

**Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
Faculdade de Ciências
Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência**

Ailson Vasconcelos da Cunha

Considerações sobre os aspectos cinemáticos e dinâmicos do movimento

**Bauru – SP
Setembro – 2008**

**Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
Faculdade de Ciências
Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência**

Ailson Vasconcelos da Cunha

Considerações sobre os aspectos cinemáticos e dinâmicos do movimento

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência, Faculdade de Ciências – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, sob orientação da profa. Dra. Lizete Maria Orquiza de Carvalho, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de mestre em Educação para a Ciência – área de concentração: ensino de ciências.

**Bauru – SP
Setembro – 2008**

Ailson Vasconcelos da Cunha

Considerações sobre os aspectos cinemáticos e dinâmicos do movimento

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência, Faculdade de Ciências – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, sob orientação da profa. Dra. Lizete Maria Orquiza de Carvalho, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de mestre em Educação para a Ciência – área de concentração: ensino de ciências.

Banca de Examinadora:

Presidente: Profa. Dra. Lizete Maria Orquiza de Carvalho

Faculdade de Engenharia – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

Titular: Prof. Dr. Roberto Nardi

Faculdade de Ciências – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

Suplente: Prof. Dr. Marcelo Carbone Carneiro

Faculdade de Ciências – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

Titular: Prof. Dr. João Zanetic

Instituto de Física – Universidade de São Paulo

Suplente: Prof. Dr. Demétrio Delizoicov Neto

Centro de Ciências da Educação – Universidade Federal de Santa Catarina

**Bauru – SP
Setembro – 2008**

À profa. Maria Rita de Castro Faria que há muitos anos trabalha lecionando física e, como muitos professores, não tem o reconhecimento que merece.

À profa. Dra. Lizete Maria Orquiza de Carvalho que há muitos anos trabalha pela melhoria do ensino de física, reconhecendo nos professores o caminho para essa melhoria.

AGRADECIMENTOS

À profa. Dra. Lizete Maria Orquiza de Carvalho, pela enorme orientação neste trabalho, pelo carinho, apoio e compreensão com que sempre me tratou, por sempre acreditar em mim e incentivar-me, por acreditar no trabalho do professor e ensinar-me a acreditar também.

Ao prof. Dr. João Zanetic e ao prof. Dr. Roberto Nardi, por aceitarem fazer parte desta banca e pelas imensas contribuições ao trabalho.

À CAPES, pelo financiamento deste trabalho.

Aos meus professores do PPG em Educação para a Ciência, em especial ao prof. Dr. Washington Luís Pacheco de Carvalho, pelas contribuições.

Ao prof. Dr. André Kock Torres Assis, pela colaboração e pelo incentivo no desenvolvimento da pesquisa.

À professora de Física da E. E. de Urubupungá, Maria Rita de Castro Faria, pela colaboração.

Aos alunos da E. E. de Urubupungá, que participaram deste projeto e aceitaram este desafio.

Às secretárias do Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência, Ana Grijo e Andressa, à secretária do NAECIM - Núcleo de Apoio ao Ensino de Ciências e Matemática, Regina, e à secretária do Departamento de Física e Química da FEIS/UNESP, Mary, pela colaboração.

Aos colegas de turma e do grupo de pesquisa e, em especial, aos meus grandes amigos Reginaldo e Daise, pelas críticas, elogios, sugestões, mas, principalmente, pelas muitas horas de convivência, conversa e discussão que muito me incentivaram e engrandeceram este trabalho.

Aos amigos de república e do curso de física pelas estadias e pelo apoio recebido.

Ao pessoal de Bauru, em especial, Dona Marlene, Sr. José Macedo, Rose, agradeço imensamente pelo apoio recebido.

Aos meus irmãos, Suzi e Adilson, aos meus cunhados Éder e Priscila, pelo apoio e incentivo em continuar lutando, e por compreenderem tantas vezes a minha ausência; e ao meu sobrinho por me tolerar durante algum tempo.

E, finalmente, aos meus pais, Irene e Joaquim, pelo apoio e incentivo, por compreenderem a minha ausência, pela confiança, respeito, enfim, por tudo.

A todos vocês o meu muito obrigado.

EPÍGRAFE

Só educadoras e educadores autoritários negam a solidariedade entre o ato de educar e o ato de serem educados pelos educandos; só eles separam o ato de ensinar do de aprender, de tal modo que ensina quem se supõe sabendo, e aprende quem é tido como quem nada sabe. Na verdade, para que a afirmação “quem sabe ensina a quem não sabe” se recupere de seu caráter autoritário, é preciso que quem sabe saiba sobretudo que ninguém sabe tudo e que ninguém tudo ignora.

A importância do ato de ler – Paulo Freire

Mas o ilustre médico, com os olhos acesos da convicção científica, trancou os ouvidos à saudade da mulher, e brandamente a repeliu. Fechada a porta da Casa Verde, entregou-se ao estudo e à cura de si mesmo. Dizem os cronistas que ele morreu dali a dezessete meses no mesmo estado em que entrou, sem ter podido alcançar nada. Alguns chegam ao ponto de conjecturar que nunca houve outro louco além dele em Itaguaí, mas esta opinião fundada em um boato que correu desde que o alienista expirou, não tem outra prova senão o boato; e boato duvidoso, pois é atribuído ao Padre Lopes que com tanto fogo realçara as qualidades do grande homem. Seja como for, efetuou-se o enterro com muita pompa e rara solenidade.

O alienista – Machado de Assis

Quem me dera que a minha vida fosse um carro de bois

(...)

Eu não tinha que ter esperanças – tinha só que ter rodas...

O guardador de rebanhos – Fernando Pessoa

RESUMO

É corrente entre os pesquisadores a necessidade de inserção da História, Filosofia e Sociologia da Ciência no ensino de ciências, assim como esta inserção é recorrentemente apontada como uma solução para a suposta crise que invadiu o ensino nesta modalidade. Insatisfeitos com o rumo que estas pesquisas estão tomando, delineamos nosso problema de pesquisa. Explicitamos nossa concepção de educação embasada principalmente pela obra do educador Paulo Freire, ou seja, apresentamos nossa concepção de educação dialógica-problematizadora na vertente emancipadora. Fazemos uma aproximação entre a concepção freiriana de educação e o ensino de ciências, a fim de estabelecer uma concepção de ensino de ciências, bem como do ensino de física do qual compartilhamos. Nessa concepção de ensino de ciências apresentamos a finalidade pela qual pretendemos resgatar a História, Filosofia e Sociologia da Ciência, HFSC, argumentando em favor de sua inseparabilidade com a Ciência no ensino de ciências. Apresentamos a Experiência do Balde de Newton e a finalidade que a mesma teria nessa concepção. Concluímos que a construção de enunciados sobre a experiência do Balde de Newton, através de seus conseqüentes pronunciamentos e sua volta problematizada ao sujeito, proporcionou aos alunos uma transformação da realidade.

Palavras-chave: Ensino de Física, Experimento do Balde de Newton, Paulo Freire, Problematização, Fenômenos e Enunciados

ABSTRACT

It is a common practice among researchers the need of entering into History, Philosophy and Sociology of Science in science teaching, and this integration is repeatedly cited as a solution to the supposed crisis that broke into the school championship. Unhappy with the way these surveys are taking, we delineated our research problem. We explicated our conception of education based mainly on the work of educator Paulo Freire, that is, we present our vision of dialogic-problematizing education in the shed for liberation. We make a connection between the design Freirian education and science education in order to establish a conception of science teaching and the teaching of physics which we share. In this conception of science education we present the purpose we intend to redeem the History, Philosophy and Sociology of Science, HFSC, arguing for the inseparability of Science in science education. We present the experience of Newton's bucket and the purpose that it would have this view. We conclude that the construction of statements about the experience of Newton's bucket through his consequent pronouncements and his return problematized to the subject gave the pupils a changing reality.

Keywords: Physics Teaching, Newton's bucket experiment, Paulo Freire, Problematization, Phenomena and Statements

SUMÁRIO

SUMÁRIO	1
APRESENTAÇÃO	3
INTRODUÇÃO	4
1. HISTÓRIA, FILOSOFIA E SOCIOLOGIA DA CIÊNCIA E O ENSINO DE CIÊNCIAS: O QUE DIZEM AS PESQUISAS?	10
1.1 Natureza da ciência e o ensino-aprendizagem de ciência	10
1.2. O “paradigma da inserção” da HFSC no ensino de Ciências	14
1.3 A Natureza da Ciência e o Ensino de Mecânica	17
1.4 Definição do terreno de pesquisa: A Experiência do Balde de Newton	19
1.5 Objetivos de Pesquisa	21
2. TEORIA CRÍTICA, EDUCAÇÃO E CIÊNCIA	23
2.1 O processo de humanização	24
2.2 A educação científica na proposta dialógica-problematizadora	29
3. A EXPERIÊNCIA DO BALDE DE NEWTON	36
3.1 A Mecânica Newtoniana	36
3.2 A Mecânica Relacional	43
4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	46
4.1 Caracterização da pesquisa	46
4.2 O locus da pesquisa	46
4.3 O planejamento da intervenção	47
4.4 Metodologia de análise de dados	52
5. COMPARTILHANDO O FENÔMENO	53
5.1 A configuração do fenômeno como problema	53
5.1.1 Não-compartilhamento dos procedimentos	54
5.1.2 Não-compartilhamento da observação do fenômeno em condições que o procedimento estava garantido	57
5.1.3 Além da observação	58
5.2 Identificação de variáveis relevantes	59
5.2.1 Não-identificação das variáveis relevantes	59
5.2.2 Variação das variáveis	60
5.3 O entendimento do movimento	61
5.3.1 O entendimento do movimento (I)	61
5.3.2 O entendimento do movimento (II)	62
5.3.3 O movimento da água	65
5.3.4 Sobre a concavidade superfície da água	66

5.4 O entendimento de ciência	69
5.4.1 O entendimento de ciência	70
5.4.2 Teoria e experimento	70
5.4.3 A valorização da pesquisa por PAULA	71
5.4.4 A ciência é descoberta ou inventada	72
5.4.5 O que fazer quando uma teoria dá errado	73
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	75
REFERÊNCIAS	79

APRESENTAÇÃO

É corrente entre os pesquisadores e evidenciado pelo número de trabalhos publicados a necessidade de inserção da História, Filosofia e Sociologia da Ciência no ensino de ciências, assim como esta inserção é recorrentemente apontada como uma solução para a suposta crise que invadiu o ensino nesta modalidade. Este trabalho insere-se neste contexto, e vem a se somar a estas pesquisas.

Apresentamos, na introdução, o caminho percorrido até se chegar aos objetivos e questões de pesquisa. Consta nessa introdução, portanto, uma descrição pessoal de como foi esta trajetória, um pouco árdua em alguns momentos, porém rica e extremamente motivadora em outros, o que acreditamos deva fazer parte do contexto de como este trabalho foi construído.

No capítulo 1 deste trabalho, apresentamos uma pequena revisão bibliográfica a respeito das pesquisas em ensino de ciências, nas quais existe a proposição da inserção da HFSC no ensino de ciências. Insatisfeitos com o rumo que estas pesquisas estão tomando, delineamos nosso problema de pesquisa.

No capítulo 2, explicitamos a nossa concepção de educação embasada principalmente pela obra do educador Paulo Freire, ou seja, apresentamos a nossa concepção de educação dialógica-problematizadora na vertente emancipadora. Concluímos o capítulo com uma aproximação entre a concepção freiriana de educação e o ensino de ciências a fim de estabelecer uma concepção de ensino de ciências, bem como do ensino de física do qual compartilhamos. Nessa concepção de ensino de ciências apresentamos a finalidade pela qual pretendemos resgatar a História, Filosofia e Sociologia da Ciência, HFSC, argumentando em favor de sua inseparabilidade com a Ciência no ensino de ciências. Com isso apresentamos no capítulo 3 a Experiência do Balde de Newton e a finalidade que a mesma teria nessa concepção.

Apresentamos no capítulo 4 a metodologia do trabalho e no capítulo 5 os resultados do trabalho. As considerações finais, bem como as que fazemos para trabalhos futuros, são apresentadas no capítulo 6. A dissertação é finalizada com as referências bibliográficas em ordem alfabética.

INTRODUÇÃO

O presente trabalho não é resultado apenas de alguns meses relativos ao curso de mestrado, uma vez que a maior parte das questões aqui desenvolvidas e explicitadas é proveniente de outros períodos da minha formação anterior, principalmente no que se refere à concepção de Ciência, sua natureza e seu progresso, cujo ensino pretendeu-se problematizar na educação básica e analisar-se neste trabalho. Nesse sentido é que desejamos explicitar nessa introdução o contexto no qual esta pesquisa surgiu e que, acreditamos, contribui para seu entendimento.

É sabido – e talvez seja desnecessário novamente reafirmar – que a Ciência possui um prestígio muito grande em nossa sociedade. Fonte de credibilidade, recorremos a ela sempre que desejamos obter alguma certeza ou afirmar a veracidade acerca de algo. Daí uma associação comum: conhecimento científico – conhecimento verdadeiro. No entanto, esse alto poder tem sido, há muito, discutido, debatido e questionado tanto por filósofos e sociólogos como também por cientistas, embora estes últimos o façam em menor escala. Entretanto, essas discussões têm passado ao largo da formação tanto de cientistas como de educadores. Conseqüência disto, e conseqüência gravíssima, é que a ausência dessas discussões tem-se refletido na qualidade de educação e na formação dos indivíduos, os quais acabam por se apropriar de uma imagem demasiado equivocada, tanto da ciência, concebida como uma verdade absoluta, como do cientista, por sua vez, associado a um ser brilhante, genial, sem preconceitos.

Em minha educação básica e, em parte, também na superior, não foi diferente. Na educação básica, por um lado, o estudo de física, para muitos estudantes, tinha apenas como finalidade passar de ano e conseguir o diploma do ensino médio e, portanto, para estes, quanto menos 'trabalho', melhor. Por outro lado, nessa etapa da educação existe uma preocupação muito grande, por parte de alguns alunos, com a aprovação em um exame de vestibular, sendo que, neste caso, a principal preocupação nas aulas era a aquisição da maior quantidade de informação possível – uma fórmula decorada de última hora através de uma anedota ou uma paródia (sem graça) poderia significar um ponto a mais no vestibular e muitos candidatos deixados para trás.

Apesar desses obstáculos, tive uma professora de física capaz de ensinar além daquilo que era necessário para o exame vestibular. E, considerando que estudei em uma escola pública, a qual atualmente encontra-se com escassez desses profissionais

competentes devido às suas condições de trabalho, foi um privilégio, além de um momento significativo.

Minha visão de Física mudou a partir do momento em que a professora de física do terceiro ano do ensino médio, Nina, a quem agora presto uma homenagem, levou um experimento para a sala de aula. Considerando os anos anteriores nos quais tive professores sequer formados em Física, posso dizer que praticamente não havia estudado essa disciplina, e sim aprendido um considerável número de equações que usaria para resolver uma grande quantidade de exercícios. Essa experiência, portanto, foi muito significativa.

O experimento era muito simples: uma barra de gelo sendo atravessada, sem ser cortada em duas partes, por um fio de cobre fino pendurado com duas massas nas extremidades. Posso dizer, no entanto, que a partir daquele dia nunca mais eu iria esquecer o conceito de pressão, assim como o comportamento singular e surpreendente da água, o qual só mais tarde, já na faculdade, pude compreender melhor. Foi este o meu primeiro contato com Física! Outros exemplos não faltariam nas aulas dessa professora, mas o importante é dizer que apenas um foi suficiente para que o meu interesse por estudar física fosse despertado, assim como para o ensino de física.

