p. 46):

“[...] presumo que, assim como os corpos de diversos tamanhos, densidades ou tensões, através da percussão ou de outras ações, provocam sons de tons variáveis e, conseqüentemente, vibrações de várias grandezas no ar, também quando os raios de luz, ao incidirem sobre as superfícies refratoras duras, provocam vibrações no éter, esses raios, sejam eles o que forem, ao diferirem em magnitude, intensidade ou vigor, provocam vibrações de diversas grandezas; os raios maiores, mais fortes ou mais potentes [provocam] as maiores vibrações, e os outros, vibrações mais curtas, conforme seu tamanho, intensidade ou potência; E então, posto que as extremidades dos capillamenta do nervo óptico que pavimentam ou recobrem a retina são superfícies refratoras desse tipo, os raios, ao incidirem sobre elas

formação. Ou seja, traduz, de forma consciente ou inconsciente, os valores, práticas escolares e conhecimento formal em sintonia com o modelo de educação que lhe foi transmitido durante o período de sua formação. Esta caracteriza uma possível face, histórica (portanto até difícil de ser resgatada em suas origens, por se perder no tempo), da intencionalidade didática presente na textualização da física escolar, que justifica, parcialmente, as razões para a ‘reprodução’ de um modelo de como a física escolar deve ser apresentada. Cria-se, nesse sentido, resistências para trabalhar em sala de aula temas de ensino e estratégias didáticas que se afastem das habitualmente priorizadas. Em uma dimensão mais ampla, reforça a oposição a configurações curriculares distintas às delineadas pelos livros didáticos.

Para Kuhn (KUHN, 1979, p.53-80), as características dos textos didáticos científicos visam inserir o estudante dentro do paradigma científico vigente. Defende com base em uma interpretação histórica que a ciência vivencia longos períodos de adesão acrítica, dogmática e conservadora a um paradigma, os períodos de ciência normal. Durante este período um conjunto de compromissos de pesquisa são compartilhados pela comunidade científica, por um grupo de cientistas e a investigação científica, por analogia, se assemelha à solução de um quebra-cabeças. Ou seja, a busca por soluções aos problemas científicos deve seguir rigidamente ‘as regras do jogo’: soluções padronizadas pelo paradigma hegemônico, sem que haja questionamentos sobre seus fundamentos.

Logo, os cientistas devem trabalhar imersos em uma tradição de pesquisa, doutrinados a pensar de forma específica e com base em valores determinados pelo paradigma que compartilham. É, portanto, com base nesta intencionalidade didática que os textos para a formação de futuros cientistas e engenheiros são, com frequência, para Kuhn, confeccionados:

“[...] Dada a confiança em seus paradigmas, que torna essa técnica educacional possível, poucos cientistas gostariam de modificá-la. Por que deveria o estudante de física ler, por exemplo, as obras de Newton, Faraday, Einstein ou Schrödinger, se tudo que ele necessita saber acerca desses trabalhos está recapitulado de uma forma mais breve, mais precisa e mais sistemática em diversos manuais atualizados ? ...Trata-se certamente de uma educação rígida e estreita, mais do que qualquer outra, provavelmente - com a possível exceção da teologia ortodoxa ...Um balanço das revoluções científicas revela a existência

tanto de perdas como de ganhos e os cientistas tendem a ser particularmente cegos para as primeiras." (ZANETIC, 1989, p. 34)

Nestes termos, a expressiva ênfase aos paradigmas científicos contemporâneos e a resolução de problemas padrão se tornam um objetivo central da educação científica. Esse tipo de abordagem presente nos textos didáticos do ensino superior se estende à física escolar de nível médio, uma vez que os livros didáticos desse contexto de ensino se caracterizam como simplificações dos compêndios universitários.

A história da ciência para este tipo de formação acadêmica se torna dispensável e até, por vezes, prejudicial e subversiva, conforme os termos utilizados por BRUSH (1974). Se o objetivo educacional compreende a imersão/incursão do estudante nos modelos científicos do presente, o gênero histórico possível, ou mesmo, aconselhável é o viés anacrônico. Este tipo de abordagem histórica busca apresentar uma seqüência linear e cumulativa de modelos científicos, priorizando aqueles que contribuem diretamente, sem desvios, para as idéias científicas do presente, ou seja, compreende a história dos vencedores. ZANETIC (1989, p.53) é enfático nessa análise:

“[...] os próprios textos didáticos, os chamados manuais, "veículos pedagógicos destinados a perpetuar a ciência normal", truncam a visão da história da ciência; tendem a apresentar essa história como um suceder linear e cumulativo de eventos. Isso acontece até mesmo com a apresentação de Newton, quando ele atribui a Galileu o uso do conceito de força na queda livre, o que não corresponde bem com a compreensão que Galileu fazia desse fenômeno. Os textos didáticos apresentam a ciência como tendo um desenvolvimento similar à construção de um edifício "tijolo com tijolo num desenho lógico". Quando, após a definição de uma revolução científica, um novo paradigma é adotado, toda a história do particular campo científico aí envolvido é reescrita e apresentada pelos manuais... É a história dos vencedores que traça o roteiro da educação das novas gerações de pesquisadores, de tal forma a propiciar um treino efetivo no paradigma de plantão” ZANETIC (1989, p.53).

Como no caso explorado na presente pesquisa, o ‘Princípio de Huygens’ é resignificado em termos da superposição de ondas, uma interpretação atual. Ocultando-se o extenso movimento histórico de modelização científica da idéia de onda e, por outro lado, mascarando as contribuições de outros cientistas como Fresnel que, realmente pensou em ondas periódicas e que sofrem superposição. Neste caso da

grandes distâncias uns dos outros, mas sem nenhum intervalo perceptível de tempo, e continuamente impulsionados por um princípio de movimento que, no início, acelera-os até que a resistência do meio etéreo iguale a força desse princípio, exatamente da maneira que como os corpos que caem na água são acelerados até que a resistência da água se iguale à força da gravidade [...]. Para evitar discussões e generalizar esta Hipótese, que cada homem escolha sua preferência quanto a isso. Apenas, seja a luz o que for, eu suporia que ela consiste em raios sucessivos, que diferem uns dos outros em circunstâncias contingentes, como a grandeza, a forma ou o vigor [...] (COHEN; WESTFALL, 1900, p. 39).”

Esta visão de Newton está presente quando ele explora os anéis coloridos formados em películas finas, conhecidos modernamente como “anéis de Newton”. Newton, de fato, não nega a possível presença de ondulações no éter. No entanto, afirma que a luz, independente de sua natureza, é capaz de produzir vibrações no éter. O que é completamente distinto de supor que essas vibrações/ondulações sejam a própria luz (MOURA; SILVA, 2008a; 2008b). Newton apresenta sua interpretação sobre o fenômeno dos anéis deixando claro que prefere não explorar a natureza da luz ou, o que é a luz. Explora apenas que, de fato, a interação da luz com o éter dá origem a vibrações nas partículas desse meio que influenciam o comportamento da luz (COHEN; WESTFALL, 2002, p. 48-49):

“[...] embora a luz seja inimaginavelmente veloz, as vibrações etéreas provocadas por um raio movem-se mais depressa que o próprio raio e, desse modo, ultrapassam-no e o superam, uma após outra [12, p. 48]. [...] Presumida essa celeridade das vibrações, portanto, se a luz incidir sobre uma película fina ou lâmina de qualquer corpo transparente, as ondas ativadas por sua passagem pela primeira superfície, ultrapassando-a uma após outra, até ela chegar à segunda superfície, farão com que ela seja refletida ou refratada, conforme a parte condensada ou expandida da onda a supere ali [...] Se a lâmina for de espessura tal que a parte condensada da primeira onda ultrapasse o raio na segunda superfície, ele deverá refletir-se; se tiver o dobro dessa espessura, de tal modo que a parte rarefeita seguinte da onda, isto é, o espaço entre ela e a onda seguinte, a supere, ali ele deverá ser transmitido [...] (COHEN; WESTFALL, 2002, p. 48-49).”

Apesar de, nesta carta, não delinear uma idéia sobre a natureza da luz, demarca claramente o que, de fato, ela não é. Sua concepção

também não há, de fato, confronto de idéias neste caso (entre Young e Newton), pois Newton não nega essas vibrações no éter. Ao contrário, Newton reconhece explicitamente esse fato como verdadeiro, contudo, enfatiza, com o objetivo de evitar possíveis distorções, que a luz não seria nem o éter nem o movimento vibratório possível no éter (como ficará mais claro adiante). Defende que a luz, independente de sua natureza, pode causar vibrações no éter. Não é possível negar que Young, de certo modo, é ardiloso por não problematizar/demarcas essa divergência neste momento do texto, sugerindo ao leitor que em Newton as vibrações no éter tivessem mesmo sentido que em sua teoria da luz.

### **HIPÓTESE III (YOUNG, 1900, p.51)**

*A sensação de diferentes cores depende das diferentes frequências de vibrações produzidas pela luz na retina.*

Uma leitura apressada da obra de Newton pode sugerir uma interpretação equivocada de suas idéias sobre o mecanismo de percepção da luz na retina, confundindo-o com o mecanismo de transmissão da luz. E, como consequência, contribuir para distorcer o sentido que Newton imagina para a natureza da luz. Young compara a natureza e propagação da luz com a natureza e propagação das vibrações no éter, como se traduzissem não apenas uma idéia semelhante, mas a mesma idéia. Sem, no entanto, explicitar que, para Newton, esses dois mecanismos, associados ao éter e à luz, apresentam significados completamente distintos. A luz não corresponde ao movimento vibratório no éter, mas pode, de fato, desencadeá-lo. Em “A Hipótese da Luz” de 1675 – Carta de Newton a Hooke – Newton afirma que as partículas de éter adquirem movimento vibratório ao se chocarem com a luz: “Fosse eu presumir uma hipótese, ela seria esta, se proposta em termos mais gerais, de modo a não determinar o que é a luz além de [dizer] que ela é uma ou outra coisa capaz de provocar vibrações no éter [...] [COHEN; WESTFALL, 2002, p. 31]. Conforme já mencionado na *Hipótese II*. Contudo, Newton (COHEN; WESTFALL, 2002, p.39) continua, esclarecendo que (fragmento não mencionado por Young):

“[...] presumo que a luz não seja nem esse éter nem seu movimento vibratório, porém algo de natureza diferente, propagado por corpos luminosos. Quem o assim desejar poderá presumi-la como um agregado de várias qualidades peripatéticas. Outros poderão supô-la como uma multidão de corpúsculos inimaginavelmente pequenos e velozes, de tamanhos diversos, brotando dos corpos luminosos a

abordagem do ‘Princípio de Huygens’ nos textos didáticos, de fato, o modelo originalmente proposto/delineado por este cientista não tem papel diante da intenção didática exposta tradicionalmente, que é apresentar o Princípio em termos de um instrumento mtm/geométrico para explorar os fenômenos ondulatórios atuais, como a interferência e a difração de ondas. Contudo, será que este salto de fato é realmente eficiente/suficiente para uma compreensão significativa dos conceitos científicos presentes no tema ondas mecânicas?

Com base nessa dinâmica tradicional de apresentação do ‘Princípio de Huygens’ se oculta o movimento histórico de abstração do modelo de ondas nos textos didáticos, expondo, de modo estanque, sua versão abstrata final: o modelo de ondas de Huygens-Fresnel que agrega a idéia da superposição.

Em virtude disso, se encobre na educação científica uma abordagem detalhada da natureza mecânica das ondas, fonte de extensos obstáculos/dificuldades na compreensão dos estudantes. Com raras exceções explora-se didaticamente, de modo detalhado, a idéia, ou o papel do meio e da fonte nos modelos de ondas mecânicas. Em geral, no estudo da ondulatória, apresenta-se a senóide que representa uma forma de onda e em seguida se expõem os elementos de periodicidade da onda como o comprimento de onda, a amplitude e a frequência como natural. Com base em uma exposição breve descreve-se as ondas segundo sua natureza, mecânica ou eletromagnética; segundo sua direção de vibração, transversal ou longitudinal; e por fim, segundo sua direção de propagação, unidimensional, bidimensional ou tridimensional. Neste momento é que o meio aparece, para contrapor os tipos de ondas segundo suas naturezas. Na seqüência, aborda-se o princípio de superposição, difração e polarização que expressam as características essenciais das ondas.

Por fim, quando, em um capítulo específico dedica-se a detalhar conceitos físicos a partir de um fenômeno, as ondas sonoras, onde o meio apresenta papel fundamental, possivelmente o tempo didático destinado à física escolar não permitirá que esse tema seja explorado de modo eficaz, satisfatório. Por esta razão a crítica ao tipo de abordagem didática no caso particular do ‘Princípio de Huygens’.

O contexto histórico do modelo de Huygens apresentaria, nesse sentido, contribuições didáticas significativas para o estudo das ondas, por basear-se, fundamentalmente, em um modelo de ondas semelhante ao do som, possibilitando detalhar o mecanismo de propagação das ondas mecânicas, o mecanismo de restauração do meio e o papel da

fonte geradora de ondas. Mais adiante exploramos as extensas dificuldades dos estudantes quanto a esses conceitos ondulatórios que deveriam ser tratados com mais ênfase na física escolar. Na seção seguinte explora-se algumas características tradicionais dos textos escolares.

### 4.3 Textualização didática tradicional: características dos textos escolares

Em uma coletânea de artigos lançados na forma de um livro ASTOLFI et al. (1997) apresentam categorias que traduzem o gênero discursivo priorizado por textos de natureza diversa, contudo, pertinentes para explorar os tipos de textos presentes no contexto didático. Na seqüência, detalhamos um desse modelo, o texto tipo argumentativo-persuasivo que, segundo nossa análise, traduz uma abordagem didática tradicional, que prioriza as sínteses científicas, presente, por exemplo, no caso Huygens:

Tipos de Textos	Características Principais	Palavras-Chave
<b>TEXTO ARGUMENTATIVO PERSUASIVO (Tradição Didática)</b>	Discute uma hipótese ou uma teoria, confrontando aos dados empíricos disponíveis (ou que pode reproduzir experimentalmente). Mas enquanto que a argumentação persuasiva (ou retórica) procura convencer um interlocutor (evitando a discussão dos argumentos contrários e preferindo sua eliminação sem exames ou sua desqualificação), a argumentação demonstrativa (ou científica) procura provar e privilegia em princípio a análise das objeções	Hipótese (síntese científica) Implicação (confronto empírico que a confirma/corrobora) Cadeia/seqüência lógica

No texto argumentativo persuasivo, a ênfase está no contexto de justificação, a abordagem didática se caracteriza pela apresentação da teoria ou modelo científico confrontado com os dados empíricos. O problema é que este tipo de texto prioriza a síntese científica final, suprimindo o processo de conceituação da ciência. Silencia-se as condições históricas de produção do modelo científico, ou seja, oculta-

julgar digno os seus esforços de aplicar essa Hipótese à solução dos fenômenos. [...]” (COHEN; WESTFALL, 2002, p. 31) (embora Newton no início do Óptica se negue a dizer o que é a luz, na *questão 29* ele explicita a natureza da luz).

A análise da *Hipótese II* contribui ainda mais para desmistificar os distintos papéis que Newton e Young atribuem às vibrações no éter e, nesse sentido, demarcar a oposição entre esses dois cientistas.

#### **HIPÓTESE II** (YOUNG, 1900, p. 50)

*Ondulações são produzidas no éter sempre que um corpo se torna luminoso.*

Contrapõem os significados de ondulações e vibrações. A vibração, para Young, caracteriza-se como um movimento continuamente alternado para frente e para trás, ou seja, em termos modernos compreenderia a vibração das partículas do meio em torno de sua posição de equilíbrio, desencadeada por uma perturbação. Contudo, Young enfatiza que prefere o termo ondulações, que consiste no movimento transmitido sucessivamente através de diferentes partes do meio, sem que qualquer partícula apresente tendência para continuar este movimento. Exemplifica, recorrendo à propagação do som no ar: “como no ar as vibrações de uma corda produzem as ondulações que constituem o som” (CREW, 1900, p.50). Em seguida, Young recorre a uma Carta que Newton escreve ao secretário da Royal Society (COHEN; WESTFALL, 1900, p.31), para sustentar o argumento da presença de ondulações no éter:

“[...] Fosse eu presumir uma hipótese, ela seria esta, se proposta em termos gerais, de modo a não determinar o que é a luz além de [dizer] que ela é uma outra coisa capaz de provocar vibrações no éter, pois, deste modo, ela se tornará tão geral e abrangente de outras hipóteses, que deixará pouco espaço para que outras sejam inventadas [...]”(COHEN; WESTFALL, 1900, p.31)”.

A *Hipótese II* formulada por Young é relativamente abrangente, não se refere à natureza da luz, ele apenas enfatiza que é possível produzir ondulações no éter. Sem, no entanto, curiosamente, expressar que essas ondulações são a própria luz em seu modelo. Nesse sentido, a visão de Newton não é apresentada de modo equivocado por Young e

Neste caso do éter, abordado por Young na *Hipótese I*, a recorrência aos escritos de Newton, para exemplificar semelhança entre suas idéias e as de Newton, simplesmente se caracteriza insuficiente, uma vez que nestes trechos Newton não se refere a um modelo da natureza da luz. Apenas acredita que é possível produzir vibrações no éter e supõe verdadeira sua existência. O fato é que o papel do éter e, das vibrações no éter, no modelo de luz imaginado por Newton não apresenta sintonia com a interpretação que Young dá às ondulações no éter.

O fato curioso é que Young expõe, de modo descontextualizado, ainda na *Hipótese I*, uma breve frase da Carta que Newton escreve em 1672 a Hooke, seu opositor mais severo, “[...] a Hipótese de a luz ser um corpo, caso eu a houvesse proposto, teria uma afinidade muito maior com a hipótese do próprio autor da objeção [Hooke] do que ele parece perceber, pois as vibrações no éter são tão necessárias nesta quanto na dele [...]”. Contudo, Young oculta o que Newton escreve logo em seguida e que, de fato, contribui para delinear o real pensamento de Newton. As vibrações no éter apresentam papel significativo no modelo da natureza da luz proposto por Newton, contudo, em sentido absolutamente discordante da visão de Hooke. O que contraria a versão que Young projeta da obra de Newton. Na íntegra Newton escreve o seguinte sobre sua Hipótese da luz (COHEN; WESTFALL, 2002, p. 31):

“[...] a Hipótese [que Newton propõe] de a luz ser um corpo, caso eu a houvesse proposto, teria uma afinidade muito maior com a hipótese do próprio autor da objeção [Hooke] do que ele parece perceber, pois as vibrações no éter são tão necessárias nesta quanto na dele. É que, presumindo que **os raios de luz** sejam pequenos corpos, emitidos em todas as direções por substâncias brilhantes, eles, ao incidirem sobre qualquer superfície refratora ou refletora, devem, de maneira igualmente necessária, **provocar vibrações no éter**, como fazem as pedras na água ao serem atiradas nela. E, supondo que essas vibrações seja de diversas profundidades ou espessuras, conforme sejam excitadas pelos referidos raios corpusculares de vários tamanhos e velocidades, e serventia que elas possam ter ara explicar o modo de reflexão e da refração, a produção de calor pelos raios solares, a emissão de luz por substâncias incandescentes, putrefacientes ou outras cujas partes sejam veementemente agitadas, os fenômenos das lâminas finas, e das bolhas, e de todos os corpos naturais, o modo da visão e a diferença entre as cores, bem como sua harmonia e sua discordância, é algo que deixo à consideração daqueles que possam

se seu contexto de criação e o longo movimento histórico de abstração até sua versão contemporânea. O fenômeno, presente junto às origens (condições) históricas de um modelo científico, junto ao seu contexto de criação, é negado em favor de um modelo abstrato, em favor de uma interpretação científica atual, que caracteriza ‘a verdade científica’. A impressão é que o fato científico ou não é de nenhum tempo e contexto histórico ou, por outro lado, a ‘descoberta científica’ é idealizada como um fato isolado e súbito ocorrido em uma data precisa (com dia e ano marcados - ‘especial’), mascarando o gradual e árduo trabalho dos cientistas.

Quanto à natureza da argumentação parece, em princípio, que o modelo persuasivo está mais presente na física escolar abordada pelos textos didáticos. Pois a exposição dos modelos científicos mascara os conflitos e as controvérsias na ciência, negando a idéia de que um modelo é uma representação parcial e não fiel da realidade (do fenômeno ou da natureza). Insinua no discurso uma ciência pronta e incontestável, sugerindo a idéia de ‘verdades científicas’, de natureza absoluta. As objeções em um conflito científico, os possíveis erros científicos e os ‘desvios’ históricos não são vistos positivamente neste modelo tradicional de ensino de física. A natureza histórica dos modelos científicos não faz sentido para este viés educacional, justamente porque ao resgatar a construção histórica dos modelos científicos evidencia-se um movimento que nem sempre se mostra tão lógico e linear. O gênero textual argumentativo-persuasivo, explorado por ASTOLFI et al. (1997), caracteriza bem a intenção didática do texto:

Hipótese  $\implies$  Implicações  $\implies$  Cadeia-lógica

Esse tipo de texto acaba criando uma imagem de ciência em sintonia com pressupostos do positivismo lógico. O próprio Chevallard fala que a versão da transposição didática mais priorizada nos textos didáticos torna-os ‘objetivos’. Objetivos no sentido de omitirem o contexto histórico, priorizarem as sínteses científicas, que se expõe em uma seqüência linear e extremamente lógica, de forma semelhante ao sentido positivista de ver a ciência. Sugerindo, deste modo, que a natureza e construção da ciência, de fato, apresenta esse mecanismo regular.

Essa abordagem do texto didático tem implicações inclusive na visão de educação na física escolar. Porque gera uma expectativa do processo de ensino-aprendizagem, de que os estudantes também

constroem conhecimento por esse viés ‘objetivo’, por um encadeamento linear de informações e idéias. Os conteúdos simplesmente se somam às suas mentes vazias. A natureza objetiva expressa na abordagem dos textos didáticos se caracteriza por negar o sujeito, além da gênese e do contexto das idéias, reforçando uma interpretação equivocada do ato de conhecer. Nesses termos, como se prioriza na redução textual construções didáticas que evidenciam um curso progressivo e cumulativo do conhecimento, o erro passa a ilustrar uma falta grave na construção do conhecimento. De acordo com essa visão CHEVALARD (2005, p. 72) exprime que:

“a produção do erro por parte do sujeito não é um ato positivo que remeta a esquemas ou representações devidamente construídos e, até, tenazes – e que as estratégias didáticas dos docentes deveriam procurar desestabilizar e destruir. O erro (...) aparece como uma simples falta, uma lacuna do conhecimento. Por isso, o sujeito é negado [...] Mediante esta dissociação se perpetua e se legitima retroativamente a negação do sujeito como produtor de sentido [...] (CHEVALARD, 2005, p. 72).”

A fabricação do objeto de ensino escolar com certeza precisa transformar o saber científico ao se inserir no cenário educativo. Contudo, qual visão de ciência e ensino tem tradicionalmente norteado ações dessa natureza? Qual a perspectiva de sujeito, de aluno, está imbuída na transposição didática habitual?

Defender a aquisição do conhecimento como um movimento linear, sem desvios, que silencia as falhas e a natureza não neutra do sujeito é, no mínimo, problemático. A aprendizagem não se caracteriza como um processo regular, extremamente lógico e sem erros. O ideal de um contexto didático ‘positivo’, direto e objetivo, como abordado nos textos escolares, cria um conceito distorcido da aprendizagem e, como veremos na seção seguinte, é insuficiente para explorar, por exemplo, os fenômenos ondulatórios. A exposição acrítica e ahistórica dos textos didáticos, que se caracterizam pela ausência da evolução dos conteúdos científicos (que se constroem por erros e verdades provisórias), autoriza uma concepção de ensino isomorfo segundo CHEVALARD (2005), representando um forte obstáculo à educação científica.

Deve-se ter clareza que, em certa medida, é inevitável uma degradação, ainda que parcial, no processo de textualização do saber. Chevallard em sua obra ‘**La Transposición didáctica**’ sinaliza essa transformação dos conhecimentos durante a construção de sua versão

## HIPÓTESE I<sup>29</sup> (YOUNG, 1900, p. 49)

*A possível presença de um éter lumínifero, altamente raro e sutil, com características elásticas ideais, preenchendo completamente o universo.*

Neste contexto histórico, de fato, há um relativo consenso sobre a existência do éter e suas características ideais, em termos de sua elasticidade e sutileza. Contudo, é possível evidenciar a ausência de uma teoria absoluta do éter que, por outro lado, apresenta significados históricos e, por vezes, oscilam de um cientista para outro. O modelo de éter proposto por Newton em 1717, por exemplo, contrasta com a crença de Descartes sobre o éter. Neste caso, torna-se importante datar a idéia newtoniana, pois o próprio Newton delineou suposições distintas sobre o éter. A objeção de Newton ao mecanicismo de Descartes é expressiva, com extensão à idéia de *plenum* cartesiano, base do modelo de éter deste cientista. Logo, com base nessa oposição, Newton sugere um éter composto por partículas que se repelem e, portanto, não preenchem todo espaço que é, em grande parte vazio (ABRANTES, 1998, p.94).

Young resgata exatamente o modelo de éter delineado por Newton em 1717, nas Questões 18-22 do *Óptica*. Apresentamos alguns desses fragmentos: “o calor [...] não é transmitido através do vácuo pelas vibrações de um meio muito mais sutil do que o ar, o qual, depois de o ar ter sido retirado, permaneceu no vácuo? E não é esse meio idêntico aquele pelo qual a luz é refratada e refletida, e por cujas vibrações a luz transmite calor aos corpos e é colocada em acessos de fácil reflexo e de fácil transmissão? E não é esse meio extremamente mais rarefeito e sutil do que o ar, e extremamente mais elástico e ativo? E não penetra ele prontamente em todos os corpos? E não é ele expandido (através de sua força elástica) por todo o firmamento?” (COHEN; WESTFALL, 2002, p. 81; questão 18 *Óptica*).

---

<sup>29</sup> a) Young cita para reforçar seu argumento da presença do éter um fragmento da carta de Newton destinada a Hooke em 1672 (o que eu encontrei foi a carta que Newton destina a Henry Oldenburg secretário da Royal Society em 1675 na página 30 do livro de Westphal) onde Newton enfatiza que as vibrações no éter são tão necessárias em sua teoria quanto no modelo de Hooke, teoria ondulatória (p. 31, westphal). b) Um texto de 1675 e (c) a questão 18 do *Óptica* em que Newton realmente afirma a presença de um éter com características ideais, extremamente rarefeito e sutil, perfeitamente elástico que preenche todos os corpos e se expande por todo firmamento em virtude de sua força elástica ideal. Considera ainda que o calor é transmitido pelas vibrações desse meio mais sutil que o ar ou também a luz transmite calor por meio das vibrações no éter que repercutem em acessos de fácil reflexão e fácil refração.

prioriza uma retórica que primeiro valorize seu possível rival. É muito difícil imaginar que, por outro lado, Young realmente acreditava que suas idéias pouco destoavam (em essência), das de Newton, principalmente porque ao descrever suas Proposições Young demonstra clareza sobre o modelo newtoniano da natureza da luz e, contraditoriamente à abordagem inicial de seu artigo faz referência (explícita) a essas divergências.

Um trabalho que apresenta a teoria da luz de Newton nos textos de Young é apresentado por SILVA (2009). Contudo, este autor acredita que Young resignifica a obra de Newton, reconstruindo e distorcendo o contexto de idéias originais presentes nos textos de Newton, apresentando-o como precursor do modelo ondulatório da luz. Realmente a abordagem de Young sugere inicialmente uma interpretação dessa natureza, ao enfatizar que Newton propõe um modelo parcialmente ondulatório da luz ou, em última análise, um modelo dual da luz - que combina elementos ondulatórios e corpusculares na teoria da luz. Contudo, esta versão histórica, um tanto controversa, da obra de Newton não se sustenta ao longo do texto de Young. À medida que Young recorre aos escritos de Newton a ausência de semelhança entre as concepções sobre a natureza da luz de um e de outro, inequivocamente são demarcadas, como na solução de um quebra-cabeça, dá forma à uma imagem inequívoca dessas diferenças.

Apresentamos a seguir uma análise do texto original de Young “On the Theory of Light and Colours” (1801)<sup>28</sup>. Neste texto Young expõe cinco ‘Hipóteses’ que ele supõe verdades científicas, reforçadas por fragmentos extraídos do “Óptica” do Newton, para explicitar que sua teoria não é incompatível com a deste cientista, mascarando um possível confronto (com Newton). Esse fato torna inclusive difícil, no início do texto, demarcar um limite rígido entre o que é proposto por um ou por outro, ficando claro somente nas quando ele apresenta suas ‘Proposições’.

---

<sup>28</sup> Referência CREW (1900, p. 47-61). Henry Crew em 1900 organizou um compêndio com artigos científicos de Huygens, Young e Fresnel intitulado “**The Wave Theory of Light. Memoirs by Huygens, Young and Fresnel**”.

didática. Inclusive o processo de textualização na ciência, que gera um texto científico, expresso nas publicações especializadas, em muitos casos não consiste unicamente na reorganização e reordenamento dos fatos e episódios científicos. Em contrapartida, caracteriza-se por silenciar, ao menos em parte (parcialmente), as condições de produção dos modelos científicos.

REICHENBACH (1961), por exemplo, distingue o momento da gênese e desenvolvimento de um conhecimento científico e o momento em que ele se torna público junto à comunidade científica, designando respectivamente por “contexto da descoberta” e “contexto da justificação”. O contexto da descoberta refere-se ao delineamento do problema-gênese da pesquisa e a busca por soluções que, caracterizam-se motor (pedra angular) da evolução científica. O problema científico nasce contextualizado, buscando esclarecer um fenômeno. Logo, o cientista aborda o problema em um contexto fenomenológico delineando de forma clara um objeto de pesquisa. Contudo, a interpretação de um fenômeno poderá constituir um modelo científico se for julgada satisfatória com base em critérios científicos, compartilhados pela comunidade de cientistas. Esse momento caracteriza o contexto de justificação, que se efetiva com a publicação de textos e artigos científicos em periódicos especializados. O ritual para textualizar o modelo científico, tornando-o próprio para divulgação junto aos pares, segue uma apresentação sistemática, com ênfase aos argumentos lógico-matemáticos da pesquisa, uma verdadeira reconstrução racional dos fatos científicos (REICHENBACH, 1961).

É verdade que os textos científicos ao passarem pelo processo de textualização sofrem, em certa medida, uma espécie de degradação. E dependendo dos critérios científicos de uma época essa degradação pode ser mais ou menos intensa. No contexto histórico do século XVII, por exemplo, o mecanicismo surge como uma imagem de natureza com fortes repercussões nos trabalhos científicos. Impõe ao cientista uma visão reducionista e dogmática da realidade física, nem por isso de pouco valor para a história da ciência. O critério científico da época era que a gênese, ou seja a causa de qualquer fenômeno físico deveria ser explicada com base em choques ou colisões mecânicas, ou seja, a realidade física deveria ser explorada em termos de modelos mecânicos unicamente. Caso contrário, a idéia estaria fadada a não resistir no contexto mecanicista seicentista. Ou, como ocorreu com o trabalho científico de Newton (Principia), onde expõe a Gravitação Universal.

Em sua obra Newton não nega, porém, não explora a gravidade com base em choques ou colisões mecânicas.

Sugere a idéia de ação à distância ao atribuir como possível causa da gravidade as ‘qualidades ou princípios ocultos’ inerentes à matéria. Uma verdadeira heresia em um mundo cheio, que tem horror ao vazio e que tenta apagar essa linguagem mística dos alquimistas, tão presente em vários extratos de suas obras científicas (FORATO, 2006a). Newton desafiou seus contemporâneos cartesianos, na contra-corrente da época. Contudo, as publicações científicas, com frequência, explicitavam uma imagem mecanicista de natureza. Na tentativa inclusive de legitimar o próprio trabalho científico desviando-o de possíveis críticas. Huygens, por outro lado, de fato era um cartesiano convicto e, no prefácio de seu ‘Tratado’ faz questão de expor a natureza de sua obra científica, expressando que o verdadeiro trabalho científico é aquele que busca as causas mecânicas dos fenômenos naturais (HUYGUENS, 1986)

O modo como o cientista interpreta a ciência certamente se expressa nas suas publicações científicas. No contexto histórico do eletromagnetismo, por exemplo, Maxwell explora em um extenso fragmento o método de trabalho de Faraday e Ampère e, de modo eminente, o contraste entre as faces do ‘fazer científico’ (da conceitualização) que cada um destes personagens enfatiza em suas obras científicas. Nos escritos científicos onde Faraday expõe o conceito de campo (baseado na idéia de linhas de força), há expressiva ênfase ao contexto de justificação e a uma seqüência lógica de idéias. Nos de Ampère, por outro lado, a exposição de suas contribuições científicas sobre as leis que regem as atrações e repulsões das correntes elétricas e a construção de um grande número de aparelhos eletromagnéticos remete ao contexto de conceitualização das idéias e seus tropeços, exceção nos textos científicos (MAXWELL *apud* ROCHA, 2002, p. 257-259):

“O método que Faraday empregou em suas pesquisas consistiu em um apelo constante ao experimento como um meio de testar a verdade de suas idéias, e um constante cultivo das idéias sob a influência direta do experimento. Em suas pesquisas publicadas, nós achamos essas idéias expressas em linguagem que é a mais adequada para uma ciência nascente, porque é de alguma forma alheia ao estilo dos físicos que estão acostumados a estabelecer formas matemáticas de pensamento. A investigação experimental pela qual Ampère estabeleceu as leis da ação mecânica entre correntes elétricas é uma das mais brilhantes conquistas em ciência. O todo, teoria e experimento, parece como se

tentativas científicas anteriores, como as de Newton que, modernamente se mostra equivocada.

Young em seu texto “On the Theory of Light and Colours. The Bakerian Lecture” de 1801 (YOUNG, 1900) enfatiza que não se trata de apresentar um modelo científico absolutamente novo ou um experimento crucial (ou seja, de natureza crucial, original ou revolucionário, que romperia com os modelos de luz) expressando com relativa contradição (como fica explícito mais adiante) suas intenções:

“As observações ópticas de Newton são ainda sem rival e, com exceção de algumas imprecisões casuais, elas apenas crescem em nossa estimativa, quando as comparamos com tentativas posteriores de melhorá-las. Uma análise mais aprofundada das cores de placas finas, como são descritas no livro II do Óptica de Newton, converteu essa preposição que eu antes considerava um sistema ondulatório de luz em uma convicção muito forte de sua verdade e suficiência, uma convicção que tem sido surpreendentemente confirmada...” (YOUNG, 1900, p.47. Tradução nossa).

Com base nessa exposição Young parece, em princípio, realmente convencido de que o modelo de Newton caracteriza ainda, exceto pequenas falhas, perfeitamente toleráveis, a interpretação mais adequada para a natureza da luz à sua época. Continua dizendo que:

“Uma análise mais extensa de vários escritos de Newton mostrou-me que ele foi, na realidade, o primeiro a sugerir tal teoria como eu devo esforçar-me em manter, que suas próprias opiniões variaram menos sobre essa teoria do que é hoje universalmente suposto... (YOUNG, 1900, p. 48. Tradução nossa)”

Embora Young, em sua explanação inicial, enfatize que seus artigos contribuam para complementar o ‘modelo da luz proposto por Newton’, na fase do texto que de fato Young apresenta sua real concepção sobre a natureza da luz, as incompatibilidades com Newton sobre a luz são inevitáveis, forçando Young a se expor mais ousadamente. Esta reserva evidente no modo de expressar suas idéias, no início de seu texto, recorrendo a Newton como referencial intelectual, pode ser uma estratégia adotada por Young para suavizar as possíveis críticas de seus opositores (dos próprios newtonianos, uma vez que as idéias de Newton eram bem aceitas e Newton tinha prestígio junto à Royal Society). Logo, temendo uma exposição desnecessária Young

trabalho científico de Young (ao propor originalmente a idéia de superposição de ondas) e o árduo trabalho matemático de Fresnel na interpretação da superposição de ondas combinando com o Princípio de Huygens. Ambos tem papel fundamental na natureza e construção do modelo atual da luz e de ondas.

Nesse sentido, o trabalho científico de Young, assim como o de Huygens, que são base para a interpretação matemática de Fresnel, não podem ser simplesmente ocultados dessa história. O conceito de superposição de ondas nasce originalmente com Young em seu artigo “On the Theory of Light and Colours. The Bakerian Lecture” de 1801 (YOUNG, 1900)<sup>27</sup>. Inspirado pela busca por uma explicação científica satisfatória sobre os fenômenos de difração, hoje conhecidos como ‘anéis de Newton’, Young expõe seu modelo de ondas em um tom tímido, que têm gênese em uma defesa obstinada a algumas idéias de Newton apresentadas no “Óptica”. Na exposição inicial de seu texto, afirma que suas idéias sobre a luz diferem pouco das de Newton, confrontando suas ‘Hipóteses’ com passagens escritas por Newton no “Óptica” e em cartas que Newton se defende das críticas de Hooke.

No contexto histórico do século XVII cientistas como Robert Boyle (1627-1691), Robert Hooke (1635-1703), do mesmo modo que Isaac Newton (1643-1727), apresentaram interpretações distintas para a formação de cores em películas finas. Boyle em seu livro “Experiments and considerations touching colours” de 1664 estuda as propriedades ópticas da matéria e com isso as cores de maneira geral. Mas é o físico Hooke que explora originalmente e de modo sistemático o fenômeno dos anéis coloridos em sua obra “Micrographia” publicada em 1665. Com base no modelo que interpreta a luz como um pulso propagado no éter, gerado por um corpo luminoso.

A teoria dos “estados de fácil reflexão” e “estados de fácil transmissão” proposta por Newton para explicar a formação de anéis coloridos nasce neste contexto, contudo, fundamentada em um modelo corpuscular da luz (MOURA; SILVA, 2008a). É possível evidenciar a presença constante do tema luz neste contexto histórico. Deste modo, modelos sobre a natureza da luz são despertados pela busca de explicações científicas a fenômenos incompreendidos pela ciência da época, como os relacionados à difração/interferência da luz. Nestes termos, é perfeitamente compreensível que Young não negue as

tivesse surgido de repente, já plenamente formado, do cérebro do “Newton da eletricidade”. É perfeito na forma e inatacável em precisão e é expresso numa fórmula da qual todos os fenômenos podem ser deduzidos e que deve sempre permanecer como a fórmula cardinal da eletrodinâmica. O método de Ampère, no entanto, pensado em uma forma indutiva, não nos permite traçar a formação das idéias que o guiaram. Dificilmente podemos acreditar que Ampère realmente descobriu a lei da ação à distância por meio dos experimentos que descreve. Somos levados a suspeitar que, na verdade, ele nos diz que descobriu a lei por algum processo que ele não nos mostrou, e que, quando construiu uma demonstração perfeita, ele removeu todos os traços do processo pelo qual obteve a lei. Faraday, de outra forma, mostra-nos seus insucessos assim como seus experimentos bem sucedidos, e suas idéias cruas, assim como aquelas desenvolvidas, e o leitor; inferior a ele em poder indutivo, sente simpatia mais do que admiração, e é tentado a acreditar que, se tivesse tido a mesma oportunidade, teria também feito a descoberta. Todo estudante, portanto, deve ler a pesquisa de Ampère como um esplêndido exemplo de estilo científico na afirmação de uma descoberta, mas também deveria estudar Faraday para cultivar o espírito científico, por meio da ação e reação que ocorre entre os novos fatos descobertos como introduzidos a ele por Faraday, e as idéias nascentes em sua própria mente. Foi talvez vantajoso para a ciência de Faraday, embora plenamente consciente das formas fundamentais de espaço, tempo e força, não tenha sido um matemático profissional. Ele não tentou entrar em muitas pesquisas interessantes de matemática pura que suas descobertas teriam sugerido se ele tivesse colocado sob a forma matemática, e ele não se preocupou em colocar seus resultados em uma forma aceitável à matemática ou para expressá-los em uma forma passível de abordagem matemática. Ele foi conduzido pelo prazer de seu próprio trabalho, coordenando suas idéias com os fatos e expressando-as em linguagem natural, não técnica (ROCHA, 2002, p. 257-259).”

Esses exemplos explicitam que o texto científico expressa, por vezes, uma imagem de natureza, um contexto histórico de uma época, como no caso Huygens e Newton. Nesse sentido, ele muitas vezes não é literal, transparente e, mesmo o que silencia, como em Ampère por oposição a Faraday, traduz uma imagem da realidade e de mundo. Logo, a textualização, com relativa frequência, sempre se configura em uma degradação, em uma certa distorção.

---

<sup>27</sup> Referência CREW (1900)

Contudo cabe perguntar que função ela cumpre, principalmente quando estamos nos referindo ao contexto educacional. Por isso não é nosso objetivo aprofundar a textualização do saber científico, mas sim exemplificá-lo, mostrar que a textualização de qualquer conhecimento torna de alguma forma este conhecimento resignificado ou, como enfatiza CHEVALLARD (2005): descontextualizado, despersonalizado e dessincretizado. E esse é um processo natural, o que deve ser alvo de constante vigilância é se, de fato, as distorções ou simplificações têm cumprido um papel satisfatório em termos da educação científica. Se há uma intenção didática junto às reconstruções; se o saldo é, realmente, positivo, se têm contribuído para a aprendizagem dos estudantes; ou se traduz apenas um ‘habitus’, quase acrítico, do tipo ‘sempre foi assim...’, espelho de um estilo de formação.

Chevallard contribuiu significativamente para pensar o saber escolar, evidenciando três níveis de saber, expressos também como esferas, que compõem e caracterizam a passagem sofrida pelo conhecimento científico até a sala de aula: o “savoir savant” (saber sábio, que representa o conhecimento produzido e desenvolvido por pesquisadores e intelectuais que compõem a comunidade científica), o “savoir a enseigner” (saber a ensinar, expresso nos programas e livros didáticos) e o “savoir enseigné” (saber ensinado, aquele que realmente ocorre na dinâmica dos bancos escolares).

No que tange o processo que resulta no saber ensinado pode-se destacar duas etapas: a primeira ocorre em uma instância externa ao contexto da sala de aula e corresponde à passagem do saber sábio em saber a ensinar; a segunda compreende as transformações internas, no contexto da sala de aula efetivamente, a passagem do saber a ensinar em saber de fato ensinado.

O movimento de transposição do saber sábio para uma versão didática, o saber a ensinar, pressupõe transformações significativas, baseadas na idéia de que o funcionamento didático é distinto do funcionamento acadêmico (CHEVALLARD, 2005, p.25) e, nesse sentido, não pode ser apresentado no formato originalmente publicado pelos cientistas. O conhecimento científico inserido no discurso didático, textualizado no programa escolar e em livros texto, em virtude da transformação externa, não garante que ele seja apresentado aos estudantes dessa forma. Logo, evidenciam-se as transformações internas do saber didático textualizado em saber efetivamente ensinado. No curso dessa transformação do conhecimento, já na forma escolar, o professor

## Capítulo 7

# Contexto Histórico da Natureza da Luz: o Tratado de Young

As significativas contribuições de Huygens, para o modelo da natureza ondulatória da luz, são inegáveis no contexto científico. Por outro lado, exploramos os potenciais didáticos das idéias de Huygens para o contexto educativo, com base no ‘Tratado da Luz’ delineado por este cientista. Nestes termos, apresentamos a extensão da obra científica de Huygens, que não é abordada na física escolar, e uma possível estratégia didática para este fim. O conceito crucial de Huygens presente freqüentemente nos textos didáticos em uma versão resignificada refere-se ao hoje conhecido ‘Princípio das frentes de ondas de Huygens’.

Contudo, uma análise detalhada da obra de Huygens mostra que o tratamento dado, por este cientista, às ondas mecânicas, pode contribuir para problematizar conceitos relativos à ondulatória na educação científica. Por outro lado, a transposição didática do ‘Princípio de Huygens’, em muitos casos, se caracteriza por uma distorção histórica da proposta original de Huygens presente em seu Tratado da Luz. Uma vez que interpreta a natureza das ondas de Huygens em termos de uma visão contemporânea. Expondo, assim, este contexto histórico da natureza da luz e das ondas como contribuição/resultado de um cientista isolado. E, além disso, o modelo genuíno de Huygens é omitido. Huygens imaginava ondas ausentes de características periódicas, pensava em ondas (de luz) mecânicas longitudinais e, por fim, inexistia em seu modelo a idéia de superposição de ondas. Interpretações científicas que surgem, mais tarde, com os trabalhos de cientistas como Young e Fresnel (CREW, 1900). Personagens históricos igualmente expressivos na formulação de explicações da luz e do comportamento das ondas.