Na faculdade, esses interesses foram só progredindo. No início do curso, o contato com a Matemática, bem diferente daquela que aprendemos no ensino médio, era muito intenso, e o gosto pelo cálculo foi só aumentando, principalmente quando relacionado com física ou engenharia – a descoberta do por que da lata de óleo ter a aquele raio e aquela altura, ou seja, a menor área superficial para aquele volume cilíndrico, foi surpreendente. O cálculo diferencial não era somente uma ferramenta. Já com a Física, o contato foi-se intensificando ao longo do curso: mecânica, termologia, eletromagnetismo I e II, laboratório, I, II, III, IV, fui tendo a certeza de que havia escolhido o curso certo.

Nesse início, tive a oportunidade de começar, ainda no primeiro ano de curso, um projeto de extensão universitária destinado à formação de funcionários da UNESP que não haviam concluído o ensino fundamental. Cada unidade tinha um coordenador e alguns bolsistas que ministravam aulas para esses funcionários. Além da formação dos funcionários, o programa visava também à formação dos graduandos educadores, realizada através de alguns cursos promovidos pela Pró-Reitoria de Extensão Universitária (PROEX) e por reuniões semanais com os coordenadores, nas quais havia o estudo e discussão de alguns textos. Este grupo caracterizou-se pelo esforço coletivo de enfrentamento das

dificuldades encontradas em sala de aula e pela busca de uma melhor formação coletiva, o que, em nossa interpretação, ocasionou um ganho muito grande de aprendizagem.

O estudo das propostas curriculares proporcionou-me um contato inicial com textos do Ministério da Educação e, conseqüentemente, com a legislação educacional vigente no ensino. Já a leitura e o estudo de textos do educador Paulo Freire propiciaram uma reflexão acerca da educação, seus princípios e fundamentos. Essas leituras e o espaço aberto para sua discussão constituíram uma importante oportunidade para a formação do graduando educador. Quando se leva em conta a concepção freiriana da educação aplicada à educação de jovens e adultos, EJA, observa-se sua preocupação com a formação crítica do educando, que se reflete na maneira como o conhecimento é tratado em sala de aula, aproximando-o do contexto dos alunos. Esta preocupação, por sua vez, não aparece no ensino básico regular, em que os conteúdos já vêm formatados para que o professor os ensine aos seus alunos. Este fato chamou muito a minha atenção e, por sua vez, despertou-me para uma reflexão acerca do conhecimento e da educação.

Embora o curso de Física seja de modalidade licenciatura, ou seja, destinado à formação de professores, a maior parte dos alunos, no entanto, não tinha o desejo de se tornar professor, tendo sempre como justificativa as atuais condições a que estes profissionais são submetidos, sempre precárias, baixos salários e jornada dupla de trabalho, falta de material didático e de estruturas adequadas, como laboratórios, etc. Somava-se a isso, ainda, a possibilidade de realização de estudos de iniciação científica em alguma área da Física, básica ou aplicada. Com esse quadro, muitos alunos encontraram um caminho mais promissor a trilhar, passando agora a desejar seguir a carreira acadêmica, sendo que aqueles que não a encontravam, ou desistiam do curso, ou prestavam novamente outra prova para se transferir, tanto é que os cursos de física têm grande evasão de alunos.

Novamente comigo a situação não foi diferente. Fui tomado por um 'mar de dúvidas' sobre que carreira gostaria de seguir. Por alguns momentos pensei em mudar de curso, ora para bacharelado em Física, ora para um curso de engenharia. Por um lado, a falta de condições de trabalho como professor e as condições melhores de trabalho na pesquisa acadêmica em Física indicavam que eu deveria seguir a carreira acadêmica nessa área. Por outro lado, a carreira no curso de engenharia era de muito prestígio e reconhecimento profissional, tanto financeira como socialmente. Entretanto, havia o desejo muito grande de continuar na área de educação, porém um desejo contido, já que muitas pessoas, tanto professores como alunos e, de certa forma, boa parte da sociedade, tinham

certo preconceito com essa área que, reafirmo, é pouco valorizada e reconhecida – algumas vezes cheguei até a ouvir que 'isso não vai te levar a nada' e que eu 'deveria era partir para a Física'.

E assim segui com minhas dúvidas no curso de Licenciatura em Física. Gostava muito daquilo que estava estudando, mas ainda sentia certo desconforto em cursar uma licenciatura pensando no bacharelado, muito embora os dois cursos não sejam tão diferentes. Mesmo sendo um curso de licenciatura, destinado à formação de professores para atuar na educação básica, foram poucos os momentos que tivemos para discutir assuntos relacionados à educação e ao ensino de ciências no início do curso. Ao final do curso, essas discussões aparecem bastante, mas como se pertencessem a domínios distintos. Também não havia muito espaço para discussões sobre a Ciência e sua natureza – não havia espaço para incertezas no curso, assim como não há espaço para incerteza em qualquer curso de Física. Considerando que sempre fomos educados dessa maneira, que nunca questionamos as bases científicas nas quais a Física foi construída, não sentimos falta alguma: restava-nos adaptarmo-nos à verdade que nos era desvelada.

Foi então que André Assis, do Instituto de Física Gleb Wataghin, da UNICAMP foi ministrar uma palestra, “*A origem da inércia*”, sobre o desenvolvimento da teoria da Mecânica Relacional. Com humildade e simplicidade proporcionou-nos uma oportunidade concreta de percebermos que a Física não é uma Ciência construída sobre certezas, e que existem muitos assuntos controversos, entre eles a relatividade do espaço e do tempo. Além disso, seu esforço foi no sentido de incentivar os questionamentos dessas certezas: nós não só poderíamos questionar essas certezas como deveríamos questioná-las, principalmente nós, que seríamos professores.

Nessa época, uma inquietação instaurou-se entre os alunos, pois nós que sempre acreditamos na certeza da mecânica newtoniana fomos 'pegos de surpresa'. Tivemos a sensação de desmoronamento, ou a sensação de que sempre fomos enganados, pois estávamos acreditando em algo que haviam nos ensinado sem sequer mencionar que se poderia questionar. Ficamos inconformados. Foi o meu primeiro contato com uma teoria científica contraditória com uma teoria científica vigente ou hegemônica.

Ao saber da existência de uma teoria que contradiz a teoria hegemônica, comecei a refletir sobre a forma como a Ciência vem sendo tratada no ensino, em todos os níveis: através de teorias construídas sobre bases sólidas, acabadas e dogmáticas. Essa reflexão levantou alguns questionamentos sobre a problemática que envolve o ensino e a

aprendizagem de Física, principalmente, no Ensino Médio. Estava sendo despertado agora para o ensino de física.

Em meio ao sentimento de inconformismo misturado ao de indignação, começamos a desenvolver um trabalho de iniciação científica na área de Ensino de Física, no qual propusemos a realização da Experiência do Balde de Newton entre os alunos do Ensino Médio como uma possibilidade para ensinar, por um lado, os conceitos básicos de mecânica clássica envolvidos na experiência, que normalmente são tratados como simples, embora não sejam nada fáceis de compreender; e, por outro lado, trabalhar com esses alunos a possibilidade de questionar o dogmatismo científico predominante em todas as escolas e modalidades de ensino.

O trabalho foi desenvolvido com o incentivo do próprio professor Dr. André Assis e com bolsa de iniciação científica CNPq/PIBIC, após ter sido recusado pela FAPESP, sendo que o parecerista alegou inviabilidade na sua execução. Os resultados foram apresentados e publicados no V ENPEC e no XVII SNEF, além dos congressos de iniciação científica da UNESP e da USP.

Após a iniciação científica, obviamente o caminho natural a se seguir seria o mestrado na área de Educação em Ciências. Muito embora parecesse óbvio, o caminho foi tortuoso, pois não tivemos muito apoio na continuação do trabalho de iniciação científica. A FAPESP, a exemplo do que ocorreu na iniciação científica, novamente negou o financiamento do projeto, muito embora o parecerista ressaltasse que ele estava “muito bem escrito e fundamentado”, e que era louvável e atual a iniciativa de “apresentar a física como uma ciência não acabada”. Segundo ele, o projeto estaria “fadado ao insucesso”, além do que era uma dupla temeridade “ter um tema com esse nível de dificuldade cognitiva como base de um projeto de ensino cujo público alvo são os alunos de Ensino Médio” e contrapor as duas visões, sendo que uma é hegemônica e outra polêmica. Interpretamos que foi um duplo equívoco sua compreensão de nosso projeto de pesquisa que, por um lado, não tem a finalidade de ser um 'sucesso', mas pretende apenas encontrar respostas para perguntas que consideramos originais e, por outro lado, não pretendemos contrapor duas teorias, apenas proporcionar ao estudante, durante sua educação científica básica, a possibilidade de apreciação de uma situação controversa na ciência, como tantas que ocorrem no meio científico e que são tão necessárias para a compreensão deste novo mundo.

Mesmo tendo conseguido bolsa do CAPES/DS, os argumentos contra o projeto

quase nos fizeram desistir de continuar o trabalho. Isso somente não aconteceu devido ao apoio que obtivemos do grupo de pesquisa para o qual apresentamos a situação, já convencidos da desistência, mas fomos incentivados a continuar, motivados pela necessidade e importância desse projeto de pesquisa. Estamos convencidos de que são necessários investimentos em uma educação científica na qual prevaleça o diálogo, os questionamentos em oposição ao monólogo e ao dogmatismo. Por isso, investimos tanto tempo e 'energia' neste projeto, com a certeza de que a negação dos financiamentos, o descrédito, bem como as ofensas, vêm por parte daqueles que possuem uma visão dogmática e elitista da ciência. Tudo isso somente reafirma a necessidade que se tem de se pesquisar sobre a possibilidade de pluralidade de visões sobre a ciência, tanto no Ensino Médio como no Superior.

O propósito desta introdução não foi somente o de expor a forma como chegamos ao problema de pesquisa, mas principalmente o de ilustrar e exemplificar como o dogmatismo está presente na educação científica. O modo como fui inserido no ambiente da Física e, depois, como se deu o questionamento ao dogmatismo, incentivaram-me a prosseguir caminho.

1. HISTÓRIA, FILOSOFIA E SOCIOLOGIA DA CIÊNCIA E O ENSINO DE CIÊNCIAS: O QUE DIZEM AS PESQUISAS?

1.1 *Natureza da ciência e o ensino-aprendizagem de ciência*

Muitas pesquisas têm argumentado em favor da utilização da História e da Filosofia da Ciência (HFC) e, mais recentemente, da Sociologia da Ciência no ensino de ciências, assim como são muitos os argumentos em favor dessa utilização (GAGLIARDI e GIORDAN, 1986; GIL-PEREZ, 1993; MELLADO e CARRACEDO, 1993; MATTHEWS, 1992). No Brasil, a tendência para essa utilização foi observada já no início da década de 90, como aponta Carvalho e Vannucchi (1996) que, ao analisarem os trabalhos apresentados em alguns congressos da área de ensino de física, constataram uma tendência de aumento do número de pesquisas com ênfase curricular em HFC.

Essa tendência já teve reflexos inclusive na legislação educacional brasileira, que dá claras indicações, nos parâmetros curriculares nacionais, por exemplo, ao uso da HFSC no ensino de ciências (BRASIL, 1999 e 2002) e, em especial, no ensino de física. A Física, nesses parâmetros, “deve vir a ser reconhecida como um processo cuja construção ocorreu ao longo da história da humanidade, impregnado de contribuições culturais, econômicas e sociais, que vem resultando no desenvolvimento de diferentes tecnologias e, por sua vez, por elas sendo impulsionado” (BRASIL, 2002, p.59). Entre as competências que o ensino de física deveria ser capaz de promover no educando, destacamos “compreender o conhecimento científico e o tecnológico como resultados de uma construção humana, inseridos em um processo histórico e social. Compreender o desenvolvimento histórico dos modelos físicos para dimensionar corretamente os modelos atuais, sem dogmatismo ou certezas definitivas” (BRASIL, 2002, p. 62).

Barros e Carvalho (1998) sugerem que a História da Ciência pode ser utilizada no ensino de ciências, por um lado, para a compreensão, pelo professor, do processo de ensino-aprendizagem e, por outro, para a discussão com respeito à natureza da ciência.

A primeira possibilidade aberta justifica-se principalmente com base em pesquisas que têm relatado semelhanças entre as idéias dos cientistas e as idéias dos estudantes (GIL-PÉREZ e CARRASCOSA, 1985). As primeiras pesquisas, nessa linha, surgiram no contexto do movimento das concepções alternativas (MCA) e no modelo de mudança conceitual (MMC), embasados principalmente pelo construtivismo piagetiano,

sugerindo uma resposta às concepções alternativas dos estudantes, similares às aquelas enfrentadas pelos cientistas quando da descoberta científica (VILLANI, 2001). Nestes casos, alguns trabalhos (LABURU e CARVALHO, 1995; LABURU, et al. 1998; GATTI, et al. 2004) consideram que o conhecimento de aspectos de História da Ciência torna-se importante principalmente para o professor que pode primeiramente compreender melhor as concepções do aluno e, em seguida, direcionar suas ações para a superação das concepções alternativas. Entendemos, dessa forma, que a História da Ciência torna-se uma ferramenta a mais para o professor exercer com qualidade seu trabalho em sala de aula.

A segunda possibilidade considera importante a História da Ciência no ensino de ciências com objetivo de melhor compreensão, tanto pelo aluno quanto pelo professor, sobre o que vem a ser Ciência e sobre as formas como o conhecimento científico progride (MARTINS, 1990; BASTOS, 1998; MATTOS e HAMBURGER, 2004; GRECA e FREIRE JR., 2004). Entendemos, neste caso, que não somente a História da Ciência, mas também a Filosofia e a Sociologia da Ciência, contribuem para uma melhor compreensão sobre a natureza da ciência, o que é retratado principalmente na tendência de reestruturação dos currículos de ciências, apontando para a necessidade de inserção de discussões a respeito de Concepções da Natureza da Ciência (CNC) (BRASIL, 2002).

Neste sentido, alguns trabalhos sugerem que discussões a este respeito podem surgir quando se utiliza a História da Ciência no ensino de ciências com o objetivo de contextualizar historicamente o conhecimento científico. Nesta perspectiva, Gagliardi e Giordan defendem que “a História da Ciência pode mostrar em detalhes alguns momentos de transformação profunda da ciência e indicar quais foram as relações sociais, econômicas e políticas que entraram em jogo, quais foram as resistências à transformação e que setores trataram de impedir a mudança” (1986, p. 56).

Quanto à Filosofia da Ciência, Silveira e Peduzzi (2006) consideram a busca por uma epistemologia mais rica da Ciência uma motivação para a inserção desses aspectos no ensino de ciências. Nesse sentido, os autores apontam que a Filosofia Contemporânea da Ciência “abre imensas e ainda pouco exploradas vias para uma interpretação mais realista e humana da história do conhecimento científico” (SILVEIRA e PEDUZZI, 2006). A esta possibilidade está associada também uma consideração de aspectos de Filosofia de Ciência que se utiliza da História da Ciência, ora descrevendo de que forma o conhecimento progride, ora normalizando como acontece esse progresso.

A intenção de aproximar a Ciência dos interesses culturais, éticos e sociais,

assim como compreender a ciência como uma invenção humana, remete para o ensino uma discussão atual na Sociologia da Ciência. Este novo campo, na interpretação de Stengers (2002, p. 11), “questionaria toda separação entre ciência e sociedade”. Nesse sentido, interpretamos que se pretende no ensino buscar uma concepção mais rica da natureza da ciência, o que também exige que se busquem relações com a sociologia.

Contextualizar historicamente o conhecimento científico, aproximá-lo dos interesses éticos, culturais e sociais e buscar uma epistemologia mais rica da ciência são algumas das finalidades pelas quais se pretende a inserção de aspectos de HFSC no ensino de ciências na educação básica e superior. Além disso, para que todas essas finalidades se concretizem não é possível deixar de mencionar a importância da HFSC na formação dos professores de ciências, pois qualquer reforma no currículo afeta diretamente o trabalho do professor, sendo que o sucesso dessa reforma depende da maneira com que estes professores se relacionarão com este novo currículo. Dessa forma, a inserção da HFSC também é apontada como necessária na formação dos professores, seja ela inicial ou continuada (MARANDINO, 2003; MELLADO et al., 2006).

Apesar da importância da discussão sobre as Concepções da Natureza da Ciência, tanto para futuros professores quanto para futuros cientistas, este assunto é pouco abordado nos nossos cursos superiores. Teixeira e Freire Jr. (1999) assinalam que tanto a História da Ciência, quanto a Filosofia da Ciência e, principalmente, a Sociologia da Ciência são conteúdos pouco abordados nos cursos universitários brasileiros. Na maior parte das vezes, são abordados somente em uma disciplina, sendo que algumas vezes até em caráter optativo, o que por sua vez reforça a necessidade de uma reforma urgente nos cursos de formação de professores de ciências. Tanto que alguns trabalhos têm relatado a deformidade das concepções dos professores sobre o processo de construção do conhecimento científico que, quase sempre, reflete uma visão de ciência empírico-indutivista (GIL-PEREZ, et al., 2001; MEDEIROS e BEZERRA FILHO, 2000; PRAIA, et al., 2002), sendo que esta visão é apontada por alguns professores, como relata Duarte (2004), como sendo consequência de sua formação.

Harres (1999), em uma revisão bibliográfica, ressalta a importância da discussão sobre as Concepções da Natureza da Ciência para o professor, defendendo que estas discussões terão consequências em suas práticas pedagógicas. De acordo com Delizoicov (1996), o processo de construção do conhecimento científico pode se tornar um instrumento a mais no processo educativo em que não basta ao professor somente dominar

o conteúdo. Antes disso, Matthews (1995) já nos alertava sobre a omissão de uma posição em relação à natureza da ciência nas diretrizes curriculares e nos currículos, nos livros didáticos e teóricos da educação, apesar de que esta posição pode afetar o comportamento do professor em sala de aula.

À falta de preparo dos professores soma-se ainda a falta de material de qualidade disponível que, somada à intensa busca de material ocasionada pela recomendação, tanto de pesquisas, quanto da legislação vigente, têm resultado em outra grave consequência: a produção de material de baixa qualidade, tanto no que se refere à Filosofia da Ciência quanto à História da Ciência o que, por sua vez, poderia auxiliar o professor na mudança desta concepção, mas acaba por transmitir a mesma concepção, perpetuando assim um ciclo vicioso.

Além disso, a concepção de ciência empírico-indutivista, assim como de seu progresso, tratado como cumulativo, linear e neutro, transparece até mesmo nos livros didáticos (NEVES, 1998; ROBILOTA, 1988), nos quais pode-se constatar uma supervalorização do conteúdo, em detrimento de sua contextualização histórica e filosófica. Na maior parte destes livros, via de regra, a subdivisão dos tópicos é feita como se as teorias científicas tivessem sido criadas independentemente uma da outra. Quando muito, estes livros acrescentam, no início de seus capítulos, notas sobre alguns poucos cientistas que contribuíram para o desenvolvimento daquele assunto o que, na prática, significa muito mais um desserviço ao ensino de ciências, já que perpetua a idéia do cientista como um ser humano brilhante, genial, e de ciência como descoberta.

Kuhn ressaltou que todos nós já nos expomos “à idéia do cientista como o investigador sem preconceitos em busca da verdade; o explorador da natureza – o homem que rejeita preconceitos quando entra no laboratório, que coleciona e examina fatos crus, objetivos, e que é fiel a tais fatos e só a eles” (2003, p.53). Sobre a tarefa do cientista que grande parte das pessoas tem em mente, Kuhn ainda conclui, “ser científico é, entre outras coisas, ser objetivo e ter espírito aberto” (2003, p. 53).

Neste sentido, Martins (2001), em um ‘manifesto historiográfico’, aponta erros comuns que deveriam ser evitados por aqueles que desejam escrever sobre história da ciência, já que a “história da ciência não é feita simplesmente de opiniões, repetições e boatos, ela é desenvolvida a partir do estudo de documentos” (p. 115). O resultado desses boatos é que eles acabam se perpetuando ao serem contados como se fossem verdades, transmitindo uma falsa idéia do trabalho do cientista, assim como do progresso da ciência.

Podemos citar, por exemplo, a história de como Arquimedes descobre a falsa coroa do rei, como cita Martins, “além de ser historicamente sem fundamento, essa história passa uma visão falsa sobre Arquimedes e sobre a ciência em geral. Dá a impressão de que a ciência evolui por acidentes, e que Arquimedes nada mais foi do que uma pessoa esperta e excêntrica” (2000a, p. 120).

No entanto, Martins (2000b) verificou que o trabalho do pesquisador, tanto em História quanto em História da Ciência, tornou-se mais ágil com a informatização das bibliotecas, o advento da internet e a digitalização de trabalhos históricos, assim como sua disponibilização, o que, por sua vez, pode vir a facilitar o trabalho do historiador na produção de material de melhor qualidade. Além disso, menciona o número de programas de pós-graduação que considera ainda insuficiente no país para atender a toda demanda, configurando uma situação em que a área não é muito reconhecida e ainda não possui uma identidade, porém, que tende a crescer nos próximos anos.

1.2. O “paradigma da inserção” da HFSC no ensino de Ciências

Apesar destas dificuldades, transpira na literatura a esperança de que o uso da História, Filosofia e da Sociologia da Ciência possa contribuir para a melhoria do ensino de ciências. Para Matthews (1995), as iniciativas de inserção da HFSC no ensino de ciências são bastante convenientes, pois contribuem para lidar com a atual crise no ensino contemporâneo de ciências, já que,

podem humanizar as ciências e aproximá-las dos interesses pessoais, éticos, culturais e políticos da comunidade; podem tornar as aulas de ciências mais desafiadoras e reflexivas, permitindo deste modo, o desenvolvimento do pensamento crítico; podem contribuir para um entendimento mais integral da matéria científica, isto é, podem contribuir para a superação do ‘mar de falta de significação’ que se diz ter inundado as salas de aulas de ciências, onde fórmulas e equações são recitadas sem que muitos cheguem a saber o que significam; podem melhorar a formação do professor auxiliando o desenvolvimento de uma epistemologia da ciência mais rica e mais autêntica, ou seja, de uma maior compreensão da estrutura das ciências bem como do espaço que ocupa no sistema intelectual das coisas (1995, p. 165).

Ou seja, os pesquisadores na área, de um modo geral, acreditam que a HFSC desempenha um importante papel na melhoria do ensino de ciências, mais precisamente no que se refere ao combate de uma suposta crise deste ensino. Chamamos atenção, portanto, para a preocupação geral, na literatura, em definir quais são as finalidades de inserir a HFSC no ensino de ciências. Os pesquisadores descreverem dimensões da Ciência

referentes ora à História, ora à Filosofia, ora à Sociologia, que, segundo nossa interpretação, sugerem um modelo para a Ciência no qual não é possível compreendê-la senão quando as relações HFSC são consideradas como inseparáveis da própria Ciência. Logo, quando se estas dimensões fossem evidenciadas no ensino de ciências, proporcionariam uma abordagem mais rica e completa em Ciência que, por sua vez, garantiria um ensino de melhor qualidade e mais provido de significado, principalmente para os alunos, superando a tão difundida crise.

Neste sentido, apesar de estes trabalhos deixarem implícita a necessidade de uma abordagem da Ciência, na sala de aula, que considere a relação intrínseca entre História, Filosofia, Sociologia e Ciência, eles não têm conseguido ainda influenciar para que se produza uma prática condizente, no ensino de Ciências. É como se houvesse, nos próprios trabalhos de pesquisa, de um lado, um discurso que ressoa com uma perspectiva teórica abrangente e promissora, e, de outro lado, uma prática anunciada que não consegue deixar ainda de ressoar com a realidade atual do ensino de Ciências.

De fato, o ensino de Ciências é pautado atualmente somente pela transmissão dos produtos das descobertas científicas geniais, bem como dos produtos resultantes de suas tecnologias. Isto quando muito, pois, na maior parte das vezes, este ensino resume-se apenas a decorar inúmeras fórmulas, leis, enunciados, teorias, conceitos e significados¹ quase sempre sem sentido para os alunos, e resolver imensas listas de exercícios que no mais das vezes também se resumem a apenas aplicar aquelas fórmulas aprendidas.

Como bem apontou Carvalho, “o caráter excessivamente informativo desse ensino evidencia que ele está se prestando à manutenção de determinada idéia de autoridade da ciência entre os alunos, o que na prática funciona como elemento de alienação, uma vez que instâncias da vida social, como a política e a econômica, utilizam tal autoridade como meio de conquista de poder” (2005, p. 7). Ou, o que convencionaremos chamar aqui, o atual ensino de ciências na educação básica, principalmente, mas não exclusivamente, tende a manter o *status quo* da situação de opressão vivida pela sociedade moderna, devido à alienação à ciência e à tecnologia e à sua autoridade perante a tomada de decisões.

A desconsideração das relações entre HFSC e a Ciência, na prática do ensino de ciências, por sua vez, sugere um modelo de Ciência compartimentalizado, no qual as

1 Swift (1988, citado por MATTEWS, 1995) apontou que mais de 1400 conceitos de biologia deveriam ser aprendidos em um ano.

dimensões pertencentes à HFSC são externas, artificiais. Neste caso, consideramos que a maneira como os trabalhos científicos sugerem a inserção, no ensino de ciências, da HFSC, considera a Ciência apenas como os produtos das descobertas científicas geniais, bem como dos produtos resultantes de suas tecnologias, ao passo que à HFSC cabe dar conta do contexto tanto da descoberta, como da justificativa. A esse modelo que reconhecemos na literatura chamaremos de o “paradigma da inserção da HFSC no ensino de ciências”.

Contudo, o paradigma da inserção parece contribuir efetivamente para algumas melhorias neste ensino ao cobrir algumas lacunas, alguma ‘falta’, um ‘defeito’ deste ensino. Por outro lado, ele nos dá uma idéia de artificialidade no seu ensino, itens não obrigatórios, dispensáveis ao ensino – como se não fosse objetivo do ensino de ciências proporcionar ao estudante uma visão mais completa sobre ciência – como se fosse um atrativo a mais no ensino.

Desta forma, interpretamos que estas pesquisas apenas admitem que as discussões a respeito das Concepções da Natureza da Ciência podem contribuir para melhorar o ensino de ciências e que essas discussões podem ser alcançadas com a inserção de aspectos de HFSC no ensino de ciências, justificando assim essa inserção. Entendemos que, nessa perspectiva, a HFSC torna-se um ‘adorno’ para as aulas de ciências, ou mesmo um conteúdo a mais que o professor deva dominar para exercer plenamente sua função. Diante desse quadro não nos parece que as pesquisas esgotaram a compreensão desta relação.

Pretendemos com este trabalho fazer uma inversão no modo como é feita a justificativa para a inserção de aspectos de HFSC no ensino de ciências. Ou seja, pretendemos construir argumentos em favor da inserção HFSC no ensino de ciências não como resultado de uma prática educativa que se tem mostrado efetiva, concebendo estas relações de forma separada, mas em favor da concepção da inseparabilidade entre as diferentes dimensões da Ciência que devem ser resgatadas no ensino de ciências, ou em favor de um modelo no qual não é possível a compreensão da Ciência sem suas outras dimensões.

Ou mesmo, não queremos argumentar em favor da inserção da HFSC no ensino de ciências, mas argumentar em favor de uma educação de qualidade, adequada às necessidades de formação do indivíduo contemporâneo, preocupada com as necessidades da sociedade ou, dito de outra forma, uma educação preocupada com a formação do indivíduo ‘para o pleno exercício da cidadania’ o que deve, acreditamos, inevitavelmente

incluir aspectos de HFSC no ensino de ciências. Dessa forma, a ligação entre HFSC e o ensino de ciências não seria mais artificial para as aulas de ciências e sim parte de um projeto educacional engajado com a tão difundida formação do cidadão, que para nós deve ser crítica.

Concordamos com Zanetic (1999) que esse tipo de abordagem “favoreceria a construção de uma educação problematizadora, crítica, ativa, engajada na luta pela transformação social” (p. 55). No nosso caso, queremos dar destaque para o ensino de mecânica.

1.3 A Natureza da Ciência e o Ensino de Mecânica

Normalmente os alunos são introduzidos à Mecânica Clássica juntamente com seus conceitos de movimento, força e referencial num contexto que sugere que ela é pronta e acabada, resultado da criação, ou melhor, fruto da descoberta de um único e brilhante cientista, uma teoria verdadeira que não sofreu resistências aos seus conceitos, de modo que a única coisa que lhes resta é adaptar-se a uma “verdade absoluta”². Como consequência desta forma de ensino, algumas pesquisas utilizam-se desse argumento para justificar a introdução da física moderna e contemporânea (FMC) na educação básica.

Ostermann e Moreira, em uma revisão bibliográfica a respeito da introdução de conteúdos de FMC na educação básica, identificaram entre as justificativas que (citando GIL-PEREZ et. al., 1987) “o ensino de FMC a alunos secundaristas reveste-se de grande importância, uma vez que a introdução de conceitos atuais de Física pode contribuir para dar uma imagem mais correta desta ciência e da própria natureza do trabalho científico. Esta imagem deve superar a visão linear, puramente cumulativa do desenvolvimento científico” (2000), e que, (citando AUBRECHT, 1989) “o uso de tópicos de FMC pode permitir que o professor mantenha ou até mesmo desperte o interesse pelas ciências que as crianças trazem para a escola”.

Estes trabalhos servem no mínimo como um diagnóstico sobre o ensino de mecânica clássica ou como um alerta para que os pesquisadores passem a olhar de maneira mais cuidadosa para este tópico no ensino de física, já que ele não necessariamente

2 Um trabalho interessante (BAPTISTA e FERRACIOLI, 1999) faz uma descrição sobre como conceito de movimento evoluiu ao longo dos anos, desde os pré-socráticos até Aristóteles. Outro trabalho (PEDUZZI, 1996) aponta para a possibilidade de utilização da teoria aristotélica do movimento como uma forma de mudar as concepções alternativas dos estudantes sobre força e movimento.

precisaria desinteressar o aluno ou transmitir uma idéia de ciência incorreta. O ensino de mecânica clássica pode ser utilizado para despertar o interesse dos alunos: basta que ele seja tratado adequadamente, tomando-se os devidos cuidados.

Como reflexo deste estado de coisas, os professores de Física, durante suas aulas no Ensino Médio, sequer procuram evidenciar o fato de que cada uma de suas afirmações são repetições de afirmações do autor de um texto (na maioria das vezes, o livro-texto), ou então são afirmações próprias, sobre tais textos. Agindo assim, não levam em consideração que “tudo que é dito, é dito por alguém” (MATURANA E VARELA, 2001) e abrem espaço para que os alunos também se omitam de dizer coisas “por eles mesmos”. Da mesma forma, os livros-texto restringem-se ao tratamento das idéias da corrente hegemônica da Ciência, que certamente não representa a única maneira de pensar sobre ciência, mas que propaga uma idéia distorcida do trabalho da Ciência e do cientista.

Além disso, como constataram Borges e Amantes, alguns dos conceitos básicos para o entendimento da mecânica clássica são ensinados de maneira a deixar implícito seu significado através da resolução de problemas de aplicação daqueles conceitos, resultando em uma impossibilidade de explicitação do seu entendimento, “os estudantes, em geral, não conseguem explicitar o conceito de sistema de referência ou referencial com clareza; valem-se de concepções erradas ou descrevem de forma a deixar poucas evidências de como é realmente seu entendimento. Mas eles têm mais sucesso em expressar o que entendem por movimento relativo” (2003, p. 09).