Fresnel é um cientista que, com rara freqüência, surge no contexto histórico da natureza da luz, presente em os textos didáticos. Young até tem uma certa incursão, contudo sempre associado a um ‘experimento crucial’, da dupla fenda, que traduz a descoberta científica secular da superposição de ondas. A ausência de menção Ao contexto de conceitualização de Young e Fresnel, oculta dessa história, o intenso

claros e escuros) quando se empregam orifícios como elementos difratores (BRAUN; BRAUN, 1994, p.190):

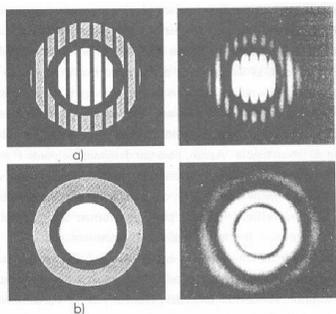


Figura 4

Não é um ponto pacífico se, de fato, T. Young realizou a experiência da dupla fenda, relatada acima (SILVA; MARTINS, 2008). O **conceito** de superposição de ondas nasce originalmente com Young, em seu artigo “On the Theory of Light and Colours: The Bakerian Lecture” de 1801 (YOUNG, 1900)<sup>26</sup>. Contudo, neste artigo, Young não expõe a descrição de nenhum experimento crucial ou, experimento qualquer, apenas explora suas idéias resgatando as contribuições de Newton, conforme abordado no Capítulo seguinte. Não é objetivo do presente trabalho buscar a verdade histórica sobre o experimento da dupla fenda, se caracteriza-se por uma experiência mental; ou se, de fato, foi realizada. Neste momento interessa-nos a conceitualização da noção de superposição de ondas por Young, no artigo científico acima citado.

<sup>26</sup> Referência CREW (1900)

desempenha um papel fundamental, configurando-se o personagem principal da transposição didática interna.

Com base em uma interpretação apressada da síntese ilustrada acima pode-se pensar que o movimento de transformação do saber têm sua gênese na intencionalidade didática. Contudo, as transformações do saber sábio têm origem no âmbito do próprio contexto científico quando os conhecimentos necessitam moldar-se a um texto capaz de se tornar público. Os cientistas, pesquisadores e intelectuais em geral, reconstruem os passos do caminhar, com frequência irregular, de suas pesquisas, adequando-o de forma que possa ser comunicado a seus pares, do mesmo modo que torne possível sua incursão na esfera social.

Com base em nosso estudo de caso, queremos mostrar que o saldo da transposição didática tradicional é negativo em termos do aprendizado das ondas mecânicas e, inclusive em termos de uma formação mais crítica sobre a natureza da ciência. Além do mais Chevallard afirma que as distorções conceituais e históricas têm se banalizado e ganhado uma dimensão dogmática nos textos didáticos. Descreve que essa descaracterização dogmática dos conhecimentos escolares, presente na transposição didática tradicional, extremiza/intensifica o movimento de descontextualização, despersonalização e dessincretização:

A **descontextualização** do saber, nesse sentido, refere-se à ausência e, muitas vezes, à distorção/deformação do contexto histórico e epistemológico dos fatos e episódios científicos quando se constrói sua versão didática (na forma de um texto). Descola-se a síntese científica do problema e do contexto científico no qual teve origem. Quando o saber sábio chega ao contexto escolar tradicionalmente apresenta-se nesses moldes, descontextualizado dogmáticamente (CHEVALLARD, 2005, p.23-24).

Contudo, segundo Chevallard, evidencia-se um trabalho de reconstrução didática que acomoda o conhecimento científico em novos contextos, resignificando-o de maneira que em alguns casos torna-se quase irreconhecível quando confrontado com o saber originalmente produzido no campo da ciência (ou pelo menos é o que deveria ocorrer). Não se trata de uma retomada ou recorrência histórica da produção científica do saber, visando apresentar uma recontextualização da natureza e construção da ciência, do saber sábio. Na verdade:

“O processo de didatização provoca construções novas decorrentes de pressões de natureza bem diferentes daquelas da pesquisa. Na escola,

as condições concretas de ensino vão determinar a colocação dos saberes em contextos que não tem como ‘a priori’ a fidelidade à sua construção pelo pesquisador” (PERRELLI, 1996, p. 73).

De fato é o que deveríamos observar é um processo constante de criação didática que buscassem significar (tendo como referência as necessidades e dificuldades dos estudantes) os conceitos científicos, mas, os livros didáticos de nível médio correspondem a meras simplificações dos compêndios universitários, as construções didáticas são poucas, quando não nulas, quando não totalmente ausentes. Os livros de ensino superior, por outro lado, perpetuam um tipo transposição didática que se baseia em uma exposição estanque dos conteúdos em uma seqüência linear caracterizada pela descaracterização dogmática e pouco se vê das criações didáticas.

A **despersonalização** do saber (CHEVALLARD, 2005, p. 24-25; 67-75) nega os fortes traços pessoais, como as crenças do cientista, presentes no contexto original de produção do saber e dos modelos científicos, no processo de textualização que caracteriza muitas publicações científicas e didáticas. O texto se tornar em certa medida ‘impessoal’, dissimulando a natureza humana do trabalho da ciência:

“[...] o saber científico, em *status nascendi*, está atado a seu produtor e faz, por assim dizer, parte dele. Sua partilha no interior mesmo da comunidade sábia, supõe um certo grau de despersonalização, que é o que permite a publicidade do saber” (CHEVALLARD, 2005, p. 24).

Chevallard alerta para o fato de que a despersonalização se acentua na textualização didática do saber sábio, quando este se torna saber a ensinar, durante o trabalho de exposição dos conhecimentos na produção didática dos textos e programas escolares: “Sem dúvida o processo de despersonalização não se realiza tão completamente como durante o momento do ensino” (CHEVALLARD, 2005, p.25). O texto exposto nas publicações didáticas oculta, então, de forma mais nítida, a dimensão real dos problemas em que o pesquisador estava mergulhado. Ao textualizar o saber científico em saber a ensinar, nos moldes tradicionais, priorizados no contexto educativo, a produção da ciência passa de impessoal para anônima e esta característica parece condição necessária para tornar o conhecimento inquestionável, um verdadeiro dogma. Pois um conhecimento produzido por ‘anônimos’, que sugere o mesmo efeito dos ‘gênios’, torna-se muito mais confiável, pois parece não estar sujeito às falhas humanas, sugerindo a idéia de que o

Young explicou que as bandas escuras correspondem aos locais/pontos para os quais as trajetórias ópticas de luz, a partir das fendas até o anteparo, diferissem de um número ímpar de  $\frac{1}{2}$  comprimento de onda. As duas ondas então se sobrepunham 180 graus, fora de fase, e uma cancelava a outra por uma interferência destrutiva. Similarmente as bandas claras compõem aqueles pontos para os quais as duas ondas se sobrepõem em fase, as suas trajetórias ópticas diferindo de um número inteiro de comprimento de onda. A partir da simplicidade da configuração torna-se possível calcular as localizações esperadas de intensidades máxima e mínima da luz, e elas concordavam com o seu experimento (SILVERMAN, 1998, p.38).

Neste contexto, repetindo a experiência com diferentes cores de luz, Young observou que a separação entre as franjas de interferência variava conforme a cor utilizada. Sabendo-se que, em uma figura de interferência é possível estabelecer a seguinte relação entre a separação,  $\Delta x$ , entre duas linhas nodais consecutivas e o  $\lambda$  usado na experiência:  $\Delta x = L \lambda / d$  - onde  $d$  corresponde a separação entre as duas fendas/fontes e  $L$  a distância destas fontes ao anteparo - Young inferiu que cada cor corresponderia a um comprimento de onda  $\lambda$  diferente por evidenciar que cada cor apresentava um valor diferente de  $\Delta x$  (MÁXIMO, ALVARENGA, 2005, p.262). Finalmente conhecendo a distância entre as fendas e a localização das franjas para uma cor específica ele conseguia deduzir o comprimento de onda correspondente àquela cor (SILVERMAN, 1998, p.39).

Com frequência os livros texto, tanto de nível médio quanto universitário, apresentam a análise da superposição das frentes de onda, expressas na experiência de Young, enfatizando a distinção entre os efeitos de interferência e difração. Nesse sentido, concebem a interferência como resultado da superposição de ondas que provêm de diferentes fendas. Em contrapartida expressam a difração como a superposição de ondas que provêm de diferentes partes de uma mesma fenda. Evidentemente, nos dois casos a superposição resulta em uma interferência construtiva, destrutiva ou uma situação intermediária (BRAUN; BRAUN, 1994, p.186).

Contudo, com base na experiência de Young não é possível, admitindo ondas luminosas, obter apenas franjas de interferência. Na prática, ocorre a superposição dos dois efeitos, em virtude, fundamentalmente, da dificuldade em obter fendas muito estreitas ( $a \sim \lambda$ ). As figuras a seguir ilustram a superposição da figura de interferência (franjas claras e escuras verticais) e da configuração de difração (anéis

freqüentemente expressa, experiência da dupla fenda de Young a Royal Society (BRAUN; BRAUN, 1994, p.193).

A experiência caracteriza-se relativamente simples. Logo, uma descrição sucinta segue para um exame crítico das conseqüentes contribuições de Young. Com uma agulha Young fez um pequeno orifício em um anteparo pelo qual fez passar a luz do sol. Ao atravessar este orifício a luz divergente, dispersa-se por difração, incidindo sobre um segundo anteparo contendo dois orifícios muito próximos (BRAUN; BRAUN, 1994, p.184). A Figura exibida na seqüência apresenta o experimento de Young:

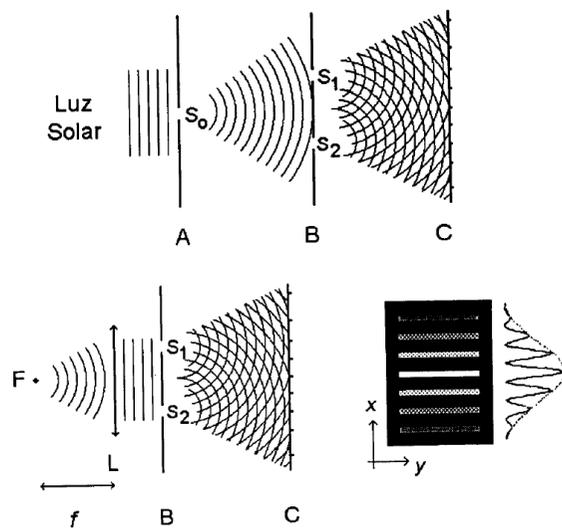


Figura 3

Neste conjunto, cada orifício atua como uma fonte puntiforme de ondas esféricas secundárias. A luz difratada nos orifícios  $S_1$  e  $S_2$  dispersa-se na região entre o anteparo B e a tela de observação C. Nesta região, as ondas se superpõem, interferindo-se construtiva ou destrutivamente. Num tela C distante pode-se visualizar o padrão de interferência da luz, caracterizado por uma figura de intensidade luminosa variável onde se mesclam alternadamente zonas de maior intensidade com zonas de menor intensidade, ocorrendo entre elas intensidades intermediárias (BRAUN; BRAUN, 1994, p.185).

conhecimento científico destaca-se por sua característica infalível, absoluta. Para o educador acrítico, ou imerso em um ensino do tipo educação ‘bancária’ que prioriza o ‘depósito’ de conhecimentos essa distorção torna-se positiva e muito cômoda, pois funciona como se o professor passasse a seguinte mensagem aos estudantes: “você podem acreditar em mim, isto não é de mim” (CHEVALLARD, 2005, p.25).

A **dessincretização** (CHEVALLARD, 2005, p. 70), por fim, acentua mais ainda a ‘degradação’ do saber científico ao textualizá-lo. O conhecimento, em sua gênese, não se caracteriza estanque, ao contrário, nasce articulado a uma rede de relações fenomenológicas e a outros conceitos científicos que caracterizam sua natureza complexa. Quando este conceito científico assume a forma discursiva, no campo da própria ciência, é publicado de forma mais objetiva, em doses fragmentadas. Na passagem para o contexto educativo, em virtude inclusive da segmentação disciplinar do ensino a dessincretização torna-se ainda mais evidente.

A textualização na ciência pode, de fato, imprimir traços de natureza impessoal e descontextual aos textos científicos, entretanto, o processo habitual de didatização do conhecimento apresenta-se muito mais severo com a história da ciência:

“O saber que a transposição didática [habitual] produz será, portanto, exilado de suas origens e separado de sua produção histórica na esfera do saber sábio, legitimando-se, enquanto saber ensinado, como algo que não é de nenhum tempo nem de nenhum lugar, e não se legitimando mediante recurso da autoridade de um produtor, qualquer que ele seja (CHEVALLARD, 2005, p. 18).”

A expressiva despersonalização, descontextualização e desincretização do saber cria uma lógica e seqüência linear dos conhecimentos, sem significados aos estudantes. A dinâmica dos textos didáticos mascara e, em larga medida, deforma, de modo danoso, a real natureza dos conhecimentos científicos por enfatizar uma lógica atemporal e cumulativa unicamente. Rejeita e desconhece, por outro lado, as reais necessidades do educando, estruturando o sistema de ensino com base em requisitos didáticos que apresentam pouca sintonia com os interesses dos estudantes, sujeitos históricos. As razões para a ausência da história da ciência, as supressões, lacunas e distorções do ensino das ciências, conforme essa lógica, justifica-se também com base em argumentos como, por exemplo, as restrições impostas pelo tempo legal destinado ao ensino.

#### **4.4 Explorando as possíveis faces da intenção didática presente na transposição didática tradicional**

Quando se pensa no tema ‘Transposição Didática’ torna-se crucial resgatar a natureza dos tempos presentes em cada uma das esferas do saber. No campo do saber sábio a dimensão temporal dos conhecimentos científicos articula-se a história do processo de produção da ciência. O movimento histórico de fatos e episódios científicos é expressão de um longo percurso dos cientistas em busca de uma maior clareza da realidade. O ‘tempo real’ é o tempo de construção da ciência com toda sua riqueza e complexidade.

Ao textualizar o saber sábio o cientista descaracteriza os modelos científicos, apresentando à comunidade científica uma versão parcial do processo de construção do conhecimento, conforme já discutido. Nesses termos, a história científica é contada pelo cientista, distorcendo, com frequência, o tempo real de sua produção científica. O resgate da historiografia da ciência torna-se pertinente nesse sentido, pois possibilita uma incursão temporal dos fatos científicos, contribuindo para desmistificar a idéia de conhecimento cumulativo.

O mecanismo de transposição didática conforme se naturalizou no contexto educativo prioriza um processo de despersonalização, descontextualização e desincretização do conhecimento de referência, exprimindo o trabalho científico em sintonia com uma lógica que destoa completamente do contexto de criação e até justificação dos modelos científicos. Ao resignificar e, com frequência, despir o saber sábio de seu contexto histórico e epistemológico, a linguagem textual do livro didático reconstrói-se priorizando um gênero discursivo estático.

O ideal de um texto objetivo, transparente aos olhos do leitor (estudante e educador), isenta a imagem de ciência de sentidos relativizados, sugerindo ao estudante uma interpretação positiva e dogmática da natureza e construção dos modelos científicos. Essa abordagem gera uma confiança irrestrita na ciência transformando-a em um dogma irrefutável, propícia para um ensino de transmissão acrítica, positiva e direta. Logo, com frequência, prioriza-se no ensino de ciências conteúdos escolares em uma seqüência progressiva e linear, convertendo as criações da ciência em descobertas livres (encadeadas) da intervenção humana em uma exposição atemporal. A negação de um tempo real, histórico, sugere aos estudantes um cientificismo absoluto por insinuar a neutralidade no contexto científico, um verdadeiro

explicar praticamente qualquer fenômeno. O autor refere-se possivelmente à teoria dos acessos de Newton em seu julgamento.

Em princípio, uma inferência dessa natureza, com base em uma apreciação isolada deste fato científico, pensado sem a devida explicitação histórica, parece um equívoco e até mesmo uma depreciação do trabalho de Newton sobre a natureza da luz. Contudo, este não é o caso de uma afirmação irrefletida, tendo em vista a abordagem histórica detalhada e crítica priorizada pelo autor mencionado que, ao discorrer sobre a história da natureza da luz, busca de forma constante contra-exemplos às imagens equivocadas que mascaram o trabalho científico.

Logo, guardadas as devidas proporções e mergulhando na história é possível concordar com este posicionamento reportando-se aos argumentos de Lakatos. Quando uma teoria perde sua força heurística, ou seja, corre atrás dos fatos – os fatos se antecipam às previsões teóricas – o progresso teórico se atrasa em relação ao empírico, é um sinal de que a teoria está regredindo, evidenciando uma possível mudança científica. Esta descrição epistemológica cabe, em larga medida, à teoria corpuscular newtoniana que busca uma construção teórica, confusa e obscura em muitos aspectos, para explicar os fenômenos de interferência/difração, conforme é possível evidenciar com a teoria dos acessos.

Em seus estudos sobre a luz, Young descreve os “anéis de Newton” como resultado da superposição e interferência de ondas. Conforme enfatiza, o aparecimento de franjas circulares de interferência quando um feixe de luz incide sobre uma lente plano-convexa, apoiada em uma lâmina de vidro, está associada à superposição das ondas refletidas pela camada de ar, entre as duas superfícies de vidro de separação variável.

Como uma evidência clara de que a natureza e construção da ciência é impulsionada por um turbilhão de interrogações, pela constante dúvida, e um sentimento ávido de respostas e a certeza de que sem questionamentos não há conhecimentos, parafraseando BACHELARD (1999), Young depara-se com a seguinte problemática: é possível, com base no modelo ondulatório da luz, prever a localização das franjas configuradas no padrão de interferência e não meramente conjecturar (supor) sobre sua existência? (SILVERMAN, 1998, p.38)

Conduzido por este problema de pesquisa Young confecciona um arranjo experimental que possibilita evidenciar a interferência da luz fundamentando o modelo ondulatório. Em 1801 expõe a,

articulada à noção de comprimento de onda, frequência, período de oscilação, natureza transversal das ondas luminosas e a visão de interferência construtiva e destrutiva para explicar a sombra, por exemplo, conceitos distantes da interpretação de Huygens.

Os trabalhos de Young têm sua gênese no contexto de estudos da visão e audição. Médico de formação mergulha nos mistérios destes campos, com particular interesse às discussões sobre os conhecidos “anéis de Newton”. Seus estudos o conduzem à primeira explicação satisfatória deste fenômeno e, neste sentido, institui-se, cinquenta anos após a morte de Newton, um desafio à doutrina corpuscular da luz.

As contribuições de Young e mais tarde as de Fresnel caracterizam-se significativas na construção do modelo ondulatório da luz e, nesse sentido, torna-se pertinente explorá-las.

Para detalhar as idéias de Young sobre a luz torna-se necessário fazer uma nova incursão nos trabalhos de Newton. Esta recorrência histórica tem o propósito de esclarecer o contexto de discussão no qual se insere os trabalhos de Young.

Os anéis de difração evidenciados e descritos por Grimaldi em um experimento com fendas que resulta em um padrão de interferência despertou fortemente o interesse de Newton que lança sua teoria dos “estados de fácil transmissão e fácil reflexão”, fundamentado em uma imagem corpuscular da luz, contudo, supondo a presença de um éter luminífero capaz de vibrar, para explicar a formação dos anéis coloridos (MOURA; SILVA, 2005).

É possível afirmar que Newton busca explicar em suas investigações na óptica não apenas a composição e a dispersão das cores, mas todos os fenômenos relacionados à luz. Justamente esse compromisso o conduz à teoria dos acessos, apresentada no “capítulo 3”, como uma busca desesperada para “salvar as aparências” (SILVERMAN, 1998, p. 36).

Contudo, com o devido reconhecimento Newton seguiu muito além de Grimaldi, considerando todos os desvios da propagação retilínea da luz como manifestações de forças exercidas sobre as partículas de luz pela matéria, expressas em sua teoria dos acessos.

Conforme afirma SILVERMAN (1998) a convicção de que a luz era um fenômeno de partículas mantém-se fortalecida até início do século XIX não apenas em virtude do prestígio de Newton junto à comunidade científica, tendo em vista a repercussão positiva do “Principia”, mas fundamentalmente por a teoria ser tão flexível que através de “esforço e imaginação” era possível adaptá-la e, assim,

obstáculo a uma visão crítica da ciência e pouco favorável para problematizar os temas escolares. Essa distorção e reconfiguração do tempo histórico na transposição didática imprime, muitas vezes, traços atuais a conhecimentos estruturados em épocas distintas. A reconstrução racional do saber da ciência na textualização didática incorre em uma visão anacrônica dos fatos científicos, delineados à luz de uma interpretação do presente.

No que tange a transposição didática habitual CHEVALLARD (2005) e DEVELAY (1987) destacam algumas ficções que apoiam o ensino das disciplinas científicas:

- a crença na possibilidade de deslocar os conceitos científicos do contexto histórico no qual estão imbricados, sem distorções irreparáveis;
- a convicção de que é possível uma reconstrução cumulativa e linear dos conteúdos da ciência sem danos irreparáveis aos estudantes;
- a ficção de identidade entre o saber a ensinar e o saber ensinado, ocultando o papel do educador ao transpor os conhecimentos veiculados nos livros-texto durante a exposição didática dos conteúdos;
- a ficção de que o educador escolhe o que ensinar;
- a ficção de que é possível correspondências entre o tempo didático e o tempo de aprendizagem.

Para o contexto de abordagem do ‘Princípio de Huygens’ vimos que os textos escolares buscam apresentar mais rapidamente uma formulação atual do Princípio, por isso as idéias originalmente propostas por Huygens em seu tratado são reconstruídas em termos do presente. Em alguns casos, os livros até mencionam que há essa distorção histórica e que o Princípio de Huygens explorado didaticamente é, na verdade, o Princípio de Huygens-Fresnel. Uma vez que agrega as contribuições científicas de Fresnel, como a interpretação da superposição no modelo de ondas mecânicas, que de fato, não era imaginada por Huygens. Contudo, omite-se ou, de fato desconhece-se, de que os estudantes apresentam conhecimentos confusos sobre conceitos ondulatórios fundamentais que, no modelo didático tradicional são desprezados.

O gênero textual priorizado na textualização didática dos conteúdos científicos expõe uma realidade que pouco contribui para o aprendizado da física escolar. Os textos escolares extremizam a tradição

desse ritual discursivo, da ‘economia didática’, ao excluir a história dos conceitos, criando um ‘habitus’ que se perpetua no tempo e cujas origens históricas são difíceis de resgatar. ‘Habitus’, pois os textos escolares se caracterizam, com relativa frequência, como principal recurso didático dos professores e fonte de pesquisa e estudo dos estudantes. Contudo, será que ao adotar esse mecanismo como um critério de bom ensino, ou como sinônimo de uma boa transposição didática tem-se como contrapartida uma aprendizagem com resultados mais satisfatórios? As dificuldades dos estudantes quanto ao papel do meio e da fonte na propagação de uma onda mecânica, por exemplo, explicitam como a fragilidade desse tipo de ênfase didática. Essa lacuna demonstra que há deficiências que devem ser trabalhadas na física escolar, e o caso Huygens é um exemplo expressivo nesse sentido, um exemplo que mostra a insuficiência de se priorizar as síntese científicas, ou o modelo abstrato, suprimindo a ‘evolução’ conceitual para se trabalhar determinada temática, conforme a seção seguinte explicita.

#### **4.5 Obstáculos presentes no ensino-aprendizagem de ondas mecânicas**

O artigo “Making Sense of How Students Make Sense of Mechanical Waves” (WITTMANN et al, 1999) apresenta um estudo sobre a compreensão da física das ondas mecânicas entre estudantes de um curso de física da Universidade de Maryland. A pesquisa evidencia que os modelos mentais dos estudantes quanto à física das ondas e conceitos elementares de ondas apresentam equívocos e confusão quando confrontados em diferentes contextos de estudo. Os estudantes imaginam que a força exercida pela mão em uma corda, por exemplo, determina a velocidade de propagação da onda, expondo o seguinte raciocínio explicativo: quanto maior o impulso na corda, maior a sua velocidade de propagação. Os estudantes apresentam idéias confusas sobre o papel da fonte no contexto das ondas mecânicas. Julgam equivocadamente que a velocidade das ondas mecânicas é determinada pela fonte de emissão e não pelas propriedades elásticas do meio. As grandezas físicas que determinam a velocidade de uma onda transversal em uma corda vibrante, por exemplo, são a tensão na corda e sua massa por unidade de comprimento (também chamada de massa específica

Este contexto de confronto requeria uma medida direta do comprimento de onda ou da velocidade da luz em um meio transparente em relação ao ar, continuando em suspenso até meados do século XIX, conforme se aborda em geral. No entanto, os estudos de Young no início do século XIX já favoreciam o modelo ondulatório, que se fortalece significativamente com as experiências de Foulcault.

A controvérsia científica da natureza da luz expressa, em momentos como esse, que interpretar como um experimento crucial, para a interpretação ondulatória, os feitos de Foucault e Fizeau, por volta de 1850, (em oposição às contribuições de Young em 1801) não parece apressado se, devidamente discutido em seu contexto histórico. Configura-se sim inadequado e errôneo pensá-lo de forma estanque, como um fato científico atemporal e isolado. Julgá-lo como um simples produto da ciência.

Logo, não se caracteriza transparente pensar o motivo pelo qual esse experimento, em particular, aparece como categórico, decisivo, em textos diversos – de ensino e históricos – se nos reportarmos, muito antes, em 1801 e 1802 à experiência da dupla fenda e à medida do comprimento de onda da luz por Young, respectivamente. SILVERMAN (1998, p.15-16) delinea hipóteses pertinentes nessa direção, atestando que em 1802 o conceito de comprimento de onda não se caracterizava significativo, tendo em vista a supremacia/hegemonia, neste período histórico, da teoria corpuscular da luz e, por isso, talvez, não se considere tão fortemente as contribuições desse personagem histórico nos textos científicos, de ensino e históricos.

Neste contexto, a velocidade, ao contrário, constituía-se importante e tratava-se de uma idéia corrente, de conhecimento comum a todos, uma vez que a mecânica de Newton estava consolidada. Newton publica os “Princípios Matemáticos da Filosofia Natural” em 1667. Logo, debruçar esforços sobre tentativas de medir a velocidade da luz na matéria parecia um propósito mais apropriado do que se debruçar sobre a idéia ousada de comprimento de onda.

Nesse sentido, julgar o experimento de Foulcault como crucial, sem a devida apreciação histórica, apresenta-se equivocado, uma vez que T. Young já havia publicado suas contribuições para os estudos da luz. De fato, não se deve depreciar este viés da história, já que Young teve papel fundamental na sistematização do modelo ondulatório da luz.

A interpretação ondulatória atualmente veiculada nos livros didáticos está em forte sintonia com o modelo de Young, fundamentalmente no que se refere às idéias de periodicidades das ondas

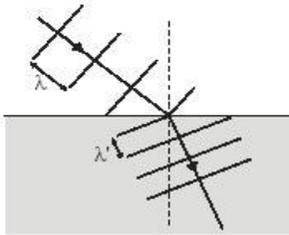


Figura 2 (SILVERMAN, 1998, p. 14)

Com base nestas considerações e observando a geometria da figura, a razão dos comprimentos de onda  $\lambda_1$  e  $\lambda_2$  resulta na expressão

$$\frac{\text{sen } \phi}{\text{sen } \theta} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \quad \text{que, com a substituição das respectivas velocidades}$$

obtem-se  $\frac{\text{sen } \phi}{\text{sen } \theta} = \frac{v_2}{v_1}$  análoga à expressão obtida pelo modelo

corpúscular da luz, exceto pela inversão das velocidades, ambas coerentes com a lei de Snell-Descartes.

Uma questão pertinente para explorar no sentido epistemológico refere-se à gênese não neutra da ciência. A incompatibilidade entre a luz ondulatória e a luz particular no que concerne os estudos da refração caracterizava-se, fundamentalmente, de natureza teórica já ainda faltava a base experimental necessária para medir a velocidade da luz na matéria. Nesse sentido, distintas premissas teóricas e, não experimentais, quanto à velocidade da luz na matéria conduziram estes modelos à expressão síntese matemática de Snell-Descartes.

Logo, um breve exame desta contenda permite ilustrar um contra-exemplo à tese ateorica e aproblemática da ciência em sala de aula, assim como perspectivas equivocadas da origem do conhecimento científico, reforçando uma visão crítica da ciência.

De fato, este episódio histórico parecia explicitar um conflito incomensurável, uma vez que a expressão obtida a partir do modelo corpúscular da luz e, por outro lado, as expressões derivadas do modelo ondulatório, concordavam ambas com a Lei de Snell-Descartes, evidenciando um “diálogo” que somente poderia ser traduzido pela experiência.

linear ou densidade linear):  $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$ . A equação mostra que a velocidade da onda  $v$  deve aumentar quando a tensão  $F$  aumenta. Contudo, deve diminuir quando a densidade linear  $\mu$  aumenta.

No caso de um pulso longitudinal em um fluido a velocidade de propagação também depende de propriedades mecânicas do meio que são: o módulo de compressão ( $B$ ) e a densidade do meio representada por ( $\rho$ ).

Embora a pesquisa não apresente uma apreciação dessa natureza é possível que além disso os alunos não percebam que a velocidade de propagação da onda é distinta da velocidade de vibração da partícula do meio deslocada de sua posição de equilíbrio pela perturbação. Essa idéia caracteriza-se bastante intuitiva e por isso deve ser explorada detalhadamente no ensino das ondas. A onda se desloca com uma velocidade ao longo da corda, enquanto o movimento da partícula é um MHS (Movimento Harmônico Simples), transversal à direção de propagação da onda, em torno da posição de equilíbrio (YOUNG; FREEDMANN, 2006, p. 237-239). A ausência de uma discussão detalhada desse tema pode mascarar a idéia de que o próprio meio não se desloca no espaço; as partículas individuais do meio oscilam em torno das respectivas posições de equilíbrio, e é a configuração global da onda que se propaga. (Os estudantes utilizam de forma inadequada os conceitos físicos de força e energia) Para produzir o movimento de qualquer sistema, como uma onda em uma corda, é necessário fornecer energia mediante um trabalho realizado sobre o sistema. No caso da corda o trabalho realizado pelo movimento da mão fornece energia à corda. O movimento ondulatório, nesse sentido, transfere esta energia de uma região para outra do meio. As ondas, portanto, não transportam matéria, mas transmitem energia de uma região para outra do meio.

O artigo (WITTMANN et al, 1999) evidencia também que parte significativa dos alunos não esboçou uma idéia de superposição de ondas. Além disso, as concepções mais representativas desse grupo expressavam uma distorção no significado físico atribuído à amplitude da onda. Para os estudantes a amplitude descreve apenas o ponto de máximo deslocamento da onda, uma visão parcial à luz do sentido científico.

Modelos incorretos da superposição de ondas, decorrentes da extensão/analogia irrestrita com colisões mecânicas, também foram observados. Os alunos pesquisados imaginam a seguinte situação: Se quando dois carros de dimensões distintas, por exemplo, se movem em direção um ao outro com mesma velocidade, provocando uma colisão perfeitamente inelástica (onde os dois carros passam a se mover juntos na mesma direção do carro maior, porém com a velocidade do carro menor), o mesmo deve ocorrer com o caso das ondas. Quando duas ondas de amplitudes diferentes se cruzam a onda ‘menor’, menor amplitude, cancela a onda ‘maior’, maior amplitude, formando um pulso que se move no mesmo sentido da perturbação de maior amplitude.

No modelo mental dos alunos os pulsos de ondas são interpretados como partículas, objetos em colisão orientam o raciocínio espontâneo apresentado para explicar fenômenos ondulatórios. A propagação de uma onda é imaginada, por vezes, de modo muito semelhante ao lançamento de uma objeto material. Quanto maior a energia cinética de um projétil, de massa constante, evidentemente maior sua velocidade. Do mesmo modo a propagação de um pulso é pensada: quanto maior a energia cinética da onda, permanecendo constante a amplitude, maior sua velocidade de propagação e não sua amplitude<sup>17</sup>.

O artigo “Elastic Waves: mental models and teaching/learning sequences” (TARANTINO, 2007) investiga a compreensão de estudantes do curso de Física da Universidade de Palermo, na Itália, quanto à natureza das ondas mecânicas. Expõe que a lacuna mais expressiva no tratamento desse tema se refere à interpretação dedicada ao papel do meio na propagação das ondas e a ausência da idéia de superposição de ondas. Reforça, portanto, o estudo detalhado anteriormente que também indica falhas desse gênero.

Neste estudo (TARANTINO, 2007), sugeriu-se aos estudantes três episódios didáticos relacionados à propagação de um pulsos/ondas em meios elásticos:

<sup>17</sup> Contudo, a energia de uma onda (ou com frequência a ‘taxa de transferência energia’ – potência média ou intensidade) é diretamente proporcional ao quadrado da amplitude e ao quadrado da frequência. A energia de uma onda mecânica determina a amplitude e a frequência da onda e não a velocidade de propagação do pulso que, ao contrário do que pensam os estudantes, é determinada pelas propriedades elásticas do meio, conforme discutido no texto anterior.

Em contrapartida, o modelo ondulatório previa que a velocidade da luz, ao passar do ar para a água (um meio mais denso), deveria diminuir, interpretando a refração de forma distinta. Considerando frentes de onda no ar incidindo obliquamente sobre um meio como a água, previa que em intervalo de tempo fixo  $T$  a distância  $v_1.T$  percorrida pela frente de onda no ar é maior do que a distância correspondente  $v_2.T$  percorrida pela porção da mesma frente de onda na água. Então, frentes de ondas seqüenciais na água ficam mais próximas entre si do que no ar. A redução da velocidade, para Huygens, deve-se porque “sendo os corpos transparentes tão rarefeitos quanto dissemos, concebe-se facilmente que as ondas possam continuar na matéria etérea que preenche os interstícios das partículas. Além disso, pode-se crer que o progresso dessas ondas deve ser um pouco mais lento dentro dos corpos, por causa dos pequenos desvios causados por essas mesmas partículas [...] a causa da refração consiste nessa diferente velocidade da luz” (HUYGENS, 1986, p. 31), conforme apresentado em seção anterior.

Cabe novamente enfatizar que Huygens não considera explicitamente ondas periódicas, contudo, seu modelo facilmente acomoda essa idéia (SILVERMAN, 1998, p.15). Uma característica essencial neste contexto, uma vez que com frequência o ensino de física oculta dessa discussão o fato de que o modelo de Huygens priorizado em livros texto retrata, em larga medida, uma interpretação atual do modelo de ondas (SILVA, 2007).

Como abordado nessa “reconstrução” *a posteriori* (SILVA, 2007), que articula a interpretação ondulatória de Huygens à conceitos físicos contemporâneo, se  $T$  é o período de uma oscilação, então o comprimento de onda  $\lambda = v.T$  (1) representa a distância entre pontos de igual fase em duas frentes de onda seqüenciais, por exemplo, o intervalo espacial entre duas cristas ou dois vales. Como o período de oscilação e, nesse sentido, a frequência,  $f = \frac{1}{T}$  (2) dependem unicamente da origem (fonte) da luz e independem dos vários meios a partir dos quais a luz se propaga, pela expressão (1) se  $v_2 < v_1$ , hipótese ondulatória, observa-se que  $\lambda_2$  deve ser menor do que  $\lambda_1$ , uma vez que a frequência mantém-se constante. A figura a seguir ilustra essa idéia:

desviava a direção da frente de onda, fato científico explorado em seguida (SILVERMAN, 1998, p.9-16).

Apesar dos estudos de Roemer apresentarem-se neste contexto e resultarem em um valor para a velocidade da luz de  $\sim 3.2 \times 10^8$  m/s no vácuo (há controvérsias sobre este valor), muito próximo do atual, obter, entretanto, a velocidade da luz na matéria caracterizava-se um desafio muito mais árduo.

Assim, com pressupostos contrários a Huygens, o modelo corpuscular de Newton previa que a velocidade da luz, ao passar do ar para a água, por exemplo, deveria aumentar. Como evidenciado neste caso, percebe-se que o raio de luz originário no ar e incidente em uma superfície transparente e mais densa, como por exemplo, o vidro ou a água, deflete, refrata aproximando-se da normal. A hipótese corpuscular sugeria a existência de uma força atuando no sentido de acelerar as partículas de luz para dentro da água, aumentando, por conseguinte, sua velocidade.

De acordo com Newton, isso se explica porque as moléculas do meio mais denso exercem uma força atrativa vertical nas moléculas de luz, uma vez que por simetria não deveria existir forças laterais, considerando uma superfície suficientemente extensa. Nesse sentido, a luz se move mais rapidamente no meio mais denso apesar dos componentes paralelos da velocidade permanecerem inalterados. Logo, a relação entre as velocidades inicial e final,  $v_1$  e  $v_2$  respectivamente e os ângulos de incidência  $\theta$  e de refração  $\phi$  apresentam-se, conforme a

expressão  $\frac{\text{sen } \phi}{\text{sen } \theta} = \frac{v_1}{v_2}$  (SILVERMAN, 1998, p.13).

Na visão de partículas de Newton os raios de luz são efetivamente identificados como uma fita, uma seqüência de objetos reais, fato que torna bastante compreensível a explicação conferida à refração, ilustrada pela figura a seguir (SILVERMAN, 1998, p. 13):

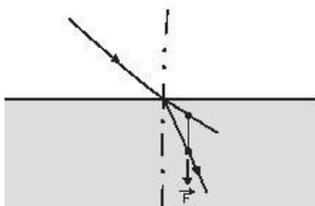


Figura 1 (SILVERMAN, 1998, p. 14)

**Episódio didático 1:** a extremidade livre de uma corda elástica é movida rapidamente para cima e para baixo dando origem a uma onda/ um pulso. O que acontece se a mão que gera o pulso (a onda) se mover mais rapidamente?

**Episódio didático 2:** a extremidade de uma barra de metal de dois metros de comprimento é atingida por um martelo. Dois microfones são posicionados a uma mesma distância deste ponto. Um localizado no ar e o outro na própria barra de metal. Em qual dos dois microfones o som chegará mais depressa?

**Episódio didático 3:** considere uma partícula de poeira posicionada em frente a um alfinete que emite um som de uma determinada frequência. Descreva o movimento da partícula.

A síntese das explicações que os alunos construíram exprimem suas idéias sobre o mecanismo de propagação das ondas. Os estudantes interpretam que quanto maior o impulso dado na corda, maior será a velocidade da onda. Concebem equivocadamente o papel do meio no mecanismo de propagação das ondas: imaginam que o meio oferece resistência à propagação das ondas do mesmo modo que no movimento de uma partícula. Logo, concluem que em meios mais densos as ondas mecânicas se propagam com velocidade menor. Por fim, os estudantes não apresentam nenhuma noção de como o meio se comporta ao ser perturbado, fica explícito a ausência da idéia do mecanismo de vibração do meio ao propagar o distúrbio, já que escrevem que as partículas do meio em alguns casos avançam timidamente, mas em outros se mantêm estáticas.

A ruptura com a idéia de semelhança/extensão direta entre as representações de ondas e modelos mecânicos (objetos se movendo) deve ser um objetivo da física escolar. Para tanto, torna-se necessário que os alunos se desvinculem dessa imagem natural e, um possível caminho para tal propósito pode ser o estudo de caso histórico Huygens. Explorar qual o papel do meio no contexto de Huygens pode estimular a construção de um modelo de ondas mecânicas adequado. Por contraste à exposição estanque de tais temas de ensino. Acompanhar o mecanismo de modelização presente no curso histórico coloca o aluno diante da significação e resignificação das idéias e ilustra a dinâmica de abstração inerente a esse processo.

Nos capítulos 5, 6 e 7 explora-se o contexto histórico da natureza da luz.

# Capítulo 5

## Contexto Histórico da Natureza da Luz: Newton

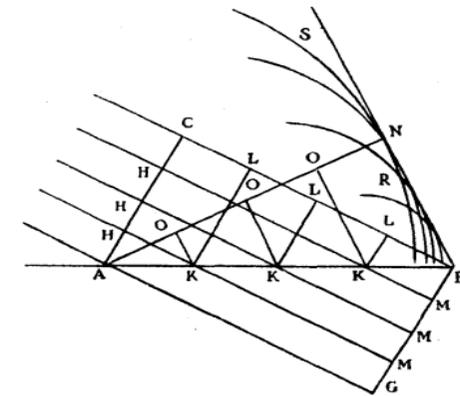
### 5.1 - Modelo da natureza da luz no mundo físico grego: imagem do contínuo e descontínuo

No mundo grego (século III a.C.), berço da ciência ocidental, encontram-se duas teorias físicas de natureza distinta: o atomismo e a física do contínuo. As concepções dos estóicos sobre a propagação da luz em um meio, o 'pneuma', permitem um confronto com os atomistas, que sustentavam o caráter descontínuo da matéria (SAMBURSKY, 1990). Articular a idéia de rupturas e discontinuidades, da filosofia bachelardiana, ao estudo das raízes históricas da óptica, possibilita compreender as distintas premissas teóricas que dirigiam o pensamento dos filósofos gregos acerca do mecanismo da visão e do que é a luz, em virtude essencialmente do contexto histórico no qual esses pressupostos se inserem.

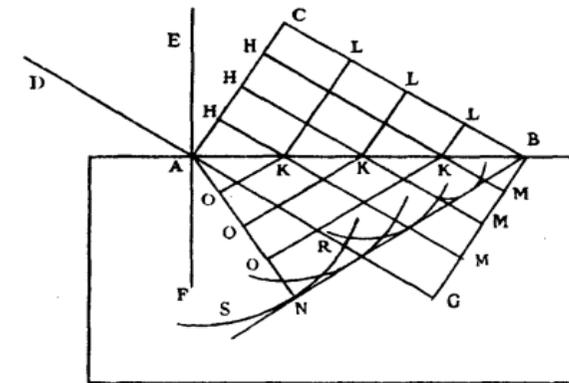
A física do contínuo constitui-se uma criação original dos estóicos, que está associada principalmente aos nomes de Zenon, Crisipo e Posidônio. A pedra angular da física estóica é a concepção de continuidade do espaço, da matéria e continuidade na propagação.

A originalidade da teoria estóica, no que concerne à idéia de continuidade, configura-se inegável. A escola estóica atribui ao meio qualidades ativas, consistindo em um princípio regulador de todos os fenômenos físicos do cosmos. A essa substância ativa, combinação de ar e fogo (justamente porque estes elementos estão cheios dessa propriedade ativa, o calor), responsável por unir e encadear em um todo único e dinâmico o cosmos, denominou-se 'pneuma', termo grego que significa 'espírito' ou 'alento'. O 'pneuma' penetra todas as substâncias e preenche todo espaço vazio, possui uma capacidade extraordinária de coesão e conexão das coisas para que não se desintegram, devido as qualidades tensoras que possui.

As propriedades elásticas do ar, sua compressibilidade, a força expansiva do vapor, proveniente do fogo, exprimiam razões físicas para esta primazia dada ao ar e ao fogo; no âmbito da biologia, por outro lado, as razões eram 'óbvias', dado o reconhecimento de que os



Tratado da Luz (HUYGENS, 1986)



Tratado da Luz (HUYGENS, 1986)

### 6.6 Velocidade da luz na matéria

Um ponto preditivo não apenas de forte divergência mas irreconciliável entre os modelos corpuscular de Newton e o ondulatório de Huygens referia-se à velocidade da luz nos materiais. A interpretação de Newton para a refração, com base na idéia de força gravitacional, era de que a velocidade da luz aumentaria ao se propagar em um meio mais denso. Huygens propôs o contrário, que a redução da velocidade da luz

Pensando nessa análise Huygens se coloca diante do seguinte problema, se, em virtude da natureza do éter, ele dispõe de uma grande facilidade de entremear os corpos, permear e preencher o espaço vazio presente nos corpos e, propaga com facilidade as ondas de luz, o que explica a existência de objetos opacos? Com base nessa característica do éter só deveriam existir objetos transparentes, ou seja, que permitem a passagem de luz. Para Huygens, o éter se encontra “continuamente e em quantidade” entre as partículas de todos os corpos opacos. Explica essa “aparente” fragilidade, considerando que os corpos opacos compõem-se de partículas “moles” entremeadas com as “duras” de modo que umas são responsáveis pela reflexão e outras para impedir a transparência e, os corpos transparentes, ao contrário, dispõem apenas de partículas duras, caracterizadas por sua natureza elástica, semelhante ao éter, que contribuem para propagar a luz.