Esses conceitos não são nem um pouco triviais, como apontou Garcia (2002), mas são essenciais para o entendimento da mecânica, e concordamos com Amantes e Borges, para quem não podemos abdicar dos entendimentos dessas idéias e da formalização da mecânica. Devido a isso eles apontaram, em outro trabalho, para

a necessidade de outras estratégias para aprendizagem de conceitos mais teóricos, no sentido de possibilitar ao estudante um entendimento que não se restringe à habilidade em lidar com situações problemáticas, mas que o torne capaz de extrapolar o significado procedural desses conceitos; é preciso que a aprendizagem não se limite a elementos diretamente perceptíveis, mas que tenha uma abrangência suficiente para possibilitar aos estudantes entender conceitos mais elusivos de maneira abstrata e mais próxima da concepção científica (AMANTES; BORGES, 2005, p. 11).

Uma das estratégias apontadas para o entendimento dos conceitos mais teóricos é a realização e a compreensão de experimentos históricos definidos por Paula e Laranjeira como “aqueles experimentos realizados e/ou pensados, experiências de pensamento

(“Gedankenexperimente”¹) em um dado contexto histórico e que tiveram um papel significativo na elaboração, definição e/ou solução de um dado problema” (2005, p. 02). Concordamos com Paula e Laranjeira (2005, p. 09) que o uso destes experimentos não se dá somente na ordem da motivação nas aulas de física, mas desempenha um papel fundamental no ensino, pois contribui para entender a prática empírica como uma dimensão do conhecimento científico, e desempenha um papel fundamental tanto no desenvolvimento da teoria como na eliminação de uma ou outra espécie.

1.4 Definição do terreno de pesquisa: A Experiência do Balde de Newton

Um experimento histórico que teve um importante papel no desenvolvimento dos conceitos de referencial e movimento (relativo e absoluto) é descrito por Newton no seu Principia. Logo no início do livro "Princípios Matemáticos da Filosofia Natural", Newton (2002) propõe uma experiência que, embora seja muito simples de ser visualizada, é difícil de ser explicada. Tal experiência é conhecida pelo nome de “Experiência do Balde de Newton”, em homenagem ao seu idealizador. A Experiência do Balde de Newton é de fácil realização, mas de difícil compreensão, sendo que também existe controvérsia quanto à sua explicação dos conceitos envolvidos no fenômeno (ASSIS, 1997 e 1998; GARDELLI, 1999; NEVES, 2000 e 2005; ASSIS e PESSOA JR., 2001; ASSIS e ZYLBERSZTAJN, 2001). Tais conceitos são fundamentais na compreensão da mecânica clássica, porém nem sempre são tratados com a devida importância no ensino médio ou até mesmo superior, negando ao estudante a oportunidade de pensar sobre a teoria, questioná-la e assim compreender suas limitações.

De acordo com o Assis (1997), a Mecânica Clássica consegue explicar os fenômenos envolvidos nesta experiência, mas, para isto, necessita utilizar o conceito de espaço absoluto. O autor defende que é possível explicar esta experiência sem utilizar a idéia de espaço absoluto, incluindo-se para isto o referencial dos corpos astronômicos distantes, como apontou Ernst Mach, e foi isso que ele tentou desenvolver em sua Mecânica Relacional.

Segundo Assis, a Mecânica Relacional “é uma nova mecânica que implementa as idéias de Leibniz, Berkeley, Mach e muitos outros” (1998, p. xvii), na qual não existem grandezas absolutas, como na Mecânica Clássica, tais como espaço ou tempo. Ele acredita que “apenas quando comparamos esta nova mecânica com a newtoniana, passamos a ter

uma compreensão clara destes antigos conceitos” (1998, p. xvii). Essa é uma observação importante, pois, no atual ensino de mecânica, não se costuma dar muita atenção a essas sutilezas, tomando como básico e fácil esses conceitos, que nada têm de simples. Esta nova visão da Mecânica permite observar um fenômeno Físico de maneira diferente: "após compreender a mecânica relacional entramos num novo mundo, enxergando os mesmos fenômenos com olhos diferentes e sob uma nova perspectiva" (1998, p. xviii).

Como uma forma de expor o estudante a uma nova forma de pensar, na qual a Ciência não é tratada como pronta e acabada, concentraremos nossos esforços na realização da Experiência do Balde de Newton com alunos do ensino médio de uma escola pública e na compreensão dos principais conceitos físicos envolvidos: a relatividade do movimento e os seus referenciais.

A idéia de se utilizar essa experiência é a de também dar continuidade a um trabalho de iniciação científica (CUNHA, 2005) desenvolvido durante o curso de graduação, o qual também levamos para apreciação dos alunos do ensino médio de uma escola pública, durante o estágio supervisionado.

Constatamos que a Experiência do Balde de Newton possui um potencial muito grande de aprendizagem para os alunos, ao considerar as principais idéias da mecânica. Por um lado, porque proporciona aos alunos um desconforto muito grande quanto à explicação (ou à falta dela) para as causas do fenômeno físico envolvido e, por outro lado, porque proporciona aos alunos e ao estagiário (ou professor) a possibilidade de um diálogo mais verdadeiro e democrático, possibilidade que, muitas vezes, é negada a esses estudantes (CUNHA e CARVALHO, 2005), sendo que, na medida em que este tipo de diálogo avança há um envolvimento maior por parte dos alunos na compreensão da problemática e na apropriação dos questionamentos que, de início, eram somente por uma das partes (CUNHA e CARVALHO, 2007).

Além disso, esse trabalho sugeriu a discriminação de alguns aspectos para que os alunos avancem na compreensão da problemática explicação do fenômeno, “chegando possivelmente a se apropriar do questionamento principal, o que significaria formular estas questões de uma própria maneira” (CUNHA e CARVALHO, 2007). Os aspectos a que se refere, e que são potencialmente abordados nessa experiência seria explorar, com os alunos, a possibilidade de o movimento de um corpo (acelerado e/ou não-acelerado) ser descrito de forma diferente por diferentes referenciais; um segundo seria explorar as possíveis causas do movimento acelerado, considerando a idéia de interação entre corpos;

e um terceiro seria propor aos alunos a apreciação da idéia de que, mesmo no caso de referenciais não-inerciais, é possível conceber os movimentos (cinemática) e suas causas (dinâmica) como categorias do pensamento físico que são independentes uma da outra. Essa consideração representaria um avanço no sentido de deixar de tratar a cinemática e a dinâmica como conteúdos estanques, como é normalmente feito tanto no ensino médio como no ensino superior (CUNHA e CARVALHO, 2005).

Sendo assim, neste trabalho analisamos uma situação de ensino na qual os alunos são expostos à realização da “Experiência do Balde de Newton” com o objetivo de se apropriarem dos questionamentos tidos como essenciais para o desenvolvimento e compreensão daquela teoria. Analisamos o processo de apropriação desses questionamentos pelos alunos. Para tanto, repensamos o ensino de Mecânica Clássica a partir das considerações de seus conceitos fundamentais sobre a questão dos Referenciais (inerciais e não-inerciais), Movimento (absoluto ou relativo) e Força. Constituímos para isso inúmeras instâncias de diálogos, entre professor e alunos, sobre a experiência do balde de Newton, envolvendo aspectos fenomenológicos e interpretativos, procurando definir quais as situações que permitem ao aluno contemplar a cinemática e a dinâmica de modo não estanque.

Consideramos que nesta situação de ensino os alunos são expostos a uma nova concepção de ciência onde a mecânica clássica, juntamente com os conceitos de movimento e referencial, é percebida de forma não acabada e considerada como uma verdade absoluta. Essa concepção vai ao encontro do que as pesquisas sobre a inserção de aspectos de História, Filosofia e Sociologia da Ciência pretendem com essa inserção.

1.5 Objetivos de Pesquisa

Nosso objetivo de pesquisa foi analisar a possibilidade de problematização sobre a concepção da natureza da ciência através da Experiência do Balde de Newton. Nossa questão de pesquisa é: como acontece, se acontece, a problematização sobre a concepção da natureza da ciência através da Experiência do Balde de Newton?

Para explorar melhor nossa questão, elaboramos outras questões gerais: os estudantes apropriam-se dos questionamentos feitos pelos cientistas sobre a Experiência do Balde de Newton? De que maneira ocorre a apropriação desses questionamentos? De que maneira a apropriação desses questionamentos contribui para a problematização da

concepção da natureza da ciência?

Ao final do trabalho esperamos que nossa pesquisa some-se às pesquisas em favor da inseparabilidade da HFSC no ensino de ciências. Esperamos contribuir oferecendo à área de pesquisa instrumentos teórico-práticos que possibilitem aos pesquisadores e professores a superação do paradigma da inserção. A importância deste trabalho reside em uma nova abordagem para os aspectos de HFSC no ensino de ciências e esperamos contribuir para dar novos rumos para a sua finalidade no ensino, o que, por sua vez, pode vir a contribuir para melhorar o ensino de física na educação básica. Nesse sentido, a contribuição que esperamos dar ao ensino de física é uma nova finalidade da qual acreditamos deva fazer parte a HFSC.

2. TEORIA CRÍTICA, EDUCAÇÃO E CIÊNCIA

A necessidade deste capítulo faz-se para compreender e complementar a justificativa para a concepção de inseparabilidade dos aspectos da HFSC no ensino de ciências que argumentamos ser artificial em alguns momentos. Para que esta artificialidade seja trabalhada seria preciso uma concepção de educação coerente com a proposta da inseparabilidade destes aspectos. Portanto, neste capítulo, constituir-se-á a nossa concepção de Educação e o que dela faz parte, assim como seus objetivos e seus métodos. Ou seja, queremos situar o leitor ‘de onde estamos falando’, a fim de que ele possa compreender nossa proposta.

Considerando esses objetivos explicitados acima, não se faz necessário justificar a utilização, neste capítulo, da obra do educador Paulo Freire como principal referente teórico, pois, muito embora sua obra tenha sido direcionada principalmente para a Educação de Jovens e Adultos (EJA), havia nela uma concepção de educação não somente restrita a essa modalidade, e que acreditamos ser coerente com a concepção de inseparabilidade de aspectos de HFSC no ensino de ciências. Assim sendo, buscamos uma aproximação entre a pedagogia que Freire chamou dialógico-problematizadora e o ensino de ciências, ou seja, buscamos estender para o campo da Educação Científica a concepção dialógico-problematizadora da Educação.

Ensino de ciências que não resuma seus conteúdos aos resultados da Ciência, transmitindo saberes descobertos, fazendo comunicados. Ao contrário, estamos idealizando uma educação dialógica, na qual educador-educando e educando-educador comunicam-se através de uma relação horizontal, uma educação que problematiza a Ciência. Nesse sentido, essa educação científica seria aquela para o que Freire veio chamar de homem-sujeito, o homem que pensa, decide, examina, critica, responde, transcende. A busca pelo homem-sujeito implica em algum momento uma opção “entre uma educação para a ‘domesticação’, para a alienação, e uma educação para a liberdade. ‘Educação’ para o homem-objeto ou uma educação para o homem-sujeito” (FREIRE, 2000, p. 44). A essa educação, que “desvestida das roupagens alienadas e alienantes, seja uma força de mudança e de libertação” (2000, p. 44), Freire chamou de educação como prática da liberdade e a sua pedagogia, como pedagogia dialógico-problematizadora.

Por isso, argumentamos no primeiro capítulo que os trabalhos nos quais existe uma argumentação em favor da inserção da História, Filosofia, e Sociologia da Ciência não

nos satisfazem. Dessa forma é que pretendemos, neste capítulo, argumentar em favor da afirmação de que uma educação que se propõe ser educação para o homem-sujeito pressupõe um resgate das dimensões da Ciência correspondentes à HFSC, de modo que seu ensino não se torne artificial.

2.1 O processo de humanização

No prefácio da primeira edição de seu primeiro livro publicado sobre sua pedagogia, em 1965, por ironia do destino, fora do país, devido ao período de exílio, Paulo Freire esclarece ao leitor que se empenhou na busca pelo homem-sujeito (FREIRE, p. 44, 2000). O homem-sujeito freiriano não nasce sujeito, nem tampouco ganha a humanização tornando-se homem-sujeito. Por outro lado, se o homem não nasce sujeito, ele também não se torna sujeito, no sentido que, uma vez se torne sujeito, sempre se mantém sujeito.

A **humanização** pressupõe uma constante luta com o que Freire chamou de forças opressoras (2000, p. 44) – forças estas que sempre irão agir no sentido da desumanização, no sentido de tirar do homem aquilo que lhe caracteriza: as relações que ele trava no mundo com o mundo. Essas relações características que o homem estabelece no mundo e com o mundo são, segundo Freire (2000, p. 47), de quatro tipos: pluralidade, criticidade, transcendência e temporalidade.

Aos diferentes desafios propostos ao homem, diferentes respostas são dadas. Por outro lado, um mesmo desafio é passível de mais de um tipo de resposta humana. Essa **pluralidade** de respostas, segundo Freire (2000, p. 48), só é característica das esferas puramente humanas. Mesmo que certo animal responda a um desafio, na maior parte dos casos, trata-se de uma resposta instintiva, mecânica, desprovida de reflexão.

Além disso, as relações humanas com o mundo contêm também o que ele chama de **criticidade**, já que, ao captar os dados da realidade objetiva, o homem fornece não uma resposta, mas a melhor resposta, ou, pelo menos, aquela na qual ele acredita que seja a melhor. Ou seja, há uma reflexão diante dos dados antes de se fornecer a resposta, ao contrário dos animais que fornecem uma resposta reflexa. Esta resposta é crítica porque existe no homem a intencionalidade de transformação diante da realidade (FREIRE, 2000, p. 48).

A outra característica das relações das esferas humanas, segundo Freire (2000, p. 48), é **transcendência** no sentido da distinção do 'eu' com um 'não-eu', mas também no

sentido da conclusão da finitude do homem, ou seja, do ser inacabado que é. O homem, e somente ele, é capaz de se projetar, tanto no espaço – discernindo entre a realidade objetiva e a realidade subjetiva – e no tempo – ultrapassando o ontem e objetivando-se no amanhã, que é a temporalidade.

Também a **temporalidade** é característica da esfera humana que se encontra na raiz do “ato de discernir porque existe e não só vive”. Segundo Freire (2000, p. 49) existir é diferente de viver: é mais que viver. Muito embora existir seja individual, só se pode existir em sociedade. A temporalidade está presente na consciência que o homem tem de que não é um ‘eu’ somente do presente, mas, e sobretudo, foi um ‘eu’ no passado e consegue objetivar-se um ‘eu’ no futuro. É importante lembrar que a existência temporal do homem não está só no mundo, mas com ele, pois, da mesma maneira, o homem “herda, incorpora, modifica, porque não está preso a um tempo reduzido a um hoje” (2000, p. 49).

Essas características são exclusivas do homem, que é capaz de estabelecer relações no mundo com o mundo, “não se reduzindo tão somente a uma das dimensões que participa – natural e cultural – a primeira pelo seu aspecto biológico e a segunda pelo seu poder criador, o homem pode ser eminentemente interferidor” (2000, p. 49). Esse último aspecto talvez seja o que mais caracteriza a ação humana – a transformação da realidade objetiva. A ação interferidora humana não se faz de modo reflexo, ela é reflexiva, ou seja, sua ação será precedida por uma prefiguração da realidade objetiva intencionada a modificá-la e adequá-la a ele, não o contrário.