Na seqüência segue a exposição geométrica da refração, contudo, a análise exposta sobre as possíveis formas de propagação da luz no éter e na matéria não é referenciada quando a dimensão geométrica entra em cena. Huygens supõe, conforme largamente explicitado, “a passagem de ondas de luz através dos corpos transparentes e a diminuição de velocidade que essas ondas aí sofrem (HUYGENS, 1986, p.32)”. Ilustra-se a seguir figuras exploradas por Huygens no tratamento geométrico da refração e da reflexão e embora em Huygens elas representem “o progresso de uma mesma onda em tempos iguais” (1989, p.29), em um sentido atual expõem o comprimento de onda da luz. Figuras similares às apresentadas por Huygens aparecem em alguns livros didáticos.

processos térmicos eram indissociáveis da vida orgânica, essencialmente no que diz respeito ao crescimento e desenvolvimento biológico.

Assim, é possível perceber que a idéia de ‘pneuma’ rendeu frutos para as explicações gregas não apenas acerca do mundo natural, mas também as concepções biológicas no que se refere ao que determinava e do que dependia, por exemplo, a existência da vida. De acordo com SAMBURSKY (1990, p.158) *‘as funções dinâmicas do fogo e do ar foram estendidas para abarcar todos os fenômenos naturais’*. A suposição dos estóicos era de que os seres vivos estavam impregnados deste princípio vivo, dinâmico e ‘regulador’ do universo, o ‘pneuma’. As variações na sua combinação propiciavam sua ligação a diversidade dos reinos orgânico e inorgânico, ao mundo físico em geral, associando-se, no primeiro caso, diretamente a alma, ou seja, ele é entendido como um tipo de matéria primordial similar a alma. Tendo em vista a idéia de ‘pneuma’ como um pilar fundamental na concepção biológica dos estóicos, em virtude do pressuposto de que *‘tudo que se nutre e cresce contém em si mesmo uma fonte de calor’* (SAMBURSKY, 1990, p.160), são essas funções dinâmicas que constituem o princípio ativo do ‘pneuma’, germen e princípio da vida, que possibilitam a existência do mundo natural.

Por outro lado, a busca de respostas aos primeiros questionamentos acerca da natureza da matéria, no século VI (a.C.), reflete um pensamento movido por uma necessidade ímpar de conhecer as leis que regem o universo. *‘Do que o mundo é feito’* é a pergunta que norteia e desafia o espírito grego na Antiguidade Clássica. Os filósofos cuja crença comum é a busca de uma matéria prima na natureza contribuem para a formulação de inúmeras conjecturas referentes ao elemento básico a partir do qual tudo se origina, sinalizando, neste sentido, o nascimento da teoria atômica com Leucipo, desenvolvida por Demócrito, seu discípulo.

A idéia da matéria como não contínua, composta por partículas infinitas em número, duras, indestrutíveis e inacessíveis aos olhos humanos; articulada a idéia da ausência de matéria, ou seja, a existência do vazio, constituem o núcleo duro das premissas teóricas dos atomistas. O átomo grego é eterno, imutável e indivisível. Para Demócrito, isso repercute na idéia de que essas partículas, elementos fundamentais a partir dos quais se constrói a natureza, não surgem do nada, não se transformam e nem podem ser destruídos (PEDUZZI, 2001). As características dos átomos, conforme Demócrito, são: firmes e sólidos, diferentes em tamanho e formas. Como realça GAARDER (1995, p.57),

conforme a concepção de Demócrito, os átomos “*não podiam ser iguais, pois se todos os átomos fossem iguais não haveria explicação para o fato de eles se combinarem para formar de papoulas a oliveiras, do pêlo de um bode ao cabelo humano*”. Átomos com formas perfeitas e arredondadas, dotados de superfícies lisas; átomos disformes e irregulares, dotados de superfícies rugosas agrupados entre si resultavam na diversidade do mundo natural. A rigidez dos objetos devia-se ao maior ou menor grau de compactamento presente entre os átomos agregados. As cores, os contrastes entre sabores, enfim, a configuração do mundo grego estava estritamente ligada aos arranjos geométricos, movimentos e formas dos átomos (PEDUZZI, 2001).

Assim, a constituição da alma, formada por átomos, não poderia fugir à tradição dessa escola materialista, que concebe matéria e vácuo (existência de átomos e vazio) no cerne da natureza. Assim como os estóicos, os atomistas dirigem seu pensamento no sentido de abarcar explicações que extrapolam o âmbito inorgânico, tecendo considerações inclusive sobre a vida.

SAMBURSKY (1990) sinaliza em sua obra *‘O mundo físico dos gregos’* que a escola estóica e a atomista são responsáveis por investigações acerca da propagação da luz, sobre bases extraídas de suas próprias convicções de mundo: a idéia da natureza contínua e discreta da matéria, respectivamente. Desta forma, este cenário ilustra uma imagem completa do contexto teórico no qual se consolidaram as convicções gregas sobre os mecanismos da visão, e igualmente sobre o que é a luz.

A física do contínuo concebe que se o ar é agitado por um impulso, dada sua natureza uniforme, sem espaços vazios, é capaz de propagar o sinal: “(...) ouvimos porque o ar que se encontra entre a voz e o que escuta é golpeado e se expande em ondas esféricas que alcançam nossos ouvidos, de maneira igual as ondas que se expandem em círculos em um tanque perturbado pelo lançamento de uma pedra” (SAMBURSKY, 1990, p. 164)<sup>18</sup>. Nesta perspectiva, a visão é propiciada pela luz que sai da alma do observador, se propaga por todo o corpo através do ‘pneuma’ que o preenche, até chegar ao olho. De lá, a luz perturba o ar, propagando-se até o objeto de interesse. A imagem se forma pela luz que do objeto se expande novamente em direção ao olho, que a retransmite para alma, através do ‘pneuma’ (PEDUZZI, 2004).

<sup>18</sup> Segundo Sambursky (1990), os estóicos destacam-se também nas discussões sobre a propagação do som em um meio contínuo, pioneiros nesse sentido, originais inclusive na analogia clássica das ondas na água.

verdade é que não somente essa matéria passa, mas passa com grande facilidade” (HUYGENS, 1986, p.29).

Contudo, Huygens não acredita nessa posição, defende, ao contrário, que na realidade o éter permeia toda matéria e com grande facilidade e, para evidenciar esse fato ele ilustra um exemplo. Imagina uma esfera de vidro oca, contudo cheia de éter. Nestas condições, se o éter não pudesse “sair” pelos poros do vidro ele necessariamente acompanharia a esfera quando ela estivesse em movimento. Conseqüentemente, a força necessária para imprimir uma certa velocidade à esfera seria maior do que se o éter não a preenchesse, “nota-se pelo contrário que a esfera só resiste à impressão do movimento segundo a quantidade de matéria do vidro do qual é feita. Portanto, a matéria etérea que está dentro, não pode ser encerrada, mas deve correr [atrás] do vidro com grande liberdade” (HUYGENS, 1986, p.30).

Delinea, na seqüência, a tese que defende para a transparência, explicando que “as ondas de luz se propagam na matéria etérea que ocupa continuamente os interstícios ou poros dos corpos transparentes” e explicita que, esses interstícios/poros, ocupam mais espaço do que as próprias partículas que compõem o corpo. E conclui que “sendo os corpos transparentes tão rarefeitos quanto dissemos, concebe-se facilmente que as ondas possam continuar na matéria etérea que preenche os interstícios das partículas. Além disso, pode-se crer que o progresso dessas ondas deve ser um pouco mais lento dentro dos corpos, por causa dos pequenos desvios causados por essas mesmas partículas. Mostrarei que a causa da refração consiste nessa diferente velocidade da luz (HUYGENS, 1986, p. 31)”.

A última hipótese sobre a qual se pode conceber a transparência, ou a refração da luz sugerida por Huygens refere-se à suposição de que “o movimento das ondas de luz se transmite indiferentemente pelas partículas de matéria etérea, que ocupam os interstícios dos corpos, e pelas partículas que o compõem”. Se as partículas de éter forem menores do que as dos corpos transparentes isso não se caracteriza um problema já que, segundo Huygens as partículas desses corpos são constituídas por partículas menores e é para elas que o éter transmite o movimento. Por outro lado, se essas partículas não possuírem uma elasticidade tão perfeita quanto a do éter, conseqüentemente a propagação das ondas de luz será mais lenta nesses corpos do que fora, na matéria etérea. Essa hipótese é admitida por Huygens principalmente para explicar a dupla refração.

um pão fermentado, .... resta portanto [a possibilidade de que] sejam, como foi dito, conjuntos de partículas que se tocam, sem compor um sólido contínuo” (HUYGENS, 1986, p.29).

Cabe destacar que embora o contexto da Grécia Antiga caracteriza-se como o berço de uma busca desenfreada por uma visão mais clara da estrutura da matéria (um elemento sutil, constituinte primeiro de toda matéria) com uma visão fundamentalmente atomista, descontínua da matéria (que admite o vazio), o século XVII é marcado por uma profunda mudança na imagem de natureza, que adota uma concepção mecânica, e neste cenário de “revolução científica”, despertar o pensamento antigo de seu sono como uma forma de interpretar a natureza não representava uma postura consensual. Deste modo, a pertinência do resgate ao pensamento antigo, especulativo, é largamente debatida, divergindo idéias, motivando uma discussão que se tornou conhecida como “debate entre antigos e modernos” (FORATO, 2006a, p.193). Para os que discordam de buscar no passado inspiração e uma forma de iluminar os problemas de pesquisa colocados no século XVII, “os modernos”, o argumento é simples, a natureza metafísica, meramente especulativa que caracteriza a essência do pensamento antigo diverge (destoa) da forma de conhecer proposta no contexto mecanicista do século XVII, ou seja, “questionavam se esses textos poderiam fornecer subsídios para investigar fenômenos naturais que eram desconhecidos pelos antigos”, enfatizando que os problemas de pesquisa configuram-se de outra natureza (FORATO, 2006a, p. 193).

Nesse sentido, quando Huygens sugere que um sólido é “supostamente” composto de partículas deve-se interpor à análise que Huygens dispõe de especulações sobre a estrutura íntima da matéria. Logo, como assemelhar o modelo de ondas de Huygens, proposto em um contexto onde não se tinha muita clareza da constituição da matéria, à uma perspectiva atual?

Continuando sua exposição, Huygens afirma que é perfeitamente possível conceber a transparência sem que o éter seja necessário na transmissão das ondas de luz nos corpos e que “o movimento que essas partículas [que compõem os corpos] recebem para continuar as ondas de luz nada mais faz do que se comunicar de umas às outras, sem que para isso elas saiam de seu lugar, ou que elas se desarranjem entre si”. Assim “pode-se portanto dessa maneira conceber a transparência sem que seja necessário que a matéria etérea, que serve para a transmissão da luz, passe [pelo material transparente]...Mas a

Para os atomistas, apoiados na crença da descontinuidade da matéria, a luz é composta por átomos sutis, arredondados e velozes. A visão é possível em virtude de um fluxo de partículas emanado do objeto que apenas é assimilado pelos olhos. Neste fluxo de partículas, átomos dispõem-se em grupos formando ‘imagens em miniatura’, os ‘simulacros’, identificadas pelas estruturas dos olhos.

As conjecturas teóricas acerca da estrutura da matéria abrigam natureza e ênfases distintas; para os atomistas, a busca de um elemento básico, raiz fundamental que constitui todas as coisas, é essencial; para Platão e Pitágoras a primazia deve deslocar-se à estrutura e a forma geométrica; o que não exclui a formulação de hipóteses sobre os mistérios que cercam a visão. Assim, o encanto e o fascínio guia alguns filósofos gregos à investigações acerca dos fenômenos luminosos, orientadas por uma questão básica: a luz vem dos objetos que vemos; sai de nossos olhos para os mesmos; ou será um misto dessas alternativas? BASSALO (1990, p. 555). Para a doutrina pitagórica, os raios luminosos têm sua origem no objeto, deslocando-se até alcançar os olhos, da mesma forma que o comportamento de alguns astros, as chamas do fogo e os vaga-lumes. A hipótese de Platão pressupõe a existência de três raios necessários a visão: o raio visual, o raio proveniente do objeto, e o vindo das fontes iluminadores (Sol, lâmpada,...). Desta forma, explica por que não é possível enxergar no escuro: fundamentalmente em virtude da ausência deste terceiro raio.<sup>19</sup>

As raízes históricas do conhecimento físico grego acerca da formação de imagens e da natureza da luz permitem uma reflexão: é possível considerar o confronto entre as concepções da vertente estoica e atomista como precursoras<sup>20</sup> das teorias corpuscular (Newton) e ondulatória (Huygens) da luz desenvolvidas no século XVII? Em uma perspectiva mais geral: o conhecimento atual pode ser analisado como a forma adulta de concepções embrionárias existentes em épocas

---

<sup>19</sup> De acordo com Bassalo (1990), há controvérsias em relação a hipótese pitagórica sobre o entendimento da visão. Para o historiador Ditchburn (1978; apud Bassalo, 1990, p.556), as imagens se formam devido a um fluxo visual emitido pelos olhos, contrastando com a postura adotada por Bassalo, em sintonia com a abordagem dada pelo historiador Hoffmann (1981; apud Bassalo, 1990, p.556).

<sup>20</sup> A idéia de precursor incorpora em sua essência a crença em um desenvolvimento cumulativo do conhecimento, sem respeitar o contexto histórico-cultural no qual nasce e se estrutura uma teoria. Contudo, cabe destacar que os cientistas não simbolizam gênios, que destituídos de toda e qualquer carga teórica mantém a imaginação livre, desconhecendo inclusive a história, com o objetivo de acessar o segredo do mundo natural.

passadas? Pressupondo, assim, um crescimento gradual, linear e contínuo, do conhecimento físico no que se refere à natureza da luz?

Parece, em princípio, simplista demais entender as idéias físicas do mundo grego como os embriões teóricos que fizeram germinar, tendo em vista um progresso cumulativo, o modelo ondulatória (Huygens) e corpuscular (Newton) da luz.

Como se pode evidenciar, as explicações dadas a visão e ao que vem a ser a luz, tanto pelos atomistas quanto pelos estóicos, estavam fundamentadas de acordo com filosofias de mundo. A partir do século XVII, a polêmica acerca da natureza da luz desencadeia-se entre dois modelos distintos: o corpuscular e o ondulatório. Vinculam-se a outro cenário histórico, caracterizado por novas idéias sobre o universo, ou seja, uma nova concepção de mundo, sinalizando descontinuidade no avançar do conhecimento científico.

No que se refere ao caráter descontínuo entre as concepções gregas e as concepções que começam a se firmar no século XVII sobre a luz e a visão, vale ressaltar que os primeiros conflitos de idéias, no domínio científico, se estabelecem entre Descartes e Fermat, ambos no campo teórico.

Para demonstrar a lei da refração, Descartes, em 1637, partindo da teoria corpuscular, infere de seus estudos que a velocidade da luz deveria ser maior em meios mais densos (mais refringentes). Já Fermat, em 1661, com base no 'postulado do tempo mínimo', chega a um resultado contrário, de que a luz em meios mais refringentes tem menor velocidade. A divergência entre as duas concepções teóricas (conflitantes), objetos de controvérsias, cresce com os trabalhos de Huygens (teoria em concordância com Fermat) e Newton (teoria de acordo com Descartes).

A filosofia tradicional da ciência interpreta a evolução histórica da cultura e do conhecimento a partir da imagem de um progresso contínuo. Essa crença difunde a imagem de que conceitos, idéias e teorias se desenvolvem como o desenrolar de um novelo, os conhecimentos de forma gradativa somam-se uns aos outros sem respeitar seus distintos contextos de origem. Lopes (1996, p.255) ressalta que segundo esta visão "as idéias atuais são entendidas como pré-existentes de forma embrionária em épocas anteriores". De acordo com LOPES (1996, p.256):

"Em síntese, os continuistas não analisam o pensamento filosófico inserido em sua cultura, com pressupostos e visões próprias de

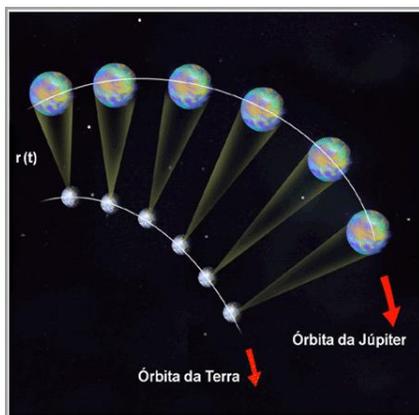
de seus pares, isento de uma carga de herança cultural e histórica, com um propósito único de desvendar, na linguagem de um empirista "desvelar", a natureza e seus mistérios. Huygens conhece e explora o trabalho de seus contemporâneos. O estudo histórico da natureza da luz, por exemplo, retrata claramente essa idéia.

## 6.5 A refração da luz: opacidade e transparência dos corpos

No contexto de discussão da refração da luz, a transparência e a opacidade dos corpos são abordadas. Segundo HUYGENS: "para que não pareça estranho supor essa passagem das ondas no interior dos corpos, mostrarei antes que se pode concebê-la como possível, de mais do que uma maneira" (1986, p.29).

HUYGENS (1986, 29-31) propõem a possibilidade de tratar esse problema por três hipóteses distintas: na primeira, o éter não permeia os corpos transparentes e, por conseguinte, as partículas que constituem os corpos seriam responsáveis por comunicar sucessivamente o movimento das ondas; na segunda, a matéria etérea propaga as ondas de luz tendo em vista que ocupa os "interstícios" ou "poros" dos corpos transparentes; na terceira, "o movimento das ondas se transmite indiferentemente pelas partículas da matéria etérea, que ocupam os interstícios dos corpos, e pelas partículas que o compõem". Huygens nega a idéia presente na primeira hipótese, contudo, desenvolve essa tese para evidenciar suas fragilidades e, em seguida, refutá-la. Acredita e defende a segunda tese para explicar a transparência dos corpos, embora não descarte a terceira para interpretar a dupla refração. Na seqüência, apresenta-se de forma detalhada as três teses, conforme abordadas no Tratado.

Conjectura, então, que se a matéria etérea não permeasse os corpos transparentes, o movimento das ondas seria comunicado sucessivamente em princípio pelas próprias partículas que compõem esses corpos, de forma semelhante ao éter, supondo-as, evidentemente, de natureza elástica. Enfatiza que facilmente essa tese se adapta aos líquidos e gases cujas partículas estão mais livres, contudo no caso dos sólidos o movimento da onda parece ser transmitido a toda massa ao mesmo tempo. Entretanto, pondera que isso não ocorre necessariamente assim no caso dos sólidos, "é provável que esses corpos sejam compostos de partículas...Além disso, não se pode dizer que esses corpos sejam de uma constituição semelhante à de uma esponja, ou de



[http://efisica.if.usp.br/optica/universitario/historico/onda\\_particula/](http://efisica.if.usp.br/optica/universitario/historico/onda_particula/)

Cabe enfatizar este episódio histórico principalmente porque a idéia de que a luz era instantânea caracterizava-se uma suposição bastante aceita. Descartes (1596 -1650) por exemplo, defendia esta hipótese fundamentando-se nos eclipses da lua.

Como se configurava uma discussão da época, Huygens apresenta em seu Tratado uma reconstrução do percurso matemático-geométrico traçado por Descartes para criticar e explicitar as fragilidades e lacunas nos argumentos e explicações cartesianas em favor da velocidade infinita da luz.

Explicita igualmente o raciocínio de Roemer para chegar à velocidade da luz, contudo com propósito distinto da crítica a Descartes, busca expor sua sintonia com o pensamento de Roemer, de que a velocidade da luz era finita. Confronta essa discussão com seus próprios estudos sobre a velocidade da luz que o conduziram a um valor cerca de 6 vezes menor do que o de Roemer para a velocidade da luz.

Como mais uma evidência para reforçar sua concepção ondulatória da luz Huygens destaca que pensar em corpúsculos de luz com uma velocidade dessa dimensão parece inconcebível, destacando que “[...] essa suposição [da velocidade da luz demonstrada por Roemer] não deve parecer ter nada de impossível, pois não se trata do transporte de um corpo com tal velocidade, mas de um movimento sucessivo que passa de uns aos outros” (HUYGENS, 1986, p.14).

As contribuições de personagens históricos como Roemer, no contexto em que se molda as características fundamentais da natureza da luz, evidenciam que o cientista não trabalha isolado, alheio aos estudos

mundo, porque interpretam a cultura como um todo monolítico, história cumulativamente contada, na qual há formulações de infância e de vida adulta. Insistem em ver todo acontecimento do passado como uma preparação dos acontecimento do presente.”

Nesta perspectiva, os saberes que constituem uma ciência, como a física, por exemplo, refletem uma construção estabelecida sobre uma única racionalidade, e domínios teóricos de natureza distinta manifestam a “*existência de um fio condutor de influências ao longo da história*”.

Entretanto, o cenário no qual se configuram as disputas acerca dos mecanismos da visão e natureza da luz entre concepções estoicas e atomistas e entre Descartes e Fermat é essencialmente antagônico para BACHELARD (1999; 1975), defensor das rupturas no caminhar da ciência.

De acordo com esta postura descontinuista, a antiguidade clássica contempla ideais frontalmente dissonantes dos que constituem o contexto da ciência moderna: as concepções de mundo estão veiculadas a domínios de natureza distinta, agregados a pressupostos radicalmente dicotômicos. As revolucionárias e expressivas mudanças ocorridas no século XVII, em virtude da origem da ciência moderna, desencadeiam alterações profundas na compreensão da natureza, organização social e prática científica.

A tendência do pensamento clássico é dar primazia a construções teóricas que preferenciam explicar a totalidade dos fenômenos do mundo natural, apoiando as interpretações na evidência sensível, fundamentalmente. Por outro lado, a ascensão das ciências matemáticas sobre as considerações e exame da natureza articulada ao experimentalismo ilustram o nascimento de uma nova “imagem de natureza” (ABRANTES,1998; HENRY, 1997).

## 5.2 - Newton e a sua ‘Imagem da Natureza’

Com frequência Newton é apresentado como personagem típico nos breves episódios históricos descritos nos livros texto, em particular aos dedicados ao ensino médio, caracterizado como símbolo lendário de uma mente brilhante e genial que aos 23 anos desenvolveu um trabalho ímpar, à luz de uma inspiração súbita (MARTINS, 2006a; FORATO; 2006a; 2006b).

Uma interpretação acritica e atemporal, que não evidencia o contexto de construção de sua doutrina científica e que, por

conseqüência, favorece/reforça uma ciência linear e com características rigidamente especiais. A “lenda da maçã” (MARTINS, 2006a) caracteriza-se como um exemplo clássico das sínteses equivocadas presentes em arremedos históricos publicados em livros didáticos e de divulgação científica com o propósito de “contextualizar” a Teoria da Gravitação Universal.

Em contrapartida, textos (publicações) de divulgação científica priorizam o confronto entre duas imagens curiosas de Newton: de um lado expressam os trabalhos de natureza “científica” imbuídos de uma racionalidade rígida; por outro lado, tais descrições sugerem os trabalhos místicos/herméticos da alquimia, astrologia, cabala ou teologia que, em geral, destacam uma abordagem com tom de desdém, uma exploração sensacionalista dos estudos de Newton (FORATO, 2006).

Em sintonia com FORATO (2006a, p.192) torna-se pertinente:

“Apresentar as realizações newtonianas aos alunos sem preconceitos, analisadas à luz de seu tempo, e levando em conta o ambiente intelectual e cultural em que viveu seu autor permite criticar a visão ingênua do fazer científico. Discutir a construção do saber científico como um produto da cultura humana, sujeita ao contexto de cada época pode auxiliar o educador a apresentá-la de maneira mais crítica aos seus alunos e contribuir para transpor os conhecimentos científicos para a sala de aula. Conhecer uma proposta alternativa aquela trazida pelos livros didáticos fornece ao professor um embasamento útil para esse desafio.”

Nestas descrições superficiais e simplificadas se inserem os estudos de Newton sobre a natureza da luz. Nesta perspectiva defende-se que para uma apreciação crítica do modelo de Newton sobre a luz torna-se imprescindível delinear o contexto no qual suas idéias nascem e, então, decifrar sua “imagem de natureza”.

Cabe enfatizar que o século XVII é, com freqüência, caracterizado como auge da revolução científica, símbolo de um período histórico marcado por mudanças significativas no modo de ver/investigar a natureza. O conjunto de transformações desde séculos anteriores contribuíram decisivamente para configurar (moldar/delinear) o contexto de surgimento da ciência moderna. Essa busca por uma nova “imagem da natureza” encorajou a retomada humanista da cultura clássica greco-romana, que se iniciou no século XII, em forma de traduções para o árabe, e se intensificou no século XV. Além do retorno a textos como de Aristóteles (384-322 a.C.), Galeno (130-201 d.C.) e

diâmetro, dispostas em linha reta. Lançando-se uma esfera, semelhante às arranjadas seqüencialmente, à primeira da fila, o movimento transmite-se rapidamente à última que se afasta do conjunto que permanece imóvel, sem qualquer vestígio de movimento entre as esferas intermediárias e a lançada inicialmente, conforme Huygens discute no caso da interferência das ondas quando se reporta ao modelo mecânico atualmente conhecido como “pêndulo de Newton”. Neste contexto, é possível imaginar o éter com características similares à dureza perfeita e elasticidade ideal para explicar a propagação da luz. A elasticidade do éter garante às partículas restituir-se igualmente depressa, seja quando forem empurradas fortemente ou fracamente. Razão que justifica o fato da luz conservar sua velocidade à medida que se afasta da fonte. O som, ao contrário, se torna cada vez mais fraco à medida que se afasta do objeto que o produz, uma vez que o ar não apresenta características similares às do éter. Assim, a energia das ondas sonoras, ao se espalhar, diminui a intensidade.

Caracteriza-se pertinente enfatizar que a transmissão do movimento, ou a tendência ao movimento das ondas de luz, não é instantânea, mas sucessiva, realiza-se no tempo para Huygens. Caso contrário, as esferas avançariam juntas (ao mesmo tempo), o que não ocorre, pois apenas a última que deixa a fila e adquire a velocidade daquela que foi lançada. Sabia-se que o som não é instantâneo e que demora um certo tempo para se deslocar de um lugar a outro.

Neste contexto de controvérsia científica, a velocidade da luz medida pelo astrônomo O. Roemer (1644-1710) em 1676 apresenta significativo papel. Roemer observou que o tempo do eclipse da lua Io de Júpiter era diferente durante o ciclo anual. Associando estas diferenças ao fato de a luz ter que percorrer distâncias diferentes estimou um valor para a velocidade da luz inferior, mas muito próximo ao conhecido hoje (SILVERMAN, 1998).

podem impedir-se de comunicar às que as cercam, apesar de todo movimento que as agite e faça mudarem de lugar entre si”.

Uma evidência favorável à presença do éter na propagação da luz, segundo Huygens, pode ser demonstrada encerrando-se um corpo sonoro em um recipiente de vidro e retirando-se o ar por meio da bomba de vácuo construída por Boyle. Ao retirar o ar, não é possível perceber vibração sonora alguma, o som não se propaga em virtude da ausência do ar; contudo, é possível observar o objeto, a luz transmite-se através do vidro independente da presença do ar. Nesse sentido, um meio mais sutil do que o ar e que apresenta maior penetrabilidade, pois é capaz de atravessar o vidro - impenetrável ao ar - , permeia e preenche o universo.

### c) Quanto à forma como ele se comunica - propagação

#### *O éter e a velocidade finita da luz*

No que se refere à forma de propagação, o som em função de sua natureza pode ser comprimido com facilidade e, à medida que reduz seu volume apresenta uma tendência a expandir-se. Essa característica, articulada a penetrabilidade do ar parece confirmar que ele constitui-se de pequenos corpos que nadam no éter, matéria sutil e composta de partes ainda menores. Logo, a causa da propagação das ondas do som compreende o esforço de expansão desses pequenos corpos que se entrecrocaram, quando estão mais próximos nos círculos das ondas. Huygens tinha clareza, com base nos conhecimentos que dispunha na época, que no caso do som tem-se um efeito combinado de sucessivas compressões e rarefações responsáveis por transferir energia entre as moléculas do ar, produzindo ondas longitudinais, nas quais as moléculas do ar se movimentam para frente e para trás recebendo energia e quantidade de movimento das moléculas mais próximas da fonte e transmitindo-a para as moléculas mais afastadas dela.

Em contrapartida, a extrema velocidade da luz e outras propriedades que ela apresenta não admitem uma propagação similar à do som na interpretação de Huygens. Para analisar a propagação da luz Huygens discute uma analogia com a transmissão de movimento entre corpos sólidos (rígidos). Sugere que este comportamento pode contribuir para compreender como a luz, uma vibração mecânica, se transmite por forças de contato entre as partículas do éter. Assim, considera um grande número de esferas, constituídas de matéria dura e de igual

Ptolomeu (100-178 d.C.), é possível evidenciar também a busca por recuperar textos neoplatônicos, cabalísticos e alquímicos da antiguidade tardia (DEBUS, 1996, p. 22-44).

Como consequência dessa recorrência a textos antigos instaura-se o “debate entre antigos e modernos”. Os antigos buscam inspiração na cultura clássica enfatizando que estes conhecimentos retratam um terreno mais fértil capaz de fundamentá-los. Em contrapartida, os modernos tecem uma crítica ferrenha aos propósitos referidos indagando como estes textos contribuem para compreensão de fenômenos naturais desconhecidos à época dos antigos (FORATO, 2006a, p. 193). Apesar de traçar como objetivo o rompimento com os conhecimentos dos antigos, suas idéias estavam impregnadas de fortes traços pitagóricos, neoplatônicos, e de natureza mística e pressupunham desvelar os segredos da natureza com base nos textos bíblicos.

Embora a ciência moderna e, em particular a física, se caracterize por uma visão mecanicista<sup>21</sup> da natureza, tese consensual entre historiadores da ciência, não é possível concebê-la em um sentido estanque, simplificado. Em contrapartida, evidencia-se neste momento histórico duas imagens da natureza, em larga medida, contrastantes, o *mecanicismo* e o *dinamismo*. Newton, por exemplo, não pode ser considerado mecanicista no sentido estrito do termo, mas sim um expressivo personagem do dinamismo: [...] *o dinamismo é a visão de que todos os fenômenos da natureza, inclusive a matéria, são manifestações de forças* (CAPEK, 1967, p. 444 *apud* ABRANTES, 1998, p.73).

Uma crítica ferrenha desta corrente filosófica ao mecanicismo cartesiano, argumentada principalmente por Newton, refere-se ao núcleo duro do mecanicismo, a idéia de que a matéria é inerte, passiva em sua essência e, nesse sentido, apresenta fragilidade na busca de explicações [...] *para a variedade dos fenômenos materiais que constituem manifestações inequívocas de atividade da natureza* (ABRANTES, 1998, p.73).

A incursão de alguns elementos de natureza metafísica como a linguagem hermética, a crença em forças ocultas inerentes à matéria, ou a visão de um elemento sutil e secreto que anima a matéria bruta, presentes nos escritos de Newton, está em sintonia com interpretações da natureza defendidas por cientistas de tradição renascentista. A influência da filosofia natural estóica mesclada a idéias de origem

<sup>21</sup> Que em muitos aspectos se assemelha a visão atomista da antiguidade clássica.

neoplatônica no renascimento, conforme sugerem diversos historiadores, caracterizam os principais argumentos às críticas destinadas a Newton, fundamentalmente porque se opõem à visão rígida de matéria inerte, defendida pelo mecanicismo cartesiano:

“O neoplatonismo, que volta a ter um espetacular influxo no Renascimento, foi sem dúvida um dos principais responsáveis por essa imagem de natureza. Mas esse naturalismo animista, essa verdadeira “religião da natureza” que passa a ser cultivada, provavelmente deve mais ao pensamento estóico do que tem sido reconhecido (ABRANTES, 1998, p. 74).”

Os estudos alquímicos de Newton reforçam esses traços, considerados pela visão cartesiana *irracionais*, uma agressão aos princípios de racionalidade arduamente defendidos pela filosofia tradicional da ciência. A imagem ímpar de Paracelso (1493-1541) traduz a essência destes pensamentos, [...] *para quem as forças da natureza são espíritos – como as essências da alquimia, que podem ser extraídas dos objetos para fins medicinais [...]* (ABRANTES, 1998, p.75).

De acordo com a interpretação crítica da historiografia tradicional, a presença destes elementos nas explicações científicas em nada contribuiu para a física do século XVII, cujo mecanicismo radical estaria em ruptura com essas formas de pensamento. O ideal de uma racionalidade rígida que pressupõe o método dedutivo como único caminho à verdade científica, em sintonia com as ciências matemáticas, caracteriza a busca da visão cartesiana para as ciências físicas, nesse sentido: busca sintonia com os métodos das ciências matemáticas.

Em contrapartida, historiadores como WESTFALL (WESTFALL, 1971, p. 391 *apud* ABRANTES, 1998, p.77), com uma visão menos rígida, reconhecem contribuições do Renascimento à física do século XVII no seguinte sentido:

“[...] através do século XVII, modos mecanicistas de expressão mascaram a sobrevivência de modos animistas de pensamento presentes em filosofias da natureza anteriores. Isto foi especialmente verdadeiro com respeito àqueles fenômenos – sobretudo os fenômenos da vida – para os quais os mecanismos relativamente grosseiros do pensamento do século XVII eram particularmente inadequados. As filosofias animistas não tinham sido construções inteiramente arbitrarias; elas tinham expressado percepções comuns de fonte aparentes de atividade espontânea no mundo físico. Em sua maior parte, a filosofia mecânica do século XVII não tinha uma explicação

- a) a produção do movimento vibratório;
- b) a matéria em que o movimento se propaga e;
- c) a forma como ele se comunica.

Para uma apreciação crítica apresenta-se detalhadamente estas três características que definem a luz como a propagação de uma vibração que em sua essência, para Huygens, é distinta do som (HUYGENS, 1986, p.16-20):

#### **a) Quanto à produção do movimento vibratório**

No que se refere ao movimento, as ondas sonoras são produzidas pelo súbito abalo, violenta vibração, de um corpo inteiro, ou de uma parte considerável dele, que agita todo o ar contíguo. Em contrapartida, a luz deve nascer do movimento de cada ponto do objeto luminoso, para que seja possível perceber todas as partes desse objeto. A agitação das partículas que geram a luz transmite-se aos corpúsculos de éter [que envolve o objeto luminoso] e deve ser muito mais rápida e brusca do que a que causa o som, pois não é possível evidenciar que a vibração de um corpo sonoro produza luz, do mesmo modo que o movimento da mão no ar não é capaz de produzir som.

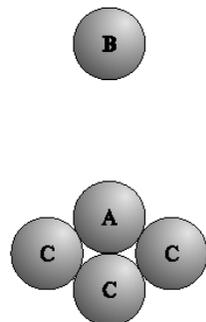
#### **b) Quanto à matéria em que o movimento se propaga**

*O éter e a constância da velocidade da luz*

A matéria etérea na qual se propaga o movimento que vem dos corpos luminosos distingue-se do ar, meio no qual o som se propaga. O éter caracteriza-se como uma matéria muito mais sutil que o ar para Huygens, com propriedades elásticas notáveis, que permitem a conservação da velocidade da luz a grandes distâncias. Uma vez que se o movimento se tornasse mais lento à medida que se distribísse entre a matéria (como ocorre com o som), afastando-se da fonte de luz, ele não poderia conservar essa grande velocidade. Recorrendo à linguagem atual, sua energia se dissiparia.

Uma outra particularidade do éter refere-se à sua penetrabilidade. Huygens enfatiza também que mesmo se as partículas do éter forem supostas em um movimento contínuo a propagação sucessiva das ondas não será impedida pois “não consiste no transporte dessas partes, mas apenas em um pequeno deslocamento, que elas não

No entanto, esta distribuição em nada impede que o movimento se transmita e se propague sempre para a frente. Para detalhar a análise, Huygens recorre à analogia com o movimento de esferas (bolas de bilhar). Supõe uma esfera A em contato com três outras esferas idênticas CCC dispostas de modo não linear, conforme apresenta a figura 1.



Tratado da Luz (HUYGENS, 1986, p.19)

Se A for atingida por uma esfera B, ela transmite o movimento a CCC, permanecendo, em seguida, imóvel do mesmo modo que B. Para observar isso, não é condição necessária que as partículas sejam esféricas, embora contribua para a propagação do movimento. Por outro lado, parece imprescindível que apresentem mesmo diâmetro, caso contrário, poderia haver reflexão do movimento caso uma partícula menor colidisse com uma maior.

Em síntese, a causa primeira de qualquer fenômeno na natureza, para Huygens, deve ser explicada por meio de modelos mecânicos caracterizados, essencialmente, por movimentos e arranjos de partículas materiais, conforme a visão cartesiana.

## 6.4 - Analogia com o Som

Torna-se pertinente destacar que quando Huygens estabelece a analogia com o som, pressupondo a luz uma onda mecânica, ele deixa claro que as ondas mecânicas de luz diferem significativamente das ondas mecânicas sonoras.

Nestes termos, se por um lado, a luz consiste em um movimento sucessivo que se propaga por ondas esféricas de forma semelhante ao movimento do som, Huygens distingue o som da luz quanto:

adequada dessas fontes aparentes de atividade, e ela introduziu disfarçadamente seus próprios princípios ativos na forma de partículas especiais ou fluidos.”

Nesta perspectiva, este historiador defende que a visão de força em Newton configura-se uma recorrência às “qualidades ocultas” e “princípios ativos” da visão neoplatônica renascentista, com clara inspiração estoica, razão que sustenta a argüição crítica de seus opositores. Reforçando esta idéia menciona fragmentos de textos alquímicos, escritos por Newton, que evidenciam esta semelhança:

“Há, portanto, além das mudanças sensíveis imprimidas às texturas da matéria mais grosseira, um modo mais sutil, secreto e nobre de trabalhar em todos os vegetais, que torna seus produtos distintos de todos os demais; e a sede imediata de todas essas operações não é toda a massa de matéria, mas uma parcela extremamente sutil e inimaginavelmente pequena de matéria, difundida pela massa, a qual, se fosse separada, deixaria apenas uma terra morta e inativa”.

Segundo COHEN & WESTFALL (2002, p. 389-390) estes trechos caracterizam marcas de semelhanças com o pneuma dos estoicos. A idéia de um “sopro etéreo”, “espírito sutil e oculto”, ao qual atribui o desígnio de veículo vital da matéria reforça essa síntese:

“Composto de ar e de um fogo criativo, o pneuma dos estoicos estava relacionado com o conceito de “sopro da vida” que escapa do corpo vivo na hora da morte e permite que o corpo em que havia residido, antes coeso, desintegre-se em partes díspares [...] A semelhança entre esse éter particular newtoniano e o pneuma dos estoicos é inconfundível: ambos são materiais e ambos, de algum modo, inspiram as formas dos corpos, e dão aos corpos a continuidade e a coerência de forma que está associado à vida (COHEN; WESTFALL, 2002, p.388-390)”.

Para uma discussão mais clara do contexto controverso entre mecanicistas e dinamistas apresenta-se uma síntese da *imagem cartesiana da natureza*<sup>22</sup> que (ABRANTES, 1998, p.82):

- Busca reduzir a física à geometria, tirando da matéria todas as qualidades sensíveis, exceto a extensão. O

<sup>22</sup> Descartes foi o mais expressivo defensor do mecanicismo radical.

mundo cartesiano é completamente preenchido, daí a expressão *plenum* cartesiano. Nega, nesse sentido o vazio: onde há extensão, há substância. Como consequência da articulação matéria e extensão apresenta-se a relatividade dos movimentos: mover-se é deslocar-se da vizinhança de determinados corpos para a vizinhança de outros corpos, assim, não faz sentido falar em espaço absoluto, Descartes não distingue espaço de matéria;

- Rejeita causas finais aristotélicas, só admitindo causas eficientes do tipo mecânico, logo, a pertinência da lei do choque em seu sistema: toda ação só pode ser uma ação contígua, um impulso, uma pressão, resultado, enfim, do contato físico entre corpos materiais. Todo animismo foi banido na esfera da física, com o propósito de apagar qualquer intuição metafísica, substituindo a metáfora do organismo pela imagem da natureza como uma máquina;
- Formula o princípio da inércia. Contudo, no mundo cartesiano, um corpo não pode se mover em movimento retilíneo uniforme, em virtude da matéria dos vórtices, a que sempre está submetido. O movimento natural no cosmo cartesiano é o de rotação. O movimento retilíneo e uniforme – e, portanto, o princípio e inércia – é uma idealização;
- Propôs que a quantidade de movimento total do mundo se conserva por um viés metafísico: Deus mantém constante a quantidade de movimento total como consequência de Sua imutabilidade e simplicidade.

Em seguida, para um confronto com a filosofia cartesiana, apresenta-se críticas de Newton a esta perspectiva teórica (ABRANTES, 1998, p. 83-84):

- Contesta a tese de relatividade do movimento, enfatizando que a idéia de espaço (referencial) absoluto

regular, também não se deve imaginar que as ondas sigam umas às outras por distâncias iguais”. Logo, torna-se pertinente observar que o modelo proposto por Huygens não pressupõe ondas periódicas, a imagem formada se assemelha a pulsos independentes (HUYGENS, 1986, p. 20-21).



Tratado da Luz (HUYGENS, 1986, p.20-21)

O princípio das frentes de onda é a base do modelo de Huygens para a luz, essencialmente porque explica várias propriedades da luz, como a reflexão e a refração e, nesse sentido, a maior velocidade da luz em meios mais densos, conforme será discutido mais adiante.

A síntese de SILVA (2007, p.154), exprime com clareza o modelo de frentes de onda proposto por Huygens em seu Tratado sobre a Luz:

“Seja A um ponto luminoso. Cada corpúsculo atingido pela perturbação terá sua onda particular, da qual ele é o centro. Assim, a frente de onda, no ponto mais distante de A, é resultante da contribuição de cada uma dessas ondas e da onda principal proveniente do centro luminoso.”

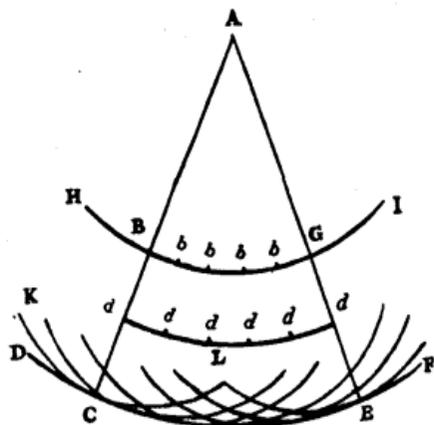
MARTINS (HUYGENS, 1986, p.22) alerta para o fato de que Huygens acredita que “parte das ondas emitidas por cada ponto é ‘perdida’, não contribuindo para a formação da onda principal, que não transporta portanto todo o movimento primeiramente existente na onda principal, que não transporta portanto todo movimento primeiramente existente na onda”.

A luz se propaga por ondas esféricas, para Huygens, porque os corpúsculos de éter não se apresentam alinhados, mas dispostos de maneira confusa, de modo que cada um toque diversos corpos etéreos.

eletromagnéticas, baseado no princípio de interferência construtiva e destrutiva.

Com base no Tratado da Luz de Huygens pode-se perceber que cada ponto localizado na frente de onda se comporta como uma fonte pontual de emissão de novas ondas esféricas, que ao se somarem formarão uma nova frente de onda e assim consecutivamente. Conforme apresenta HUYGENS (1986, p.22):

“Se DCF é uma onda emanada do ponto luminoso A, que é o seu centro; a partícula B, uma das que estão compreendidas na esfera DCF, produzirá sua onda particular KCL, que tocará a onda DCF em C, no mesmo momento que a onda principal, emanada do ponto A, tenha chegado a DCF. É claro que a onda KCL tocará a onda DCF apenas no lugar C, que está na reta traçada por A e B. Da mesma forma as outras partículas compreendidas na esfera DCF, como bb, dd, etc. terão cada uma produzido sua onda. Mas cada uma dessas ondas não pode ser senão infinitamente fraca comparada à onda DCF, para cuja composição todas as outras partes contribuem pelas partes de suas superfícies que estão mais afastadas do centro A.”