Não é o homem que se acomoda à realidade, “enquanto o animal é essencialmente um ser de acomodação e do ajustamento, o homem é o da integração” (2000, p. 50). O homem não é um ser no mundo – é um ser no mundo com o mundo – “herdando a experiência adquirida, criando e recriando, integrando-se às condições de seu contexto, respondendo aos seus desafios, objetivando-se a si próprio, discernindo, transcendendo, lança-se o homem num domínio que lhe é exclusivo: o da História e o da Cultura” (2000, p. 49).

No entanto, a realidade objetiva também não se ajusta automaticamente ao homem – a realidade objetiva não tem vida própria – é ele que precisa modificá-la, ajustá-la, adequá-la àquilo que melhor lhe convém, “a realidade social, objetiva, que não existe por acaso, mas como produto da ação dos homens, também não se transforma por acaso. Se os homens são produtores desta realidade e se esta, na inversão da práxis, se volta sobre eles e os condiciona, transformar a realidade opressora é tarefa histórica, é tarefa dos

homens” (2002, p. 37).

Essa integração, no entanto, nem sempre é possível. Quando é tirada do homem a herança deixada pela humanidade, assim como sua capacidade de criar e recriar – integrar – deixa o homem de se humanizar – desumaniza-se, “a desumanização não é apenas uma viabilidade ontológica, mas uma realidade histórica” (2000, p. 51). Essa vem sendo a grande luta do homem, “a de superar os fatores que o fazem acomodado e ajustado. É a luta pela humanização, ameaçada constantemente pela opressão que o esmaga” (2000, p. 51).

Muito embora Freire argumente que “a vocação ontológica do homem é ser sujeito” (2000, p.44), essa vocação pode ser negada, em alguns momentos, produzindo o que ele chamou homem-objeto. Porém, a desumanização daqueles que têm sua humanidade roubada é também afirmada na própria negação. Além disso, essa desumanização “não se verifica apenas nos que têm sua humanidade roubada [oprimido], mas também, ainda que de forma diferente, nos que a roubam [opressor]” (2002, p. 30). Daí que Freire coloca que “humanização e desumanização, dentro da história, num contexto real, concreto e objetivo, são possibilidades dos homens como seres inconclusos e conscientes de sua inconclusão” (2002, p. 30).

A situação de opressão, da qual resulta a desumanização tanto do oprimido quanto do opressor não se desfaz de maneira simples, nem por qualquer um. Somente cabe ao oprimido, considerando que “ao buscarem recuperar sua humanidade roubada que é uma forma de criá-la, não se sentem idealisticamente opressor, nem se tornam, de fato, opressor dos opressores, mas restauradores da humanidade em ambos” (2002, p. 30). Ou seja, a libertação cabe aos oprimidos e não aos opressores – estes não querem sair desta situação. Porém, ao se libertarem da situação de opressão, os oprimidos se libertam, mas libertam também os opressores de modo que restaura a humanidade não somente neles, mas também nos opressores, “está aí a grande tarefa humanista e histórica dos oprimidos – libertar-se a si próprios e aos opressores” (2002, p. 30).

A libertação exige uma busca constante, como um bem a ser adquirido e não como uma doação a ser recebida, não se chega à liberdade por acaso “mas pela práxis de sua busca; pelo conhecimento e reconhecimento da necessidade de lutar por ela” (2002, p. 31). Entretanto, Freire nos adverte que o desejo dos oprimidos de lutar pela liberdade não é uma doação feita por alguém, “precisamos estar convencidos de que o convencimento dos oprimidos de que devem lutar por sua libertação não é doação que lhes faça a liderança

revolucionária, mas resultado de sua conscientização” (2002, p. 54). Conscientização que lhe fará enxergar a liberdade não como necessidade dos homens no mundo, mas como direito dos homens que estabelecem relações no mundo com o mundo. Conscientização “que lhe possibilita a inserir no processo histórico não mais como espectadores, mas como figurantes e autores” (2002, p. 24).

Eis, então, que Freire define o importante papel da educação em uma perspectiva humanista na sociedade, “expulsar esta sombra [da força da opressão] pela conscientização é uma das fundamentais tarefas de uma Educação realmente libertadora. E por isso respeitadora do homem como pessoa [sujeito]” (2000, p. 45). Freire agora traz à tona outro conceito que permeia toda sua obra: a conscientização. Para ele é através do processo educacional, respeitando o homem como um homem-sujeito, colocando-o como problema central deste processo, que ocorre a conscientização. Dessa forma, ele cria uma nova dimensão para o processo educacional, não mais centrado no aprendizado (decoreba) de fonemas (ou por que não fórmulas), mas propõe que se dialogue sobre o homem, sobre a condição do homem na sociedade, ou seja, ele propõe que se problematize o homem e sua cultura e que se dialogue sobre este problema. É neste sentido que a conscientização, a que não chegaram por acaso resulta da discussão sobre sua própria condição. Assim sendo, caberia à educação dialógico-problematizadora “que possibilitasse ao homem a discussão corajosa de sua problemática. (...) que o colocasse em diálogo constante com o outro” (2000, p. 67).

Eis a perspectiva da educação dialógico-problematizadora freiriana: problematizar a situação humana na própria educação – problematizar a própria condição em que se encontra o homem no mundo com o mundo, essa educação “que se impõe aos que verdadeiramente se comprometem com a libertação não pode fundar-se numa compreensão dos homens como seres ‘vazios’ a quem o mundo ‘encha’ de conteúdos. (...) mas a da problematização dos homens em suas relações com o mundo” (2002, p. 67).

Uma característica desta educação para a libertação é o diálogo. Mas não o diálogo vertical, autoritário, que faz comunicados, mas que não se comunica, não se conversa – na verdade um antidiálogo. O diálogo de que fala Freire (2002), um diálogo verdadeiro, é horizontal – de A para B e de B para A, sem privilegiar nenhuma das partes – um diálogo que se comunica, que conversa com alguém sobre alguma coisa, que fala e que ouve, que tem o direito de falar, mas que a dever de ouvir; “significa reconhecer-nos outros o direito de falar, que corresponde o nosso dever de escutar, com a convicção de quem

cumpra um dever e não com a malícia de quem faz um favor para receber muito mais em troca” (1982, p. 26).

Entretanto, entendemos a educação como uma expressão contraditória da sociedade capitalista que, por um lado, tende a manter e a reproduzir as ideologias dominantes e, por outro, é capaz de desvelar e negar essa ideologia com a sua confrontação com a realidade do educando; “daí a dificuldade que um educador dialógico tem de atuar coerentemente numa estrutura que nega o diálogo. Algo fundamental, porém pode ser feito: dialogar sobre a negação do diálogo” (2002, p. 62).

O diálogo, então, é a outra instância da proposta freiriana. Uma educação que se diz a serviço da liberdade não pode deixar de privilegiar o diálogo como instância primordial. Como problematizar a condição humana sem que se dialogue sobre a própria condição, ou mesmo sem que se dialogue sobre a negação do diálogo da condição humana? “Ao contrário da ‘bancária’, educação problematizadora, respondendo à essência do ser da consciência, que é sua intencionalidade, nega os comunicados e existência à comunicação” (2002, p. 67).

Para que esta educação dialógica-problematizadora se concretize em todas as suas concepções, considerando a situação humana do homem no mundo com o mundo, em busca de sua humanização e da humanização do mundo, herdando experiências, criando e recriando, interferindo e transformando a realidade objetiva, Freire propõe o debate sobre o conceito antropológico de cultura,

a distinção entre dois mundos: o da natureza e o da cultura. O papel ativo do homem em sua e com sua realidade. O sentido de mediação que tem a natureza para as relações e comunicação dos homens. A cultura como acrescentamento que o homem faz ao mundo que não fez. A cultura como o resultado de seu trabalho. Do seu esforço criador e recriador. O sentido transcendental de suas relações. A dimensão humanista da cultura. A cultura como aquisição sistemática de experiência humana. Como uma incorporação, por isso crítica e criadora, e não como justaposição de informes ou prescrições 'doadas'. A democratização da cultura – dimensão da democratização fundamental. O aprendizado da escrita e da leitura como uma chave que o analfabeto iniciaria a sua introdução no mundo da comunicação escrita. o homem afinal, no mundo e com o mundo. O seu papel de sujeito e não de mero e permanente objeto (2002, p. 116).

Ou seja, o papel de mediação do educando-educador e do educador-educando é feito pela problematização do conceito antropológico de cultura. A discussão sobre a cultura é o ponto de partida para a problematização do homem no mundo com o mundo na educação dialógica-problematizadora. Freire trouxe-nos uma perspectiva completamente nova ao colocar o conceito de cultura – dimensão exclusivamente humana – como o ponto

central do processo educativo, em que a problematização daquele conceito proporciona uma nova forma de olhar o mundo. Freire coloca-nos uma perspectiva da educação em busca de uma sociedade formada por homens-sujeitos, ou seja, homens que não estão apenas no mundo, adaptando-se ao que lhes é colocado. Ele quer uma educação para homens que vão além, em busca de ser-mais, homens que intervêm no mundo, homens que sabem, mas sabem, principalmente, que sabem pouco, e por saberem pouco sempre vão em busca de saber mais, pois,

“educar e educar-se, na prática da liberdade, não é estender algo desde a 'sede de saber', até a 'sede de ignorância', para 'salvar', com este saber, os que habitam nesta. Ao contrário, educar e educar-se, na prática da liberdade, é tarefa daqueles que sabem que pouco sabem – por isto sabem que sabem algo e podem assim chegar a saber mais – em diálogo com aqueles que, quase sempre, pensam que nada sabem, para que estes, transformando seu pensar em nada sabem em saber pouco, possam igualmente saber mais” (2002b, p. 25).

Ao problematizar a situação do homem no mundo, do homem e de sua adaptação no mundo, do homem e de sua intervenção no mundo, ou seja, do homem e de sua criação do seu mundo, o homem se faz sujeito. Além disso, Freire alerta para que a verdadeira educação só ocorre quando existe a intenção da busca por saber mais, “não vemos como conciliar a persuasão para a aceitação da propaganda com a educação, que só é verdadeira quando encarna a busca permanente que fazem os homens, uns com os outros, no mundo em que e com que estão, de seu Ser Mais” (2002b, p. 23).

2.2 A educação científica na proposta dialógica-problematizadora

Após estabelecer nossa definição de educação, bem como de sua finalidade e seus métodos, apoiados principalmente pela pedagogia dialógico-problematizadora freiriana, pretendemos estender estes conceitos para o campo específico da educação científica, de forma a definir também qual a finalidade desta modalidade de ensino, bem como seus métodos sempre amparados pela sua concepção de humanização e cultura. Entretanto, ao pensarmos na educação científica, estamos relacionando Educação e Ciência. Ou seja, um primeiro ponto que devemos esclarecer é que o entendimento de educação científica vai passar necessariamente pela concepção de ciência, assim como sua finalidade, seus métodos.

Muito embora muitas pessoas tenham uma concepção sobre ciência, não existe um consenso sobre o que vem a ser ciência, quais são seus métodos, se é que existe algum,

como seu conhecimento progride, se é por revoluções ou se é por acumulação, por exemplo. De qualquer forma, todos estes pontos não serão objetivos principais deste trabalho, mas acrescentaremos nossos entendimentos quando acharmos necessário para o entendimento do trabalho, já que uma discussão detalhada, tanto do entendimento sobre educação, quanto do entendimento sobre ciência, seria suficientemente grande para este trabalho. Para começar, vamos nos questionar um pouco sobre a educação científica para nos orientarmos no nosso referencial a ser seguido.

Se o que define a humanização são as relações que o homem estabelece no mundo com o mundo, de que forma o ensino de ciências tem favorecido ou não estas relações? Ou questionando de outra maneira: de que forma o ensino de ciências tem contribuído para a humanização do homem? Se o homem vive em constante luta pela humanização, em constante luta contra os fatores que os fazem acomodados – desumanos – como o ensino de ciências tem contribuído para que ele transforme a natureza e se integre ao invés de se acomodar?

Se a humanização se caracteriza pela pluralidade, por que o ensino de ciências se pauta pelo dogmatismo? Se a humanização se caracteriza pela criticidade, por que no ensino de ciências não se pode questionar? Se a humanização se caracteriza pela transcendência, por que esperamos que os estudantes aprendam? Se a humanização se caracteriza pela temporalidade, por que então a ciência que é ensinada nas escolas é desprovida de história? De que forma então o ensino de ciências poderia colaborar para privilegiar a pluralidade, a criticidade, a transcendência e a temporalidade?

Ao nos apropriarmos do conceito de humanização de Freire, assim como o das relações que o homem estabelece com o mundo no mundo, relações que o caracterizam, o conceito de desumanização e a situação real de opressão e sua realidade histórica, estamos convencidos de que, da maneira como a educação científica é tratada atualmente no ensino básico (e poderíamos dizer também no ensino superior), como dissemos anteriormente, pautada pelo 'aprendizado' de fórmulas, teorias, leis, enunciados que não possuem significação, tem-se prestado à desumanização do homem, à manutenção da situação de opressão do homem. Esta perspectiva aparece porque Freire nos dá uma nova dimensão para o conhecimento,

“Conhecer, na dimensão humana, que aqui nos interessa, qualquer que seja o nível em que se dê, não é o ato através do qual um sujeito, transformado em objeto, recebe, dócil e passivamente, os conteúdos que o outro lhe impõe. O conhecimento, pelo contrário, exige uma presença curiosa do sujeito em face do

mundo. Requer sua ação transformadora sobre a realidade. Demanda uma busca constante. Implica em invenção e em reinvenção. Reclama a reflexão crítica de cada um sobre o ato mesmo de conhecer, pelo qual se reconhece conhecendo e, ao reconhecer-se assim, percebe o 'como' de seu conhecer e os condicionamentos a que está submetido seu ato” (2002b, p. 27).

Neste sentido é que o conhecimento é puramente objeto da realidade humana. A ação de se adequar à realidade existente – acomodação – é característica das esferas animais, enquanto que a possibilidade de apreensão dessa realidade e sua posterior modificação para sua adequação à condição humana exige conhecimento, ou seja, o conhecimento torna-se necessário para que o homem não se acomode à realidade existente e para que ele a transforme e modifique sua forma. Neste caso, o conhecimento científico (o conhecimento físico) passa a ser uma ferramenta a mais no processo de apreensão da realidade,

“conhecer é tarefa de sujeitos, não de objetos. E é como sujeito e somente enquanto sujeito, que o homem pode realmente conhecer. Por isso mesmo é que, no processo de aprendizagem, só aprende verdadeiramente aquele que se apropria do aprendido, transformando-o em apreendido, com o que pode, por isto mesmo reinventá-lo; aquele que é capaz de aplicar o aprendido-apreendido a situações existenciais concretas” (2002b, p. 27).

A apropriação do conceito de educação dialógico-problematizadora freiriano leva-nos a questionar os moldes atuais do ensino de ciências e a maneira como vem sendo proposta (principalmente) e feita a inserção da HFSC no seu ensino. A afirmação de que o ensino de ciências tem-se prestado à desumanização do homem e à manutenção de opressão, à sua alienação, tem como base a caracterização freiriana de humanização, que se pauta em quatro pilares das relações que o homem estabelece com o mundo no mundo. Ou seja, se o ensino de ciências, de uma forma ou de outra, tem-se caracterizado de tal forma que proíbe o homem de estabelecer suas relações com o mundo, ele o está desumanizando ao domesticá-lo, ao destituí-lo de história. O ensino de ciências tem-se caracterizado pela proibição, prescrição – pela desumanização.

A primeira observação que fazemos é que o homem se caracteriza pela relação de pluralidade que estabelece com o mundo, relação esta caracterizada pelas diferentes respostas dadas ao mesmo desafio e a desafios diferentes. Pelo contrário, o ensino de ciências tem-se caracterizado pela singularidade de resposta. Não pode o estudante fornecer uma resposta que não seja aquela que de antemão o professor já sabe ao perguntar – só existe uma resposta correta para este problema.

Também o ensino de ciências, e não somente o ensino de ciências, este

somente segue o exemplo, mas podemos dizer toda a Ciência tem-se caracterizado pela singularidade. Não existe nem pode existir qualquer dúvida sobre qualquer fenômeno físico, por exemplo. Uma segunda interpretação sobre os fatos está terminantemente proibida sob o risco de 'matar a galinha dos ovos de ouro', ou sem falar na exclusão da comunidade científica (KUHN, 2003)³.

Já uma segunda relação que caracteriza o homem é a criticidade com que este é capaz de captar os dados da realidade objetiva pouco existente na educação científica tanto do ensino básico, quanto do ensino superior. Não só inexiste criticidade na educação científica como também esta educação desestimula qualquer resquício que houver ao transmitir os dogmas da ciência que há anos são transmitidos da mesma forma e da mesma maneira. Não há criticidade que resiste a um sem número de fórmulas que precisam ser decoradas para resolver um sem número de exercícios, não há criticidade que resista a um sem número de conceitos sem sentido com a realidade que precisam ser 'aprendidos' dentro de um curto espaço de tempo.

Como pode o ensino de ciências ser desprovido de história se o que caracteriza o homem também é sua temporalidade e sua transcendência? Ou seja, como pode o ensino de ciências humanizar se com o que ele se preocupa é em contar a história assim como ela não foi? A ciência que é feita pelos cientistas não é a mesma que se herda na educação científica. O legado científico deixado pela humanidade deixou de ser herdado na educação científica há tempos. Esta educação científica nada mais é que o produto pronto e acabado, por isto, desumanizante. A educação científica é desumanizante porque, ao invés de herdar, criar e recriar o legado científico, o estudante recebe um produto pronto acabado há séculos, formatado há décadas e repetido há anos. A este estudante, por sua vez, só cabe receber, quanto mais, melhor será. Assim,

“nestas relações do homem com o mundo, através de sua ação sobre ele, o homem se encontra marcado pelos resultados de sua própria ação. Atuando, transforma; transformando, cria uma realidade que, por sua vez, 'envolvendo-o', condiciona sua forma de atuar. Não há, por isto mesmo, possibilidade de dicotomizar o homem do mundo, pois que não existe um sem outro” (2002b, p. 28).

Este ensino é um ensino 'bancário', a serviço dos opressores. É comum atualmente os alunos saírem do ensino médio sem saber por que passou tanto tempo estudando física, química e biologia, por exemplo. Isto porque essas disciplinas não

3 Neves (2002) aponta alguns bons exemplos de como algumas outras interpretações científicas são mantidas longe da interpretação oficial.

fizeram nada mais que transmitir alguns conteúdos aos alunos na forma de comunicados: “Força é igual a massa 'vezes' a aceleração”; “um carbono, 'met', dois carbonos, 'et'...”; “Briófitas, pteridófitas, angiosperma e gimnosperma”. Ao sair do ensino médio o aluno pergunta-se várias vezes por que teve que aprender tudo aquilo, ao invés de utilizar todo o conhecimento 'herdado e adquirido', transformá-lo e utilizá-lo no cotidiano.

A educação para Freire, da qual compartilhamos, é aquela para o homem-sujeito e, portanto, não poderia ser diferente que a educação científica que pretendemos é aquela para o homem-sujeito. Mas qual seria esse homem-sujeito no ensino de ciências? E como seria então essa educação científica? Esse homem sujeito no ensino de ciências é aquele que herda, cria e recria e que transforma – aquele que se integra ao invés de se acomodar e de se ajustar. E nada mais óbvio que a educação científica para o homem-sujeito seja aquela problematizadora da situação humana no mundo com o mundo com que não se faz sem diálogo.

O diálogo na Ciência, do qual estamos falando, também tem que seguir aquele de que falou Freire, ou seja, aquele que não faz comunicados – um antidiálogo – mas sim comunica. Comunicação que prescinde a não existência de antemão de uma via privilegiada. A comunicação verdadeira em ciências é aquela em que se dialoga sobre problemas verdadeiros dos quais não se sabe a resposta e que são possíveis de se interpretar, sendo que estas interpretações podem ser conflituosas sem que haja demérito de uma das partes,

“O que se pretende com o diálogo não é que o educando reconstitua todos os passos dados até hoje na elaboração do saber científico e técnico. Não é que o educando faça advinhações ou que se entretenha num jogo puramente intelectualista de palavras vazias. O que se pretende com o diálogo, em qualquer hipótese (seja em torno do conhecimento científico e técnico, seja em torno de um conhecimento 'experimental'), é a problematização do próprio conhecimento em sua indiscutível relação com a realidade concreta na qual se gera e sobre a qual incide, para melhor compreendê-la, explicá-la, transformá-la” (2002b, p. 52).

Essa educação da qual estamos falando para favorecer o homem e sua ontológica vocação em ser sujeito deve estar a favor da liberdade e da libertação do homem, da sua humanização, ou seja, favorecer as possibilidades de estabelecer suas relações como o mundo. Isto significa que o ensino de ciências não pode se privar de inserir o homem no mundo da ciência, mas como sujeito, e não como um 'vaso' a que se deve "encher" de conteúdos, pois “o papel do educador não é o de 'encher' o educando de 'conhecimento', da ordem técnica ou não, mas sim o de proporcionar, através da relação

dialógica educando-educador, educador-educando, a organização de um pensamento correto em ambos” (FREIRE, 2002b, p. 53).

Inserir o homem no mundo da ciência, porém consciente do que aquilo significa. Consciente que a ciência é um empreendimento humano podendo estar a serviço da humanidade, o que não a impede de ser utilizada para outros fins, bélicos, por exemplo. Consciente dos produtos dos quais a humanidade se beneficia, consciente dos problemas que ela cria. Ou seja, consciente de algumas facetas deste empreendimento, já que não é possível conhecê-lo por completo.

Na educação científica da qual estamos falando, a ciência que se herda, ou se deveria herdar na escola, seria aquela mais próxima da ciência que é praticada pelos cientistas que, muito embora não exista um consenso sobre qual é ela, todos temos a certeza de que não é aquela praticada nas escolas. Aquela em que é possível que haja controvérsias, discussões. Aquela que se encontra em construção o tempo todo, na qual não existe uma verdade definitiva. Aquela na qual existe uma interferência mútua entre ciência e sociedade. Problematicar o homem e sua situação no mundo que ele criou – o mundo da cultura e da história – inclui problematizar a ciência como criação humana para desvelar os fatos que ali estão presentes. Compreender os fenômenos científicos que o cercam faz parte do homem que se pretende fazer homem-sujeito,

“a posição normal do homem no mundo, como um ser da ação e da reflexão, é a de 'ad-mirador' do mundo. Como um ser da atividade que é capaz de refletir sobre si e sobre a própria atividade que dele se desliga, o homem é capaz de 'afastar-se' do mundo para ficar nele e com ele. somente o homem é capaz de realizar esta operação, de que resulta sua inserção crítica na realidade. 'Ad-mirar' a realidade significa objetivá-la, apreendê-la como campo de sua ação para a reflexão. Significa penetrá-la, cada vez mais lucidamente, para descobrir as inter-relações verdadeiras dos fatos percebidos” (2002b, p. 31).

É por isso que acreditamos que a HFSC não só deveria ser inserida no ensino de ciências. Nossa posição, ao contrário, é que essas dimensões da Ciência deveriam ser resgatadas no ensino de ciências, como se houvesse um dia em que elas foram retiradas deste ensino. Ou seja, nossa posição é a de que a HFSC faz parte da Ciência e necessita ser resgatada no ensino de ciências. Assim, no nosso entendimento, os resultados que essa inserção nos traz não é uma novidade, pois o que ela sempre trouxe foi somente uma volta à significação desse ensino que, em algum momento, havia sido retirada.

Nesse sentido é que dissemos anteriormente que o que se diz sobre o ensino de ciência estar em crise não é atual. O ensino de ciências está em crise desde o momento que

não se ensina ciências – no sentido mais amplo de ciência – na escola, e sim se transmitem alguns resultados de suas descobertas feitas por algumas pessoas, sendo que na maior parte das vezes se destorce parte dessa descoberta.

3. A EXPERIÊNCIA DO BALDE DE NEWTON

Em 1687, Isaac Newton publicou o livro "Princípios Matemáticos da Filosofia Natural" (NEWTON, 2002), estabelecendo os princípios e leis da Mecânica que hoje chamamos de Mecânica Clássica ou Mecânica Newtoniana. Embora tenha sido criticada já no século 17, a hegemonia da Mecânica Newtoniana perdurou nos dois séculos seguintes, sendo testada e verificada inúmeras vezes, num período que Kuhn chamaria ciência normal. No entanto, no fim do século 19 e início do século 20, ela encontrou dificuldades para explicar alguns fenômenos, o que acabou ocasionando duas importantes revoluções científicas. Por um lado, a Mecânica Quântica, além de explicar os fenômenos que a antiga teoria explicava, ainda conseguiu explicar os fenômenos em escala atômica estendendo o campo de atuação da física clássica para pequenas dimensões, e, por outro, a Teoria da Relatividade estendeu esse campo para velocidades altas, próximas à velocidade da luz, no qual a Física clássica também falhava.

3.1 A Mecânica Newtoniana

O Principia começa com oito definições, das quais focalizaremos duas. Newton (2002, p. 39) começa por definir a massa inercial chamada, por ele, de quantidade de matéria:

Definição I: A quantidade de matéria é a medida da mesma, obtida conjuntamente a partir de sua densidade e volume. Assim, o ar com o dobro de densidade, num espaço duplicado tem o quádruplo da quantidade; num espaço triplicado, o sêxtuplo da quantidade. (...)

Mais à frente, Newton (2002, p. 40) define a quantidade de movimento do corpo ou, como chamamos atualmente, momento linear do corpo:

Definição II: A quantidade de movimento é a medida do mesmo, obtida conjuntamente a partir da velocidade e da quantidade de matéria.

Newton define a massa inercial e a partir dela define a quantidade de movimento. Segundo Assis, nestas duas definições já se encontram problemas, pois a definição de massa é feita a partir de densidade, um conceito que envolve a massa⁴. Quanto à definição de quantidade de movimento Newton usa a velocidade que se trata da

4 Na nota dos tradutores 11 do apêndice do Principia (Newton, 2002) encontra-se uma explicação pela qual Newton deve ter usado para definir massa a partir da densidade do corpo.

velocidade absoluta. Newton (2002, p. 45) acha conveniente distinguir entre quantidades absolutas e relativas, verdadeiras e aparentes matemáticas e comuns no escólio que segue às oito definições:

I - O tempo absoluto, verdadeiro e matemático, por si mesmo e por sua própria natureza, flui uniformemente sem relação com qualquer coisa externa e é também chamado de duração. O tempo comum aparente e relativo é uma medida de duração perceptível e externa (seja ela exata ou irregular) que é obtida por meio de movimento e que é normalmente usada no lugar do tempo verdadeiro, tal como uma hora, um dia, um mês, um ano.

II - O espaço, em sua própria natureza, sem relação com qualquer coisa externa, permanece sempre similar e imóvel. Espaço relativo é alguma dimensão ou medida móvel dos espaços absolutos, a qual nossos sentidos determinam por sua posição em relação a corpos, e é comumente tomado por espaço imóvel; assim é a dimensão de um espaço subterrâneo, aéreo ou celeste, determinado pela sua posição em relação à Terra. Espaços absolutos e relativos são os mesmos em configuração e magnitude, mas não permanecem sempre numericamente iguais. Pois, por exemplo, se a Terra se move, um espaço de nosso ar, o qual relativamente a Terra permanece sempre o mesmo, em um dado tempo será uma parte do espaço absoluto pela qual passa o ar, em um outro tempo será outra parte do mesmo, e assim, entendido de maneira absoluta, será continuamente mudado.

III – Lugar é uma parte do espaço que um corpo ocupa, e de acordo com o espaço, é absoluto ou relativo. (...)

IV - Movimento absoluto é a translação de um corpo de um lugar absoluto para outro; e movimento relativo, a translação de um lugar relativo para outro. Assim, em um navio que está navegando, o lugar relativo de um corpo é aquela parte do navio que o corpo ocupa; ou aquela parte da cavidade que o corpo preenche, e que, portanto, move-se junto com o navio; repouso relativo é a permanência do corpo naquela mesma parte do navio ou de sua cavidade. Mas repouso real, absoluto, é a permanência do corpo na mesma parte daquele espaço imóvel, no qual o próprio navio, sua cavidade e tudo o que ele contém, se move. Por essa razão, se a Terra está realmente em repouso, o corpo que está relativamente em repouso no navio, real e absolutamente se moverá com a mesma velocidade que o navio tem na Terra. Mas se a Terra também se mover, surgirá o movimento verdadeiro e absoluto do corpo, em parte devido ao movimento verdadeiro da Terra, em relação ao espaço imóvel, e em parte devido ao movimento relativo do navio na Terra; e se o corpo também tem movimento relativo no navio, seu movimento verdadeiro surgirá, parcialmente devido aos movimentos relativos, tanto do navio na Terra como do corpo no navio e, desses movimentos surgirá o movimento relativo do corpo na Terra. (...)

A partir dessas definições, Newton passa a explicar o movimento relativo que define como variação das posições relativas dos corpos, no decorrer do tempo:

Uma vez que as partes do espaço não podem ser vistas ou diferenciadas umas das outras pelos nossos sentidos, usamos medidas perceptíveis delas. Com efeito, das posições e distâncias das coisas a partir de qualquer corpo considerado imóvel, definimos todos os lugares, e, então, com relação a tais lugares, estimamos todos os movimentos, considerando os corpos como transferidos de alguns destes lugares para outros (NEWTON, 2002, p. 47).

No entanto, admite a existência de um movimento absoluto (ou “verdadeiro”), que teria respaldo no plano filosófico: é possível conceber a existência de um corpo em repouso absoluto, mesmo que não possamos encontrá-lo, na prática.

Assim, em vez de lugares e movimentos absolutos, usamos relativos, e isto sem qualquer inconveniente prático; mas em investigações filosóficas, devemos abstrair de nossos sentidos e considerar as coisas em si mesmas, distintas daquilo que são tão-somente suas medidas perceptíveis. Pois pode ser que não haja um corpo realmente em repouso, com relação ao qual os lugares e movimentos de outros possam ser referidos (NEWTON, 2002, p. 47).

De fato, Newton diferencia movimento absoluto de movimento relativo: o movimento absoluto seria aquele ao qual se associa uma causa.

Mas podemos diferenciar repouso e movimento, absoluto e relativo, por suas propriedades causa e efeitos. É uma propriedade do repouso que os corpos realmente em repouso repousem uns com relação aos outros. (...) É uma propriedade do movimento que as partes, as quais guardam determinadas posições com relação a seus todos, realmente compartilhem dos movimentos desses todos. Pois todas as partes dos corpos que giram tendem a se afastar do eixo de movimento; e o ímpeto dos corpos que se movem para frente origina-se do ímpeto do conjunto de todas as partes. Logo, se corpos vizinhos são movidos, aqueles que estão em repouso relativo dentre eles compartilharam de seu movimento. Por essa razão, o movimento verdadeiro e absoluto de um corpo não pode ser determinado por sua translação a partir daqueles que apenas parecem estar em repouso; pois os corpos externos não apenas devem aparentar estar em repouso, mas estar realmente em repouso (NEWTON, 2002, p. 47).

Logo após suas definições Newton (2002, p. 53) apresenta seus três axiomas, ou leis da mecânica, a que hoje chamamos de leis de Newton. Nestas leis, no entanto, as causas estão associadas à mudança de estado de movimento dos corpos e não ao estado de movimento em si mesmo:

Lei I: Todo corpo continua em seu estado de repouso ou de movimento uniforme em uma linha reta, a menos que seja forçado a mudar aquele estado por forças imprimidas sobre ele.