Tratado da Luz (HUYGENS, 1986, p.22)

Quando Huygens analisa a origem das ondas e propõe que cada ponto luminoso gera ondas das quais esse ponto caracteriza-se como um centro de emissão, a imagem esboçada por Huygens (figura seguinte) de círculos concêntricos descritos em torno de cada um desses pontos representa as ondas que deles provêm. Contudo, destaca que “[...] as percussões nos centros dessas ondas não possuem uma seqüência

caracteriza-se condição necessária para assegurar a presença de Deus que, pelo espaço manifesta toda a atividade da natureza;

- Defende a concepção de uma matéria passiva, portanto, incapaz por si só incapaz de responder pela ordem e pela atividade da natureza. Assim, Deus intervém constantemente na natureza. Para Newton a ordem do mundo não poderia ser resultado nem ter se preservado com base em processos puramente mecânicos.

Com base nesta última consideração, em particular, os críticos de Newton tecem suas oposições. Para Newton, as causas da gravidade e de outros fenômenos não são mecânicas, nesse sentido, enfatiza que a matéria, cuja característica essencial é a inércia, de forma isolada não pode ser considerada gênese de toda esta atividade, como a gravidade, por exemplo. Atribui, assim, aos “princípios ativos” as causas destes fenômenos, inclusive a causa da gravidade, que não tem o propósito de conhecer. Fato que se constitui um desvio para a irracionalidade, segundo os preceitos de racionalidade que se dissemina neste contexto e que é defendido vigorosamente pelos cartesianos, principalmente em virtude de seu intenso trabalho de Alquimia. Contudo, Newton é incisivo quanto às críticas:

[...] tais “princípios ativos” não constituem “qualidades ocultas”, pois eles são manifestos, “somente suas causas são ocultas” (NEWTON, 1987a, p. 203 apud ABRANTES, 1998, p. 90).

Segundo Abrantes (1998, p.90):

“Newton havia descartado que tais causas pudessem ser mecânicas. Ele deixa claro, logo em seguida, que a ordem da natureza não pode ter sido produzida pela “necessidade cega”, a partir de um caos primitivo. Tal ordem aponta para causas finais, para o plano do Criador. Mas o Deus de Newton, não se limitou a criar o mundo, como o de Descartes; Ele exerce seu domínio constantemente, pela sua onipresença, e pelo exercício do seu poder. Todos os corpos são movidos por Ele em seu “*sensorium* uniforme e ilimitado”. Supreendentemente, Newton admite até a possibilidade de esse ser todo-poderoso variar as “leis da Natureza e fazer mundos de vários

tipos em várias partes do Universo”, o que, em última instância, retira qualquer fundamento para um princípio de uniformidade da natureza!”

As especulações de Newton sobre o éter contribuem para discutir os contrastes da tese cartesiana e da dinamista. Contudo, abordar este tema constitui-se um terreno árido em virtude das reservas de Newton em publicar seus escritos sobre o éter e, fundamentalmente, em função dos significados distintos atribuídos ao éter, em termos de características e funções ao longo do tempo, evidenciando a própria falta de clareza de Newton quanto à existência e papel do éter (ABRANTES, 1998, p 85).

Na 1ª edição da *Óptica*, inglesa e datada de 1704, Newton não faz nenhuma referência à idéia do éter. Na edição em latim, datada de 1706, rejeita explicitamente a idéia de éter, como o defendido por Descartes sem, contudo, tecer qualquer especulação sobre uma possível hipótese do tema. Em contrapartida, na 2ª edição inglesa da *Óptica* de 1717 Newton sugere que “vibrações de um meio muito mais sutil que o ar” poderiam explicar uma série de fenômenos (NEWTON, 1987, p. 178). Os seguidores de Newton recebem com certo embaraço e surpresa a possível presença do éter no modelo de Newton sobre a luz e sobre a gravidade, em virtude essencialmente das conjecturas delineadas repercutirem, em última análise, em uma explicação mecânica para a gravidade e para os fenômenos luminosos, favorecendo inclusive os adversários. Fato que se contrapõem às fortes objeções de Newton ao *plenum* - éter - cartesiano. No entanto, embora exista essa interpretação, Abrantes (1998 p.93-94) discorda, enfatizando que Newton realmente supõe:

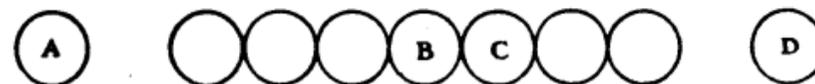
“[...] que os raios de luz podem excitar vibrações nesse meio e explicar fenômenos como a difração e a interferência. Sem abandonar a hipótese corpuscular da luz, Newton foi forçado a admitir que efeitos ondulatórios acompanham, em certas ocasiões, os raios de luz. Esse meio também seria o responsável pela propagação do calor no vácuo e o aquecimento dos corpos sobre os quais a luz incide. Tal meio sutil poderia também ser o responsável pela transmissão das sensações visuais do olho até o “sensório”, pelos nervos. E transmitiria os atos de vontade do cérebro do cérebro para os músculos, através dos nervos.[...]” (ABRANTES, 1998, p.93-94).

Contudo, seu posicionamento é bastante categórico, defendendo que “[...] esse éter não representa uma ruptura em relação às posições

ondulatório atual, como o modelo de superposição de Young, ou descrever “a propagação das interações mecânicas de Huygens com o formalismo de Maxwell”, do mesmo modo que, inversamente, “traduzir a idéia de onda eletromagnética nos termos do Princípio de Huygens [descrita no Tratado]” (SILVA, 2007, p.157).

Huygens enfatiza a inexistência de interferência de ondas, de acordo com o sentido atual da superposição de ondas, em seu modelo da natureza da luz. Supõe que uma partícula de matéria pode receber diversas ondas, sucessivas ou simultâneas, provenientes de diferentes direções e inclusive sentidos contrários sem que se aniquilem. Este fato é explicado recorrendo novamente à analogia com choques mecânicos, analogia com o hoje conhecido ‘berço de Newton’.

Supõe então uma fileira de esferas duras e idênticas. Ao lançar com mesma velocidade contra a fileira, em sentidos opostos e ao mesmo tempo, duas esferas A e B com características análogas às que se dispõem linearmente, evidencia-se que cada uma colide e retorna com mesma velocidade, enquanto as esferas da fila permanecem estáticas, apesar de que os movimentos de A e B de fato terem sido transmitidos ao longo delas:



Em contrapartida, afirma que uma infinidade de ondas, embora provenientes de diferentes pontos do corpo, unem-se de modo a comportar-se como uma única onda. De fato há um reforço da perturbação ao se propagar no éter, contudo, porque cada corpúsculo de matéria atingido por uma onda não comunica seu movimento apenas para a partícula seguinte, na linha reta traçada do ponto luminoso, mas para todas à sua volta. Logo, cada ponto de uma frente de ondas é uma fonte de ondas secundárias, esféricas, que podem ser chamadas de ondícula secundária ou ondícula de Huygens, cujo envoltório destas ondículas é considerado uma nova frente de ondas, conforme abordado no ensino. No entanto, a abordagem didática priorizada no ensino de física ressignifica a interpretação mecânica de Huygens para a luz, uma perturbação que se propaga no éter, um meio material, traduzindo as frentes de onda de Huygens como resultado da superposição de ondas

trabalho e, assim, sua ‘imagem da natureza’. Em contrapartida, Newton explicita de forma transparente suas objeções à tradição cartesiana, o que nesse sentido, parece justificar a ênfase a discussões sobre sua ‘imagem da natureza’ em estudos de natureza histórica.

A presença da história da ciência no ensino de física, possibilita ao estudante evidenciar que a idéia de éter, por exemplo, ao contrário de um equívoco “ingênuo” traduzido por uma apreciação imediata, demarca uma imagem de natureza que nasce como um nítido confronto à visão renascentista ‘mística’. Caracterizou-se tão forte a oposição à ação à distância e, por conseguinte, o fortalecimento da crença no éter, que nos próprios trabalhos de Faraday (1820), herdeiro dessa tradição materialista, contudo moldada com uma roupagem resignificada no século XVIII, delineada à luz da física dos fluidos, atribuía às linhas realidade física, imaginando a idéia de fluxo não simplesmente como uma representação.

### **6.3 - Ausência da idéia de interferência de ondas: natureza do modelo mecânico da luz**

Uma característica crucial para delinear o real modelo proposto por Huygens refere-se à ausência da idéia de interferência de ondas. Conforme Huygens, é natural pensar que as ondas se cruzam sem confusão, sem destruir umas às outras. Um exemplo simples, relativamente comum, que corrobora a idéia de Huygens, refere-se a dois feixes luminosos emitidos por duas lâmpadas, sobrepondo-se um ao outro em um anteparo. De fato, não é possível evidenciar regiões claras e escuras, fruto da superposição das ondas, não há interferência. Contudo, a história da natureza da luz, ilustra mais um exemplo símbolo das sutilezas presentes na natureza e ensina a desconfiar do real sensível, abstrair para mergulhar na essência do fenômeno estudado. A ausência da visão de periodicidade das ondas configura-se um obstáculo para a idéia de interferência, imprescindível para uma compreensão da natureza da luz. No exemplo explorado a luz não sofre interferência pois as fontes não apresentam mesma fase ou uma diferença de fase constante, as ondas luminosas (não periódicas) emitidas estão vibrando fora de fase. Young que no século XIX realiza o experimento da dupla fenda e a partir da dispersão de luz monocromática obtém interferência com a luz.

Com essa discussão é possível evidenciar o insucesso presente em tentativas de traduzir a visão de Huygens em termos de um modelo

anteriores de Newton, mas, de certa forma, uma solução de compromisso entre vários tipos de exigências em seus pensamentos”, nesse sentido continua sua apreciação crítica afirmando que o éter de Newton não se assemelha ao éter cartesiano, à idéia de *plenum* cartesiano que preenche todo o espaço. Em contrapartida, o éter newtoniano de 1717:

[...] é composto por partículas que se repelem, e portanto não preenche todo o espaço, que é, em grande parte vazio. O éter é extremamente rarefeito dada a sua grande elasticidade, o que evitaria, em grande medida a objeção que ele próprio fizera ao *plenum* de Descartes, de que ofereceria resistência ao movimento dos planetas. Trata-se de um éter elástico que não constitui, portanto, uma solução para o problema de ação à distância, ou seja, para o problema de que ‘a matéria não pode agir onde não esteja’. Como explicar a origem das forças elásticas e repulsivas entre as partículas etéreas? O problema da ação à distância, no nível macroscópico, transfere-se ara o nível microscópico se insistirmos em interpretar o éter de 1717 como um meio mecânico (ABRANTES, 1998, p. 94).

A tese de que a gravidade se caracteriza uma propriedade da matéria é incisivamente rejeitada por Newton, independente de suas conjecturas sobre as possíveis causas da gravidade e, do mesmo modo, suas especulações sobre o éter. Caso contrário, Newton estaria vulgarizando a noção de ação à distância (ABRANTES, 1998, p.99).

### **5.3 - Newton e a natureza corpuscular da luz**

A inexpressiva ênfase conferida às discussões sobre a concepção teórica newtoniana, no que diz respeito à natureza da luz, por livros didáticos, afasta-se do real debate entre filósofos, e também entre historiadores da ciência, mascarando as distintas posturas desses autores concernente à compreensão de Newton sobre as propriedades da luz (SCHENBERG, 1985; ROCHA et al., 2002).

O fenômeno de difração descoberto por Grimaldi, a partir das observações da passagem de luz por um orifício, suscitou o interesse de Newton, que realizou essa experiência detalhadamente, relatando os resultados na sua obra ‘*Óptica*’ (NEWTON, 2002). Contudo, a teoria corpuscular era insuficiente para expressar este novo comportamento da luz, demandando maiores estudos. Alerta para este fato, Newton depara-se então, com os seguintes questionamentos:

Como é possível, no exemplo da difração, um feixe de partículas, ao incidir sobre uma barreira com uma fenda estreita, deixar passar apenas uma parte do feixe e a outra não? O que determina esse comportamento? Por outro lado, o que faz a luz, formada por partículas infinitamente pequenas e de mesma natureza, de acordo com a teoria corpuscular, ora se refletir, ora se refratar quando incide sobre uma superfície de separação entre dois meios? E nesta mesma ocasião, o que faz a luz refratada refletir-se e transmitir-se novamente quando em contato com outro meio?

Tendo em vista a insuficiência do modelo corpuscular da luz para explicar fenômenos como a difração, a interferência e a polarização, que aspecto então, com base nos pressupostos newtonianos, poderia veicular-se à luz para explicar estas observações?

Newton incorpora a teoria dos acessos à sua concepção da natureza da luz, afirmando a existência de uma onda associada às partículas luminosas (essa idéia ficará mais clara no Capítulo 7), determinando assim os comportamentos de fácil reflexão e fácil refração da luz. As partículas que formam a luz seriam regulados por uma onda que se propaga juntamente ao feixe luminoso, responsável pelos acessos (*fits*) da luz de fácil reflexão, quando se reflete; e de fácil transmissão quando se refrata. Newton percebia as dificuldades em lidar com estes fenômenos tendo em vista apenas a teoria corpuscular (MOURA, SILVA, 2005; 2008a).

Para o físico brasileiro Mário Schenberg (1985), mencionado por ROCHA et al. (2002, p.227), a teoria dos acessos newtoniana evidencia que Newton não rejeitava por completo o aspecto ondulatório. Em virtude das evidências empíricas acima mencionadas, acreditava na sua existência, no entanto, a prevalência do aspecto corpuscular, era, para ele, incontestável:

“O homem era terrível, porque achava que de alguma maneira o aspecto corpuscular deveria ser o mais importante. Dizia que havia o aspecto ondulatório, sem dúvida, mas, de certo modo, a luz deveria ser composta de partículas. Isto é o que nós pensamos hoje em dia, que a luz é composta de fótons, o que não quer dizer que eles não tenham propriedades ondulatórias. Newton teve ainda a intuição de que a existência de fenômenos de difração por uma fenda estaria ligada a um “acesso” do corpúsculo de entrar ou não pela fenda. Não sei se já existia a palavra probabilidade, mas ele usou a palavra inglesa *fits*. A partícula tinha *fits* e podia ir para um lado ou para outro. Ele achava que havia ainda outros aspectos não bastante

lugares se cruzam sem, em nada, atrapalharem-se uns aos outros? (HUYGENS, 1986, p.11)

A segunda questão, especialmente, caracteriza-se, para Huygens, uma evidência da natureza ondulatória da luz contribuindo para expor e justificar seu modelo. Sugere, nesta perspectiva, que o fato de os raios de luz se cruzarem sem se espalhar ou se “atrapalhar” não pode resultar do “transporte de uma matéria que venha do objeto até nós, como uma flecha ou bala [que] atravessa o ar [...]. Ela se espalha portanto de outra maneira e o que nos pode conduzir a compreendê-la é nosso conhecimento de propagação do som”. Logo, neste contexto empírico, a luz não pode constituir-se de corpúsculos materiais, um modelo inconsistente para explicar o fato exposto. Referindo-se a propagação da luz, em particular, afirma que (HUYGENS, 1986, p.12):

“Ora, não há dúvida de que a luz também [assim como o som] venha do corpo luminoso até nós por algum movimento impresso à matéria que está entre os dois – pois já vimos que isso não pode ocorrer pelo transporte de um corpo que passe de um até outro. Se a luz gasta tempo para essa passagem [...] seguir-se-á que esse movimento impresso à matéria é sucessivo e que, conseqüentemente, ele se espalha, assim como o som, por superfícies e por ondas esféricas. Eu as chamo de ‘ondas’ por semelhança àquelas que vemos formarem-se na água quando aí se joga uma pedra e que representam uma propagação sucessiva circular – embora proveniente de uma outra causa e somente em uma superfície plana. (HUYGENS, 1986, p.12)”.

Os conhecimentos relativos à propagação do som contribuíram significativamente para Huygens apresentar suas idéias sobre a luz. Em contrapartida, alguns estudos históricos (ROCHA et. al., 2002, p.230; PIETROCOLA, 1993, p.167) propõe que a analogia com o som caracterizou-se danosa em certo sentido, em virtude essencialmente, de considerar a luz como uma vibração mecânica, semelhante ao som.

Contudo, será que a influência mecanicista, imbuída da forte crença no *plenum*, em última análise “horror ao vácuo”, não repercutiu mais fortemente na constituição (construção) da pedra angular de Huygens sobre a luz, a saber, a necessidade de um meio material etéreo para propagar a luz? Em contraste, a visão de propagação longitudinal da luz parece vincular-se mais estritamente às analogias com o som.

A inexpressiva apreciação da incursão de elementos do mecanicismo cartesiano na linguagem/discurso de Huygens em seu Tratado da luz parece deixar sutil ou mesmo mascarar esta face de seu

gravitação causas puramente mecânicas como se desejava à época, acusado de sustentar o ocultismo, profecias 'hereges'. A possível intervenção divina na natureza, extrapolando o ato da criação, expôs ainda mais as idéias newtonianas ao ataque (ABRANTES, 1998). No contexto dessa controvérsia científica desenvolve-se a interpretação ondulatória da luz proposta por Huygens, um modelo que os livros didáticos ressignificam no ensino de física, afinal, as ondas de Huygens são indissociáveis do éter.

Para Huygens, a luz consiste no movimento de certa matéria que se espalha, como o som, por superfícies e ondas esféricas. A origem da luz nas chamas e no fogo, expressões de movimento na natureza - a articulação entre calor e movimento era, em larga medida, consensual entre os filósofos naturais -, juntamente com as evidências empíricas dos efeitos da luz como a virtude de queimar, ao concentrar os raios de luz em espelhos côncavos, por exemplo, constituem-se, para Huygens, uma evidencia clara da gênese (causa) mecânica dos fenômenos na natureza. Nesse sentido, torna-se possível observar um traço forte em seu Tratado sobre a luz, a defesa explícita do reducionismo cartesiano (HUYGENS, 1986):

“Isso certamente é um sinal de movimento, pelo menos na verdadeira filosofia, na qual se concebe a causa de todos os efeitos naturais por razões da Mecânica – e isso deve ser feito, a menos que se renuncie a toda esperança de jamais compreender coisa alguma na Física, em minha opinião (HUYGENS, 1986)”.

No Prefácio de seu Tratado sobre a Luz Huygens já apresenta um discurso marcado por sua convicção mecanicista, quando se refere às causas dos fenômenos naturais: “[...] desejo portanto acreditar que aqueles que gostam de conhecer as causas e que sabem admirar a maravilha da luz encontrarão alguma satisfação nessas diversas especulações que se referem a ela [...]”.

A ciência óptica, para Huygens, exibia problemas que pareciam insolúveis, para os quais modelo teórico algum, até aquele momento histórico, apresentava explicações científicas satisfatórias. O desafio que inspirou Huygens a traçar um modelo ondulatório para a luz, expresso detalhadamente em seu Tratado, configurou-se, em particular, com base em duas questões fundamentais: Por que a luz se propaga seguindo linhas retas? Por que os raios de luz provindos de uma infinidade de

esclarecidos, que deviam estar ligados a alguma coisa, um certo meio, que seria o éter. (Rocha et al. , 2002, p.227)”

A citação de Schenberg, pode, em princípio, induzir uma imagem continuísta da ciência. Uma vez que sugere a idéia de que se deve a Newton o nascimento da concepção de dualidade onda-partícula da luz. A sentença acima mencionada é clara: “(...) Isto é o que nós pensamos hoje em dia, que a luz é composta de fótons, o que não quer dizer que eles não tenham propriedades ondulatórias...” .

Conceber Newton como precursor da interpretação dual da luz implica assumir uma visão cumulativa da evolução histórica do conhecimento, que pressupõe imaginar que as teorias somam-se umas às outras sem respeitar os distintos contextos (históricos e conceituais) em que têm origem. A noção de partícula, no domínio quântico, não se aproxima da concepção newtoniana de partícula. Correspondem a estruturas conceituais formuladas com objetivos diferentes e em culturas que não se confundem, historicamente situadas.

Para Newton, a luz dotava características bastante claras, suas convicções teóricas acerca da natureza e propagação da luz respeitavam estes pressupostos. Contudo, o que deve ficar claro é que ao se deparar com fenômenos que transcendiam a interpretação corpuscular, Newton desenvolve a teoria dos acessos, que nem a ele se configura muito clara. E, apesar de *ad hoc*, supre em parte uma lacuna de sua hipótese teórica.

Ao analisar aspectos da evolução da óptica em seu livro “*A Atividade Racionalista na Física Contemporânea*”, BACHELARD (1975, p.48) ressalta que “é sobretudo a teoria das ‘sucessões’ produzidas pelos acessos alternativos de fácil reflexão e de fácil transmissão o que marca a óptica newtoniana com um valor transacional entre as teorias corpusculares e as teorias ondulatórias”. Observa-se com surpresa que, para Bachelard, as idéias (de fácil reflexão e fácil refração da luz e os “acessos de entrar ou não pela fenda”) assumidas por Newton, apontam indícios de uma sensibilidade à característica dual da luz. Conforme denota BACHELARD (1975, p.49), Newton acentua o caráter corpuscular da luz, mas, as intuições ondulatórias não lhe são alheias: “*a óptica de Newton é corpuscular em sua imagem mais simples e pré-ondulatória em sua teoria mais sábia*”, está entre o modelo corpuscular e o modelo ondulatório da luz.

A análise de BACHELARD (1975) concernente à teoria dos acessos de Newton assemelha-se bastante ao exame delineado por SCHENBERG (1985), ilustrando que o modelo teórico newtoniano

perpassa a natureza dual e ondulatória da luz. Com efeito, supor traços da concepção dual da luz em Newton contradiz os pressupostos teóricos centrais da epistemologia histórica de Bachelard, tendo em vista que implica a defesa de continuidade no avanço da ciência e do conhecimento de maneira geral, em detrimento da interpretação descontinuista.

Dois exemplos bastante ilustrativos dados por LOPES (1996, p. 255), relativos à história da química e do atomismo, podem propiciar uma compreensão mais clara do porquê não se pode considerar que Newton conjecturou antecipadamente o embrião teórico do modelo atual da luz:

“A interpretação continuísta da História da Química tende a considerar a Alquimia como uma espécie de infância da Química. Ao contrário, concebemos a Alquimia com características de arte sagrada. O alquimista não investiga as propriedades das substâncias e suas transformações, com o intuito de conhecer melhor a Natureza e construir teorias sobre a matéria. O alquimista tem por objetivo alcançar a revelação de segredos divinos, a busca do Bem, o auto-conhecimento, a transformação de sua alma. Daí o animismo estreitamente associado a sua interpretação da natureza. Nesse sentido, a racionalidade da Química rompe decisivamente com a Alquimia (...)”