Lei II: A mudança de movimento é proporcional à força motora imprimida, e é produzida na direção da linha reta na qual a força é imprimida.

Lei III: A toda ação há sempre oposta uma reação igual, ou, as ações mútuas de dois corpos um sobre o outro são sempre iguais e dirigidas a partes opostas.

Em seguida apresenta alguns corolários desses axiomas (NEWTON, 2002, p. 61). No seu quinto corolário, Newton introduziu o conceito de sistemas de referência que se movem com uma velocidade constante em relação ao espaço absoluto, os referenciais inerciais (ASSIS, 1998, p.08).

Corolário V: Os movimentos de corpos encerrados em um dado espaço são os mesmos entre si, esteja esse espaço em repouso, ou se movendo uniformemente em uma linha reta sem qualquer movimento circular.

Neste mesmo livro, Newton (2002, p. 253) provou dois teoremas relacionados com a força exercida por uma casca esférica sobre corpos pontuais internos e externos, supondo forças que caem com o quadrado da distância:

Proposição 70. Teorema 30: Se para cada ponto de uma superfície esférica tenderem forças centrípetas iguais, que diminuam com o quadrado das distâncias a partir desses pontos, afirmo que um corpúsculo localizado dentro daquela superfície não será atraído de maneira alguma por aquelas forças.

Proposição 71. Teorema 31: Supondo-se o mesmo que acima, afirmo que um corpúsculo localizado fora da superfície esférica é atraído em direção ao centro da esfera com uma força inversamente proporcional ao quadrado de sua distância até este centro.

Ou seja, se um corpo está localizado em qualquer lugar do interior da casca esférica (e não apenas sobre seu centro), a força resultante exercida por toda a casca sobre ele é nula e um corpo colocado fora da casca esférica é atraído como se a casca estivesse concentrada em seu centro (ASSIS, 1998, p. 09).

Um exemplo para o tipo de força citado acima é a força gravitacional de Newton, ou seja, um corpo com massa gravitacional m_{g1} atrai outro corpo com massa gravitacional m_{g2} a uma distância r com uma força radial de intensidade igual ao produto das massas gravitacionais dos corpos divididos pelo quadrado da distância entre eles, multiplicados por uma constante G , ou seja,

$$\vec{F}_{12} = \frac{Gm_{g1}m_{g2}}{r_{12}^2} \hat{e}$$

onde $\hat{e}$ é um vetor unitário na direção radial.

A principal implicação cosmológica de sua Proposição 70, Teorema 30 é que:

podemos essencialmente desprezar a influência gravitacional das estrelas fixas nos movimentos planetários e em experiências realizadas sobre a Terra. O motivo para isto é que as estrelas estão espalhadas mais ou menos por todas as direções do céu (desprezando aqui a concentração de estrelas na Via Láctea) (ASSIS, 1998, p. 15).

Newton estava ciente disso, pois expressou-o claramente no segundo corolário da Proposição 14, Teorema 14, do Livro III (NEWTON apud ASSIS, 1998, p. 16):

Corolário I: As estrelas fixas são imóveis, observando que elas mantêm a mesma posição em relação aos afélios e nós dos planetas.

Corolário II: E como estas estrelas não estão sujeitas a qualquer paralaxe perceptível devido ao movimento anual da Terra, elas não podem ter força, devido a suas distâncias imensas, para produzir qualquer efeito perceptível em nosso sistema. Sem mencionar que as estrelas fixas, estando dispersas promiscuamente por todo o céu, destroem suas ações mútuas devido a suas atrações contrárias, pela Proposição 70, Teorema 30, Livro I.

A experiência do balde de Newton aparece, na Mecânica Newtoniana, como uma prova da existência de um movimento absoluto. A experiência foi descrita pelo próprio Newton no escólio que segue às oito definições do primeiro livro do Principia da seguinte maneira:

Os efeitos que distinguem o movimento absoluto de relativo são as forças que agem no sentido de provocar afastamento a partir do eixo do movimento circular. Pois não há tais forças em um movimento circular puramente relativo; mas em um movimento circular verdadeiro ou absoluto elas são maiores ou menores, dependendo da quantidade do movimento. Se um recipiente, suspenso por uma longa corda, é tantas vezes girado, a ponto de a corda ficar totalmente torcida, e então enchido com água e suspenso em repouso junto com a água; a seguir, pela ação repentina de outra força, é girado para o lado contrário e, enquanto a corda desenrola-se, o recipiente continua no seu movimento por algum tempo; a superfície da água, de início, será plana, como antes de o recipiente começar a se mover; mas depois disso, o recipiente, por comunicar gradualmente seu movimento à água, fará com que ela comece nitidamente a girar e a afastar-se pouco a pouco do meio e subir pelos lados do recipiente, transformando-se em uma figura côncava (conforme eu mesmo experimentei), e quanto mais rápido se torna o movimento, mais a água vai subir, até que, finalmente, realizando suas rotações nos mesmos tempos do recipiente, ela fica em repouso relativo a ele. Essa subida da água mostra sua tendência a se afastar do seu eixo de movimento; e o movimento circular verdadeiro e absoluto da água que aqui é diretamente o contrário ao relativo, torna-se conhecido e pode ser medido por esta tendência. De início, quando o movimento relativo da água no recipiente era máximo, não havia nenhum esforço para afastar-se do eixo; a água não mostrava nenhuma tendência a circunferência, nem nenhuma subida na direção dos lados do recipiente, mas mantinha uma superfície plana, e, portanto, seu movimento circular verdadeiro ainda não havia começado. Mas, posteriormente, quando o movimento relativo da água havia diminuído, a subida em direção aos lados do recipiente mostrou o esforço dessa para se afastar do eixo; e esse esforço mostrou o movimento circular real da água aumentando continuamente, até ter adquirido sua maior quantidade, quando a água ficou em repouso relativo no recipiente. E, portanto, esse esforço não depende de qualquer translação da água com relação aos corpos do ambiente, nem pode o movimento circular verdadeiro ser definido por tal translação. Há somente um movimento circular real de qualquer corpo em rotação, correspondendo a um único poder de tendência de afastamento a partir do seu próprio eixo de movimento, como efeito próprio e adequado; mas movimentos relativos, em um mesmo e único corpo, são imensuráveis, de acordo com as diferentes relações que ele mantém com corpos externos e, como outras relações, são completamente destituídas de qualquer efeito real, embora eles possam talvez compartilhar daquele único movimento verdadeiro (NEWTON, 2002, p. 49).

Pode ser demonstrado⁵ que a superfície da água no balde em rotação possui uma forma de um parabolóide a partir da revolução em torno do eixo de rotação da curva:

$$Z = \frac{\omega^2 x^2}{2g}$$



Ilustração 1: Garrafa com água (e corante) parada utilizada para mostrar a experiência do Balde de Newton. A superfície da água é plana.



Ilustração 2: Garrafa com água (e corante) em movimento utilizada para mostrar a experiência do Balde de Newton. É bem visível a concavidade da superfície da água.

Esta experiência mostra, para Newton, como distinguir entre uma rotação absoluta e uma relativa. Segundo Assis:

De acordo com Newton, a superfície da água será côncava apenas quando ela está girando em relação ao espaço absoluto. Isto significa que para ele o ω que aparece na equação é a rotação angular da água em relação ao espaço absoluto e não a rotação da água em relação aos ‘corpos do ambiente’. Isto é, este ω não representa a rotação da água em relação ao balde, nem em relação à Terra e nem mesmo a rotação em relação ao universo distante como as estrelas fixas. Para Newton, o espaço absoluto não tem “relação com qualquer coisa externa”, não estando, portanto, relacionado com a Terra nem com as estrelas fixas (ASSIS, 1998, p. 50).

Assis (1998, p. 51) aponta que as questões que surgem diante desses experimentos e precisam que ser respondidas são: por que a superfície da água é plana na primeira situação e côncava na segunda? Qual é o responsável por este comportamento

5 Esta demonstração pode ser vista em Assis (1998, p. 48).

diferente? Este comportamento é devido à rotação da água com relação a quê?

A superfície da água é plana na primeira situação e côncava na segunda devido à rotação da água na segunda situação, respondendo assim a primeira questão. Entretanto, as perguntas seguintes permanecem sem resposta. Assis (1998, p. 51) afirma que a rotação da água em relação ao balde, em relação à Terra e em relação às estrelas fixas do universo são os principais suspeitos para a concavidade da água. Entretanto, logo descarta que a rotação da água em relação ao balde não é responsável pelo comportamento diferente da água “observando que não há movimento relativo entre a água e o balde em ambas as situações”.

A rotação da água em relação à Terra não pode ser responsável pelo comportamento diferente da água porque “na primeira situação, a única força relevante exercida pela Terra sobre cada molécula de água é de origem gravitacional. (...) Na segunda situação a água está girando em relação à Terra, mas a força exercida pela Terra sobre cada molécula de água ainda é dada simplesmente por $P = -m_g \cdot g$ apontando verticalmente para baixo” (ASSIS, 1998, p. 52).

As estrelas fixas do universo não são as responsáveis pelo comportamento diferente da água porque a única interação relevante da água com elas é de origem gravitacional e lembrando que, se um corpo está localizado em qualquer lugar do interior da casca esférica, a força resultante exercida por toda a casca sobre ele é nula e “supondo as estrelas fixas distribuídas mais ou menos homoganeamente no céu e desprezando as pequenas anisotropias em suas distribuições” (ASSIS, 1998, p. 53).

Uma consequência importante disto é que mesmo que as estrelas fixas do universo e as galáxias distantes desaparecessem (fossem literalmente aniquiladas do universo) ou dobrassem de número e massa, isto não iria alterar a concavidade da água nesta experiência do balde. Elas não tem nenhuma relação com esta concavidade, pelo menos de acordo com a mecânica newtoniana (ASSIS, 1998, p. 53).

Logo, para Newton, a experiência do balde de Newton é importante porque representa uma maneira de distinguir uma rotação absoluta de uma relativa. Uma vez que a força que a Terra exerce sobre o balde não provoca sua rotação, já que atua no seu centro de massa, e também que não há interação entre as estrelas fixas e o balde, a superfície côncava durante o giro demonstra um movimento que é verdadeiro, pois ele se define em relação ao espaço absoluto.

3.2 A Mecânica Relacional

De acordo com Assis, a Mecânica Relacional “é uma nova mecânica que implementa as idéias de Leibniz, Berkeley, Mach e muitos outros” (1998, p. xvii), onde não existem grandezas absolutas, como na Mecânica Clássica, tais como espaço ou tempo. Ele acredita que “apenas quando comparamos esta nova mecânica com a newtoniana, passamos a ter uma compreensão clara destes antigos conceitos” (1998, p. xvii). Esta nova visão da Mecânica permite observar um fenômeno Físico de maneira diferente: “após compreender a mecânica relacional entramos num novo mundo, enxergando os mesmos fenômenos com olhos diferentes e sob uma nova perspectiva” (ASSIS, 1998, p. xviii).

O autor defende que é possível explicar esta experiência sem utilizar a idéia de espaço absoluto, incluindo-se para isto o referencial dos corpos astronômicos distantes, como apontou Ernst Mach. Entretanto, alguns livros dissociam essa idéia ‘Newtonizando’ este sistema de referência, como apontam Assis e Zylbersztajn (2001, p. 144). Mach (apud NUSSENZVEIG, 2002, p. 309) escreveu:

só existem movimentos relativos... não vejo, neste ponto, nenhuma diferença entre rotação e translação. Obviamente não importa se pensamos na Terra como em rotação em torno do seu eixo, ou se em repouso enquanto as estrelas fixas giram em torno dela... a lei da inércia deve ser concebida de tal forma que a Segunda suposição leve exatamente aos mesmos resultados que a primeira. Torna-se então evidente que, na sua formulação, é preciso levar em conta as massas existentes no universo.

O princípio de Mach não foi descrito claramente em nenhum momento em seus escritos.

Apesar disto, suas idéias contra o espaço e tempo absolutos de Newton, a favor de uma física relacional, defendendo a realidade física das forças fictícias, sua suposição de que a experiência do balde de Newton mostra uma conexão entre a curvatura da água e as estrelas fixas, etc. passaram a ser chamadas geralmente de princípio de Mach (ASSIS, 1998, p. 139).

Os três postulados ou axiomas da Mecânica Relacional são (ASSIS, 1998, p. 200):

- I – Força é uma quantidade vetorial que descreve a interação entre os corpos materiais.
- II – A força que uma partícula pontual A exerce sobre uma partícula pontual B é igual e oposta a força que B exerce sobre A e é direcionada ao longo da linha

reta conectando A até B.

III – A soma de todas as forças de qualquer natureza (gravitacional, elétrica e magnética, elástica, nuclear, ...) agindo sobre qualquer corpo é sempre nula em todos os sistemas de referência.

É importante destacar, quanto ao primeiro postulado que ele afirma, que a força é resultado da interação entre corpos, ou seja, não admite forças fictícias como na mecânica clássica. Já no terceiro postulado, dispensa conceitos absolutos e afirma que é válido em todos os sistemas de referências inclusive os não-inerciais da mecânica clássica. Estes três postulados podem ser substituídos por um único em termos de energia:

A soma de todas as energias de interação (gravitacional, elétrica, elástica ...) entre qualquer corpo e todos os outros corpos no universo é sempre nula em todos os sistemas de referência (ASSIS, 1998, p. 203).

Em particular, a energia de interação entre duas massas gravitacionais m_{g1} e m_{g2} e a força exercida por 2 em 1 devem ser dadas por, respectivamente⁶:

$$U_{12} = \left(\frac{-Gm_{g1}m_{g2}}{r_{12}} \right) \times \left(\frac{1 - \xi_{12}^2}{2c^2} \right)$$

$$\vec{F}_{12} = \left(\frac{-Gm_{g1}m_{g2}}{r_{12}^2} \right) \times \left(1 - \frac{\xi}{c^2} \right) \times \left(\frac{\dot{r}_{12}^2}{2} - r_{12}\ddot{r}_{12} \right) \hat{e}_{12}$$

onde, ξ é uma constante e c a velocidade da luz.

A principal propriedade destas forças e energias é que elas “dependem apenas de distâncias relativas, da velocidade radial e da aceleração radial entre as partículas interagentes” (ASSIS, 1998, p. 206).

Os desenvolvimentos matemáticos referentes à mecânica relacional podem ser obtidos em Assis (1998, p. 200). As principais consequências diretas da mecânica relacional quando a identificamos com a mecânica newtoniana são resumidas por Assis (1998, p. 228) da seguinte maneira:

Derivamos equações similares à primeira e à segunda leis de Newton.
Derivamos a proporcionalidade entre as massas inerciais e gravitacionais.
Derivamos o fato de que o melhor sistema inercial de que dispomos é aquele das galáxias distantes, (...).

6 Outro termo é inserido nestas equações para resolver o Paradoxo Gravitacional, para encontrar estas equações em suas formas completas ver Assis (1998, p. 206).

Derivamos a energia cinética como mais uma energia de interação gravitacional entre o corpo de prova e o universo distante, quando há um movimento entre ambos.

Derivamos o fato de que todas as forças fictícias da mecânica newtoniana são de fato forças reais como todas as outras forças usuais. Neste caso, são forças de origem gravitacional agindo entre o corpo de prova e o universo distante acelerado com relação a ele.

Derivamos uma relação G , H , e ρ_0 a saber, $3H_0^2 = 2 \text{ a } 4\pi\xi G\rho_0$, com $\xi = 6$ como veremos depois. Já se sabia que esta relação era válida há muito tempo, sem se encontrar uma explicação convincente para ela.