Mais adiante segue explorando o exemplo do atomismo:

“As proposições de Demócrito, bom como as de Leucipo e Epicuro, não compõem uma teoria atômica, nem tampouco visam explicações para as transformações químicas. Suas concepções de mundo são bem diversas das concepções dos físicos modernos. Seus pensamentos constituem uma filosofia que procura explicar a natureza, a partir da inserção do homem nessa natureza: seus propósitos e seus valores. Nesse sentido, as teorias de Dalton não são conseqüência das teorias de Demócrito. Diferentemente, Dalton tinha por objetivo construir um modelo de átomo capaz de explicar as relações de massa nas transformações químicas (...)”

O presente texto não tem por objetivo explorar detalhadamente esta aparente incoerência evidenciada no livro *‘A atividade racionalista da física contemporânea’* (BACHELARD, 1975), conforme o exame de Bachelard, contudo o alerta para esta incompatibilidade configura-se necessário. No Capítulo 7 discutiremos as contribuições científicas de

## 6.2 - O Modelo de Huygens para a natureza da luz e a imagem cartesiana da natureza: o éter e a negação a idéia de ação à distância

A ciência não tem sua gênese no vazio, em contrapartida, emerge em um contexto histórico-cultural que se traduz por visões de mundo e de natureza. Neste caso histórico, o contexto no qual emerge o modelo ondulatório de Huygens proposto para a natureza da luz apresenta uma imagem de natureza caracterizada pelo mecanicismo cartesiano e esses traços podem ser evidenciados de forma significativa na obra deste cientista que, recorre constantemente a análogos mecânicos para delinear seu modelo de luz.

Na imagem cartesiana da natureza não há forças atuando a distância, Descartes acredita em um modelo onde a matéria só pode interagir mediante colisões. Nega a existência do vazio, enfatizando a crença em um mundo completamente preenchido por partículas materiais sutis de diferentes tamanhos, a quintessência, o éter. Imbuído desta idéia/doutrina mecânica da natureza, o modelo ondulatório de Huygens para a natureza da luz é intrinsecamente definido por colisões mecânicas, nesse sentido, Huygens acredita, em sintonia com Descartes, que as “forças”<sup>25</sup> deveriam ser transmitidas por algo material, como o éter, por exemplo.

As críticas dedicadas a Newton quando publica/divulga suas idéias sobre a gravitação, delineadas inclusive por Huygens, discordam, em síntese, porque sugerem a possibilidade de um corpo agir sobre outro sem contato direto e sem a intervenção de um meio para mediar a interação (MARTINS, 1998c; 1989). O sentimento de objeção às forças de atração agindo à distância surge como uma aversão à retomada das ‘qualidades ocultas’, uma concepção mágica da natureza. Newton incorre em equívocos, segundo os cartesianos, por não atribuir à

---

<sup>25</sup> Neste contexto histórico não há um significado físico consensual para a idéia de força e energia que, com freqüência, são tratadas como sinônimos pelos cientistas da época. Na física cartesiana tem-se maior clareza sobre a quantidade de movimento, inclusive em termos quantitativos. Embora seja uma grandeza escalar, define-se como o produto da massa (noção distinta de Newton) pela velocidade. Contudo, como no senso comum evidencia-se que as forças são gênese do movimento, imagina-se, muitas vezes, a quantidade de movimento como a quantidade de força e, até energia, que o corpo possui. É possível evidenciar o uso indiscriminado de força, energia e quantidade de movimento no texto de Descartes (1644) e na obra de Huygens (1986), um traço que carregamos em nosso texto. Portanto em alguns momentos estes termos apresentarão uma conotação mais ampla.

unicamente. Esta leitura histórica apresenta distorções e equívocos que podem repercutir em simplificações danosas à história da física por depreciar a construção coletiva, a natureza social do trabalho científico, atribuindo ao ombro de dois gigantes, Newton<sup>24</sup> e Huygens, a busca de uma maior clareza sobre a natureza da luz.

Qualquer tentativa de sugerir uma intuição em Huygens ou Newton da concepção atual da luz, por mais sutil que se apresente, incorre em equívocos de natureza histórica e conceitual inegáveis, conforme explorado no capítulo que apresenta o modelo de Newton para a luz e nas discussões detalhadas a seguir, que buscam expor o modelo de Huygens.

Huygens apresenta seu Tratado sobre a Luz em 1678 à Academia Real de Ciências da França e em 1690 publica-o. O Tratado é dividido em duas partes: a primeira expõe as causas da reflexão, refração e, particularmente a estranha refração do cristal da Islândia; a segunda, explora a causa do peso. Esse tema, aparentemente desarticulado, justifica-se quando se observa a linha mestra que conduz os estudos sobre a luz, a busca de modelos mecânicos para explicar as causas dos fenômenos naturais. Para os objetivos da presente pesquisa restringimos a análise à primeira parte do Tratado que aborda a natureza ondulatória da luz com base em um modelo mecânico, excetuando-se a dupla refração.

Explora-se na seqüência aspectos fundamentais do Tratado sobre a Luz de Huygens, destacando-se características essenciais para compreensão do modelo ondulatório da luz sugerido por esse personagem histórico, como por exemplo: a imagem mecanicista da natureza; a ausência da idéia e interferência de ondas; a interpretação conferida a opacidade e transparência dos corpos; analogia com o som e, neste contexto, a constância e a velocidade finita da luz, frentes de onda, propagação a grandes distâncias; ondas esféricas de luz e; por fim a velocidade da luz na matéria que exprime brevemente a controvérsia científica da natureza da luz.

Young que, certamente, demarcarão com mais clareza o modelo de Newton de uma possível interpretação ondulatória ou dual da luz. No Capítulo seguinte explora-se o Tratado da Luz de Huygens.

---

<sup>24</sup> Newton porque com relativa frequência a controvérsia da natureza da luz se restringir ao confronto Huygens *versus* Newton no contexto educativo (SILVA, 2007; PAGLIARINI, 2007).

# Capítulo 6

## Contexto Histórico da Natureza da Luz

### 6.1 - O modelo ondulatório de Huygens e distorções no ensino

Um fato pertinente e que deve ser considerado na contextualização histórica da natureza da luz refere-se à interpretação conferida ao modelo da luz proposto por Huygens na física escolar. Em geral, a abordagem priorizada em livros didáticos, tanto os dedicados ao ensino médio quanto universitário, resignifica (reconstrói) as idéias de Huygens sobre a natureza da luz agregando contribuições que não se devem unicamente a esse personagem histórico (SILVA, 2007).

A visão ondulatória da luz veiculada no ensino de física se assemelha, em larga medida, ao modelo de Young em virtude da ênfase dada aos elementos de periodicidade e por pressupor interferência das ondas, conforme o sentido moderno, em oposição à perspectiva de Huygens que retrata ondas não periódicas e que não apresentam interferência construtiva ou destrutiva, fato evidenciado com base em um exame detalhado de seu Tratado sobre a Luz (HUYGENS, 1986).

Huygens explica a luz como uma vibração mecânica que se transmite por forças de contato entre as partículas de éter. Nesse sentido, pode-se afirmar, com base em uma apreciação crítica do Tratado sobre a Luz (HUYGENS, 1986) que suas idéias apresentam uma sintonia maior com a mecânica do que com a óptica moderna ou o eletromagnetismo, evidenciando diferenças significativas com a interpretação atual de ondas.

Segundo SILVA (2007, p.149), “[...] o modelo de Christian Huygens pode ser considerado uma reconstrução *a posteriori* (whiggismo), que impõe uma interpretação atual a conceitos enunciados no século VXII”.

Quando se explora nos textos de ensino a controvérsia científica da natureza da luz, tal abordagem se encerra em uma breve referência a disputa entre Newton e Huygens, contudo sempre dando primazia às idéias de Newton, fundamentalmente em virtude de suas contribuições à mecânica. Por outro lado, recorre-se ao modelo ondulatório de Huygens,

ao *Princípio de Huygens* mais especificamente, para o tratamento geométrico da refração, contudo, à luz de uma interpretação atual, descaracterizando as idéias de Huygens e ocultando as contribuições/trabalhos de personagens históricos pertinentes nos estudos da natureza da luz. Nesta perspectiva, desvirtua o processo histórico, reforçando uma atividade isolada.

De fato, as simplificações didáticas que ocorrem no conhecimento para se articularem ao ensino são necessárias, contudo, há uma distorção pensar que esse processo requer uma fragmentação indissolúvel da mesma forma que um deslocamento intransponível de sua realidade temporal.

O contexto científico do século XVII priorizava a construção de modelos mecânicos como base para as explicações científicas. Com a publicação de *Le Monde ou Traité de la Lumière* em 1644, depois *Les Principes de la Philosophie* em 1677 - uma obra póstuma - Descartes (1596-1650)<sup>23</sup> talvez tenha sido o primeiro a elaborar um modelo do tipo mecânico para a luz.

O imaginário mecanicista enfatizava que articular princípios mecânicos à causa primeira dos fenômenos naturais, inclusive os fenômenos luminosos, significava afastar a ciência das explicações metafísicas, como a recorrência aos princípios ativos e qualidades ocultas tão eminentes na imagem renascentista da natureza.

De fato, neste contexto, não há referência alguma a conceitos recentes como ação à distância, campo eletromagnético e outras interpretações contemporâneas que contribuem para delinear o modelo ondulatório da luz, como concebido hoje - que diverge fortemente da teoria idealizada por Huygens. Não há referência nem mesmo às características elementares das ondas, como amplitude de vibração, frequência, período ou comprimento de onda, afastando-o de uma possível articulação ao contexto científico da ondulatória moderna.

Embora Huygens se caracterize como um dos sistematizadores da teoria ondulatória da luz, não se pode apelar a um reducionismo histórico e atribuir a interpretação atual de ondas a este cientista

<sup>23</sup> Descartes publica em 1637 o *Discours de la Méthode*, com três apêndices, *La Dioptrique*, *Les Météores* e *La Géométrie*. Em *La Dioptrique*, apresenta a lei dos senos da refração; em *Les Météores*, discute um modelo da formação de arco-íris e descreve experiências de refração em prismas e globos de vidro com água. Com a publicação de *Le Monde ou Traité de la Lumière*, depois em *Les Principes de la Philosophie*, talvez tenha sido o primeiro a elaborar um modelo do tipo mecânico para a luz. Apesar de *Les Principes* terem aparecido em 1644 e *Le Monde* em 1677, portanto uma obra póstuma, esse último estava pronto desde 1634, postergado pelo autor provavelmente em decorrência da segunda condenação de Galileu, em 1633.

**Capítulo 8 “Estratégia Didática: história da ciência com intencionalidade didática”.....147**

**8.1** “Confecção da estratégia didática: breve caracterização”.....147  
**8.2** “Estratégia Didática: categorias de análise”.....151  
**8.3** “Contextos Históricos de Análise: possíveis contribuições didáticas”155  
**8.3.1**“Dimensão Temporal do Modelo de Huygens: imagem mecanicista da natureza”.....155  
**8.3.2** “Ausência da idéia de forças no modelo ondulatório de Huygens”..164  
**8.3.3** “A Natureza do éter na interpretação ondulatória de Huygens: mecanismo de restauração”.....166  
**8.3.4** “Ausência da idéia de interferência no modelo ondulatório de Huygens”.....170

**Considerações Finais.....173**

**Referências Bibliográficas.....186**

## **Capítulo 4 “Transposição Didática do Modelo de Huygens: reconstruções e resignificações das idéias originalmente propostas no ‘Tratado da Luz’”.....54**

- 4.1 “Distorção histórica do modelo de Huygens na física escolar: sua possível intencionalidade didática”.....58
- 4.2 “Textualização do ‘Princípio de Huygens’ na Física escolar”.....61
- 4.3 “Textualização didática tradicional: características dos textos escolares”.....66
- 4.4 “Explorando as possíveis faces da intenção didática presente na transposição didática habitual”.....76
- 4.5 “Obstáculos presentes no ensino-aprendizagem de ondas mecânicas”.....78

## **Capítulo 5 “Contexto Histórico da Natureza da Luz: Newton”.....82**

- 5.1 “Modelo da natureza da luz no mundo físico grego: imagem do contínuo e descontínuo”.....82
- 5.2 “Newton e a sua ‘Imagem da Natureza’”.....87
- 5.3 “Newton e a natureza corpuscular da luz”.....95

## **Capítulo 6 “Contexto Histórico da Natureza da Luz”..100**

- 6.1 “O modelo ondulatório de Huygens e distorções no ensino”.....100
- 6.2 “O Modelo de Huygens para a natureza da luz e a imagem cartesiana da natureza: o éter e a negação a idéia de ação à distância”.....103
- 6.3 “Ausência da idéia de interferência de ondas: natureza do modelo mecânico da luz”.....106
- 6.4 “Analogia com o Som”.....110
- 6.5 “A refração da luz: opacidade e transparência dos corpos”.....115
- 6.6 “Velocidade da luz na matéria”.....119

## **Capítulo 7 “Contexto Histórico da Natureza da Luz: o Tratado de Young”.....129**

## **Agradecimentos**

Ao Professor Fred...

Tentei, com uma frequência quase frenética, nos momentos finais de delineamento da Tese, expressar no papel, em um tom acadêmico, a imensa satisfação de ter tido a oportunidade, por “coincidência do universo” diria um cético, ou por algum motivo de origem irracional talvez, de tão valiosa orientação. Contudo não consegui! Então, inspirada no devaneio bachelardiano sem, contudo, desvencilhar-me da ‘contradição razão-emoção’ quero agradecer ao meu Mestre! De fato, as problematizações e desafios da tese não foram silenciadas ou mascaradas nem, tampouco, em meio às nossas discussões, expostas como intransponíveis/insolúveis ou, por outro lado, como relativamente simples, imediatas. De modo equilibrado, a imagem, por vezes confusa da tese, no fluxo contínuo do tempo expressou traços fortes, intensos. Agradeço por contribuir com meu crescimento acadêmico e pelo exemplo que és Professor! Obrigada por muito me ensinar!!!

À professora Sônia que mesmo sem, formalmente ou oficialmente, vincular-se à tese, sempre expressou interesse em de algum modo estar presente nesta caminhada, meu muito obrigada pelas contribuições não apenas acadêmicas... pelo apoio amigo e por sempre me receber com um sorriso que em diversos momentos iluminou dias cinzas....

À Sônia, minha mãe, minha vida... mesmo distante, sempre presente... com todo meu amor agradeço e dedico este trabalho... por me ensinar que na paz e na tranquilidade está a força.... meu exemplo de vida e estímulo diante dos desafios mais expressivos.. Muito Obrigada minha querida Mãe!

Ao Julio...

Confesso que por um ‘viés racional’ absoluto, por vezes, é difícil delinear ou significar, de modo preciso e completo, a importância de alguém em nossas vidas e suas contribuições em cada etapa vencida... qualquer tentativa pode se caracterizar reducionista... Julio, obrigada... por estimular em mim a inquietude crítica do espírito científico, por me fortalecer com seu amor... fazer parte da minha vida.... e ‘por razões que a própria razão desconhece’...

# Sumário

<b>Introdução</b> .....	01
<b>Capítulo 1 “Transposição didática da História da ciência: realmente possível?”</b> .....	<b>13</b>
1.1 “Os episódios históricos e a didática das ciências: conhecimentos indissociáveis na transposição didática”.....	13
1.2 “Transposição Didática da abordagem histórica: desafios”.....	17
1.3 “O caso histórico de Huygens, Young e Fresnel: intencionalidade didática delineada para sua transposição à física escolar”.....	19
<b>Capítulo 2 “Extensão da História da Ciência para o Contexto Didático: possibilidades e desafios apresentados pela literatura”</b> .....	<b>30</b>
2.1 “Visões Deformadas da Atividade Científica: qual o papel da História da Ciência na Formação de Professores e Pesquisadores”.....	30
2.2 “Extensão de visões equivocadas no ensino de ciências: dimensão histórica como alternativa didática?”.....	35
<b>Capítulo 3 “A História da Ciência e suas Diferentes Faces: Contexto Didático”</b> .....	<b>40</b>
3.1 “Críticas e Obstáculos à incursão da História da Ciência no contexto educativo: possível superação?”.....	40
3.2 “O Gênero Histórico Priorizado em Textos Didáticos de Física: contribuições ou distorções para o estudo da natureza da Luz”.....	43
3.2.1 “Análise do Gênero e Extensão Histórica nos Manuais Escolares: Contexto da Natureza da Luz”.....	45

# Abstract

This thesis research explores didactic potentials in the historical context, from Huygens, to the scientific education. In the school physics, scientific contributions from Christiaan Huygens (XVII century) express an example of didactic reconstruction on historical facts. This approach reframes the ideas from that scientist in terms of a current wave interpretation. “Huygens' principles are added to the idea of waves superposition in a model from periodic waves, in opposition to the version originally proposed on his 'Treaty of the Light', in 1690. In order to highlight a possible didactic intent in the historical reconstruction from “Huygens' principles” in the school physics, we analyze some didactic books that are used in higher education. Based on this example of didactic reframing, we talk about the present obstacles on didactical transposition of historical episodes to the educational context. This is because historical documents produced by historians, just as original texts from scientists, can not be simply introduced in the school science. Then, it becomes essential to outline a clear didactic intent of the historical content (teaching content), when it is related to its transposition into educational reality. Thus, we explored the possible faces of didactic intentionality that are present in the traditional didactic transposition. It decontextualizes, disintegrates and depersonalizes, in a dogmatic way, the historical facts of science. This analysis showed the model inadequacy often dedicated to addressing the school physics. It is not favored the process of school conceptualization that is characterized by a gradual and continuous movement of meaning and concepts reframing, as it was outlined by cognitive psychology studies. We transposed this analysis to the case of Huygens. So, we explored the model's historical weakness of that scientist for an effective learning of physical concepts that are present in the wave phenomena. In particular, because that approach fails to problematize students misconceptions about the environment role, in the propagation of mechanical waves and their confused ideas on waves superposition. Then, we exposed as a research original contribution, a didactic strategy that presents the model's didactic potential on mechanical waves genuinely proposed by Huygens.

Ao João Victor, mesmo iniciante na jornada acadêmica, surpreende-me constantemente com suas discussões críticas sobre a Engenharia e o ser pesquisador... simplesmente por tua presença em minha vida... com carinho te agradeço...

À Ivone por entender minhas ausências, necessárias nessa jornada, por estar sempre tão perto...

À Marialva pelo carinho e constantes acolhidas: tão importantes quando se está longe de casa.

A Janice pelo exemplo de força e determinação! Pela amizade sincera... que ensina com o silêncio... que inspira com exemplos... pelos intermináveis cafezinhos, almoços (Culinária Janaice & Janaice)... e, como não podia esquecer, pela presença quase acadêmica da Mary!!

A Cris por me ensinar a ver a vida com olhos mais sensíveis... pela sincera amizade cultivada nesses intensos anos acadêmicos da Tese...

Ao Praxedes pela amizade e pela presença fundamental na sala do doutorado, compartilhando angústias, conhecimentos e muitos cafezinhos... Obrigada pelo apoio amigo!

A Ju Coelho por não deixar a solidão na ‘salinha do doutorado’ entristecer o espírito acadêmico... pelo conforto da tua presença nos momentos finais de delineamento da Tese... pelos momentos difíceis que compartilhamos e enfrentamentos buscados... pela amizade e carinho cultivados....Obrigada Jú!!

A Jú Torres, Renata, Simoni, ao Fábio, Emerson e aos colegas da turma de doutorado 2006 pelo que juntos aprendemos, experiências trocadas e desafios acadêmicos que juntos enfrentamos...

Aos Professores do PPGECT pelos exemplos e contra-exemplos profissionais e de vida. Ao Professor Dr. Demétrio Delizoicov pelo exemplo que és, pelos ensinamentos epistemológicos e pelas constantes problematizações e desafios propostos...

Aos membros da Banca pelas contribuições significativas neste momento 'simbólico' da Defesa... às argüições, desconcertantes, por vezes, mas que possibilitaram novamente desafios à Tese... Certamente uma pesquisa não é conclusiva!

Em especial ao Professor Dr. Olival Freire Júnior pelas valiosas considerações na Qualificação e na Defesa, muito obrigada Professor!

Ao CNPq pelo apoio financeiro.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desta pesquisa. Obrigada.

## Resumo

A presente pesquisa de Tese explora os potenciais didáticos do contexto histórico de Huygens para a educação científica. Na física escolar, as contribuições científicas de Christiaan Huygens (século XVII) expressam um exemplo de reconstrução didática dos fatos históricos. Esta abordagem resignifica as idéias deste cientista em termos de uma interpretação ondulatória atual. Ao 'Princípio de Huygens', agrega-se a idéia de superposição de ondas, em um modelo de ondas periódicas, por oposição à versão originalmente proposta em seu 'Tratado da Luz' de 1690. A fim de evidenciar uma possível intencionalidade didática nas reconstruções históricas do 'Princípio de Huygens', na física escolar, analisamos alguns livros didáticos do ensino superior. Com base nesse exemplo de resignificação didática, discutimos sobre os obstáculos presentes na transposição didática de episódios históricos ao contexto educativo. Isso porque, os documentos históricos, produzidos pelos historiadores, do mesmo modo que os textos originais dos cientistas, não podem, simplesmente, lançarem-se na ciência escolar. O que torna imprescindível delinear uma *intencionalidade didática* inequívoca do conteúdo histórico (do conteúdo de ensino) quando se pensa em sua transposição para a realidade educativa. Exploramos, assim, as possíveis faces da intencionalidade didática, presente na transposição didática tradicional, que descontextualiza, dessincretiza e despessoaliza, de modo dogmático, os fatos históricos da ciência. Esta análise mostrou a insuficiência do modelo freqüentemente dedicado à abordagem da física escolar. Por não favorecer o processo de conceitualização escolar que se caracteriza por um movimento contínuo e gradativo de significação e resignificação de conceitos, conforme delineado por estudos da psicologia cognitiva. Transpomos esta análise ao caso de Huygens. Exploramos, assim, a fragilidade da distorção histórica do modelo desse cientista para uma aprendizagem efetiva dos conceitos físicos presentes nos fenômenos ondulatórios. Em particular, porque essa abordagem é insuficiente para problematizar os equívocos dos estudantes quanto ao papel do meio na propagação das ondas mecânicas e suas idéias confusas de superposição de ondas. Expomos, então, como contribuição original da pesquisa uma estratégia didática que apresenta os potenciais didáticos do modelo de ondas mecânicas genuinamente proposto por Huygens.