Obtivemos que as forças inerciais F_{im} têm o mesmo valor numérico em todos os sistemas de referência, embora não necessariamente a mesma forma.

Quanto à experiência do balde de Newton a equação da superfície livre da água girando ficaria na forma⁷:

$$Z = k \frac{\omega_m^2 x^2}{2g}$$

Para Assis:

A concavidade da parábola é dada por z/x^2 . Ou seja, é proporcional a k ou à densidade de matéria das galáxias distantes ($k = 1$ é a situação do universo atual com uma densidade da ordem de um átomo de hidrogênio por metro cúbico). Isto mostra que mantendo a mesma rotação angular da água em relação à Terra e às galáxias distantes, mas aumentando k , teríamos a água subindo mais pelas paredes do balde. Se $k \rightarrow 0$, o que significa aniquilar com as galáxias externas, então a superfície da água permaneceria essencialmente plana apesar de sua rotação. De qualquer forma ela seria sempre um pouco côncava, mesmo com o total desaparecimento das galáxias externas devido à rotação da água em relação à Terra, um efeito que não está sendo considerado aqui (1998, p. 265).

Portanto, para Assis, a Mecânica Relacional consegue explicar a experiência do balde de Newton sem utilizar os conceitos de espaço absoluto e referenciais inerciais uma vez que a curvatura da superfície da água é explicada devido ao movimento relativo do balde com relação às estrelas do universo sendo, portanto, impossível distinguir movimentos absolutos de relativos em relação aos seus efeitos.

7 Esta demonstração pode ser obtida em Assis (1998, p. 264).

4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

4.1 Caracterização da pesquisa

Este trabalho teve um caráter qualitativo, “rico em pormenores descritivos relativamente a pessoas, locais e conversas, e de complexo tratamento estatístico” (BOGDAN e BIKLEN, 1994, p. 16). Esses autores ressaltam que uma abordagem qualitativa tem como características: “A fonte direta de dados é o ambiente natural, constituindo os investigados o principal instrumento” (p. 48); “A investigação qualitativa é descritiva” (p. 48); “Os investigadores interessam-se mais pelo processo do que simplesmente pelos resultados ou produtos” (p. 49); “Os investigadores qualitativos tendem a analisar seus dados de forma indutiva” (p.50); “O significado é de importância vital na abordagem qualitativa” (p. 50).

Concordamos com Bogdan e Biklen ao apontar que “os acontecimentos vulgares tornam-se dados quando vistos de um ponto de vista particular – do investigador” (p. 149). Assim sendo, os dados foram constituídos através da gravação em vídeo de algumas aulas desenvolvidas pelo mestrando, em parceria com uma professora de física, em um mini-curso, numa turma do primeiro ano do ensino médio de uma escola pública estadual local. Complementares às gravações em vídeo, foram feitas gravações também em áudio devido à qualidade do som nas gravações em vídeo não serem tão boas. Também se constituem como dados os trabalhos desenvolvidos pelos alunos, assim como as notas de campo elaboradas pela professora da disciplina e pelo mestrando.

4.2 O locus da pesquisa

Este trabalho foi realizado em uma escola pública do interior paulista com os alunos de uma turma do primeiro ano do ensino médio. Essa turma estava estudando mecânica, mais precisamente dinâmica. Contudo, destacamos aqui uma singularidade do lócus da pesquisa que se refere à escola e à professora de física da turma. A escola mantém uma relação com a universidade, aqui representada pela Faculdade de Engenharia da UNESP/Ilha Solteira, que acontece já há alguns anos por via de mão dupla que, por um lado, visa à formação continuada dos professores da escola através de sua participação em projetos e, por outro, visa à formação inicial dos licenciandos em física através da realização de estágios supervisionados.

No que se refere à formação continuada dos professores da escola, destacamos um projeto realizado a partir do ano 2000 e que contou, entre os anos de 2002 e 2005, com o financiamento da FAPESP no âmbito do programa Melhoria do Ensino Público. Este projeto visava à formação professores através do estudo de textos e reflexão conjunta sobre a educação, bem como a proposição e análise de intervenções dos professores numa espécie de iniciação científica. Deste projeto, foram publicados inúmeros trabalhos, inclusive atas de um evento científico para divulgação dos trabalhos desenvolvidos por estes professores, o I e o II Simpósio Comunidade Escolar e Comunidade Científica. Além disso, estão sendo desenvolvidas algumas teses e dissertações sobre o próprio projeto.

Ainda sobre a singularidade desta escola, no que se refere à formação em nível inicial, destacamos o caráter colaborativo da relação entre escola e universidade no caso do estágio supervisionado, que não necessariamente deveria ser realizado nesta escola e, no entanto, grande parte o é. Os licenciandos também realizam uma pesquisa em nível de iniciação científica na área de ensino de física que também conta com grande colaboração desses professores da escola. Essas pesquisas também são publicadas e apresentadas em um evento organizado pelos próprios alunos da graduação em colaboração com alguns docentes da universidade, o Encontro de Prática de Ensino de Física de Ilha Solteira - ENPEFIS, que em 2007 teve sua terceira edição.

Neste sentido, a singularidade dessa escola estende-se à professora de física com quem estamos trabalhando. Destacamos sua participação no projeto conjunto entre a universidade e a escola, no qual seu interesse voltou-se para o papel do laboratório no ensino de física. Por outro lado, também ressaltamos seu papel na formação inicial dos licenciandos, inclusive do próprio pesquisador, que contou com sua colaboração no desenvolvimento de seu estágio supervisionado durante o curso de licenciatura e na iniciação científica desenvolvida neste período.

Queremos ressaltar aqui a singularidade dessa escola e a importância da colaboração dessa professora, não somente por ter cedido suas aulas para a realização da pesquisa, mas também por ter contribuído para melhorá-la. Em suma, destacamos o papel da relação da universidade e da escola nas formações inicial e continuada do professor, que se reflete na relação aluno-professor-conhecimento.

4.3 O planejamento da intervenção

Nessa elaboração inicial, tomamos como ponto de partida um mini-curso, realizado por ocasião de nossa iniciação científica, utilizando seus resultados para a construção do novo projeto. A intervenção foi planejada inicialmente para ser executada em cinco aulas duplas cedidas pela professora de física. A decisão de realizar o experimento na própria sala de aula de física no horário normal das aulas foi feita tentando minimizar efeitos de ‘laboratório’ na realização de um projeto de pesquisa. Dessa forma, nossa intenção foi proporcionar aos alunos um ambiente natural de sala de aula para que os resultados não fossem considerados artificiais.

A sala de aula era composta por aproximadamente 40 (quarenta) alunos, sendo que a frequência era um pouco menor, de aproximadamente 32 (trinta e dois) a 35 (trinta e cinco) alunos por aula. Os alunos juntaram-se em grupos de 5 (cinco), segundo suas afinidades, formando 8 (oito) pequenos grupos. Embora a escola possuísse laboratório didático, o experimento foi realizado na própria sala de aula, pois o laboratório estava sendo usado como sala de aula por outro professor. Assim, as bancadas dos alunos foram formadas pelas suas próprias carteiras e como a sala de aula era pequena, os grupos ficaram muito próximos e não havia uma organização na localização dos grupos na sala de aula, dificultando inclusive a locomoção.

Cada grupo recebeu uma garrafinha com água para a execução do experimento e uma folha para escrever suas respostas. Algumas questões foram feitas para a sala toda e escritas no quadro para que os alunos pudessem responder antes de iniciar a execução do experimento. Na execução, os alunos envolveram-se bastante na busca pelas respostas das questões apresentadas. O acompanhamento foi feito pelo pesquisador, que ficava andando de grupo em grupo para dar algumas orientações e tirar dúvidas, quando necessário.

Muito embora houvesse oito grupos de alunos, apenas um foi escolhido (por sorteio) para ser feita uma gravação em áudio (através de um gravador de voz digital) e vídeo (através de uma filmadora digital). Inicialmente esse grupo mostrou-se tímido frente à câmera, mas logo se esqueceu e comportou-se como se nada estivesse sendo gravado.

A despeito de todo planejamento, algumas adaptações precisaram ser feitas ao longo do desenvolvimento das aulas, na medida em que estas se fizeram necessárias. Após a gravação da primeira aula observamos o primeiro problema: devido ao barulho que os alunos fazem durante a execução do experimento não foi possível identificar o áudio das gravações, tanto da câmera de vídeo quanto do gravador de áudio. A sala de aula não

possuía uma boa acústica e o ruído de fundo nas gravações era ensurdecedor, além de encobrir as conversas do grupo. Assim sendo, foi feita uma edição do áudio com captura pela filmadora e pelo gravador através de alguns filtros, sem obter sucesso. Procurando soluções, decidimos pela execução do experimento paralelamente às aulas da professora, uma vez que a utilização de um microfone por aluno também se mostrou inviável. Dessa forma, seguiu-se com a intervenção como planejado em sala de aula e, paralelamente, fora de aula apenas com um grupo pequeno de alunos voluntários.

Um questionamento que surgiu naquele período foi se a realização dessa intervenção paralela descaracterizaria a pesquisa, e de que maneira isto seria prejudicial. No entanto, como fomos nós que projetamos e vivenciamos as duas situações, pudemos perceber que comportamento dos alunos fora da sala de aula foi semelhante ao de dentro da sala. Na situação paralela, o pesquisador pôde acompanhar constantemente o grupo de alunos que estava sendo filmado, situação impossível de ocorrer na outra situação, quando havia oito grupos de cinco alunos. Esse maior acompanhamento foi positivo, pois o pesquisador pôde realizar mais intervenções, fazendo questionamentos aos alunos, situação que não poderia ocorrer em sala de aula. Com esta nova característica da pesquisa, foi possível ouvir o áudio das gravações e, conseqüentemente, realizar as transcrições das filmagens. As notas de campo do pesquisador e os trabalhos desenvolvidos pelos alunos durante o mini-curso também se constituíram como dados.

Quanto ao planejamento das atividades de sala de aula, ao invés de planejarmos por aulas, como tínhamos feito na iniciação científica, optamos por fazê-lo em forma de momentos, cada qual com seu objetivo, o que significa que um momento poderia ocupar uma aula inteira ou mesmo mais de uma aula. Assim, houve momentos que foram retomados, pois avaliamos que seus objetivos ainda não haviam sido alcançados.

O primeiro momento constituiu-se da discussão sobre as concepções da natureza da ciência (CNC). Seu objetivo era conhecer um pouco sobre essas concepções dos alunos, considerando que alguns trabalhos apontam a concepção empirico-indutivista como predominante no ensino (GIL-PEREZ, 2001). As discussões foram posteriores à resolução de um questionário com sete questões, inspirado e adaptado de um trabalho a respeito das concepções sobre a natureza da ciência (KÖHNLEIN e PEDUZZI, 2005). A intenção de utilizar o questionário foi a de possibilitar aos alunos expressassem seu entendimento sobre ciência também de forma escrita. Na elaboração do questionário houve uma preocupação em não influenciar as respostas dos alunos, o que poderia ocorrer, por

exemplo, através do uso de palavras ligadas a alguma concepção, tais como 'descoberta' (justificacionismo) ou 'invenção' (construtivismo). Essa preocupação, no entanto, mostrou-se fracassada porque, como se revelou durante a análise, não conseguimos evitar o que era pretendido, como foi o caso das palavras “observação” e “experimentação”.

A primeira questão – o que você entende por ciência? – guardava uma intenção de generalidade, para que os alunos pudessem escrever livremente. As questões que se seguiram foram mais restritas e exigiam sempre uma coerência com as anteriores.

A segunda questão – como você imagina que o cientista trabalha? – foi feita com a intenção de acessar a visão sobre metodologia do trabalho científico. Neste caso, esperávamos que eles utilizassem na resposta termos como 'experimento' e 'teoria'. Também na elaboração dessa questão houve uma preocupação com a coerência em relação à questão anterior, ou seja, a descrição de como o cientista trabalha feita pelo aluno deveria ser coerente com sua descrição de ciência feita anteriormente.

A questão três (Qual o papel da experimentação no trabalho científico?) e a questão quatro (Qual o papel da observação na elaboração de uma teoria?) guardavam a mesma intenção da segunda, porém foram feitas de forma direta. A questão cinco (Como você imagina que as teorias científicas são obtidas?) foi feita dessa forma para não influenciar as respostas dos alunos, como mencionado anteriormente, para que eles pudessem escrever sobre a forma de obtenção da teoria. A questão seis (Quando uma teoria se mostra incorreta, o que você imagina que acontece?) refere-se ao progresso científico. Nesta questão o aluno teria que escrever seu entendimento de como ocorrem as mudanças de teorias.

A questão sete (Você considera o conhecimento científico confiável? Por quê?) foi feita considerando a alta conta em que a ciência é tida nos dias de hoje, sendo utilizada até como propaganda para venda de produtos, ou mesmo quando se deseja atestar a veracidade de algo. Neste sentido, esperávamos que os alunos respondessem de modo a tentar entender o porquê desse prestígio.

O segundo momento buscava o entendimento dos alunos sobre os conceitos de 'movimento' e 'referencial', o que se justifica porque os alunos, de um modo geral, não compreendem os principais conceitos de mecânica (BORGES; AMANTES, 2003) e, em especial, não relacionam o movimento de um corpo a um referencial. Sendo assim, solicitamos aos alunos que respondessem de forma escrita a duas questões. A primeira questão (O que você entende por movimento?) foi direta. Neste caso, também

consideramos que normalmente os alunos não conseguem explicitar de forma escrita seu entendimento de movimento (BORGES; AMANTES, 2003). A segunda questão (Quando você sabe que um corpo está em movimento?) foi feita de modo a permitir que o aluno pudesse relacionar o conceito de movimento ao conceito de referencial. Nas duas questões, tomamos o cuidado de não utilizar a palavra referencial, pois queríamos perceber como o aluno realiza essa ligação.

No terceiro momento, propusemos a realização da experiência do balde de Newton, na expectativa de que os questionamentos associados a ela desde o *Principia* (NEWTON, 2002) pudessem contribuir para que os alunos considerassem a idéia da relatividade do movimento. Portanto, nesta etapa, era nosso objetivo discutir a idéia de movimentos relativos a determinados referenciais. Considerando alguns resultados que obtivemos na iniciação científica (CUNHA; CARVALHO, 2005), nossa preocupação neste momento foi a de nos determos na tentativa de compartilhar com os alunos a descrição do fenômeno. Dessa forma foi feita uma questão (O que acontece quando você gira a garrafa?) para que os alunos pudessem realizar o experimento.

Num quarto momento, pretendíamos explorar as possibilidades do experimento do balde de Newton, visando permitir ao aluno a identificação de variáveis relevantes para a compreensão do problema. Esse momento foi marcado por três questões: Por que se forma o ‘redemoinho’? Por que a superfície da água ficou côncava quando a garrafa girou em torno do eixo? Nessa situação a água está em movimento em relação a quê? Chamamos a atenção do leitor para o fato de que em nenhum dos enunciados dessas questões mencionamos em relação a quê a água estava se movimentando. A questão que se seguiu – A água está em movimento em relação a quê? À garrafa? À Terra? Ou às estrelas? – visava à compreensão de movimentos absolutos e relativos.

Considerando que nem todos compartilhavam a descrição do fenômeno, o quarto momento sobrepôs-se ao terceiro, o que significa que, para fazer sentido, tínhamos por vezes de retomar as questões anteriores para prosseguir.

No quinto momento, nosso objetivo foi discutir as possíveis soluções para o problema. Neste caso, também foi apontada mais outra solução para o problema (a proposta da mecânica relacional), além da solução dada por Newton. Assim, no momento seguinte retomamos a discussão iniciada no primeiro momento com respeito às concepções sobre a natureza da ciência e do trabalho científico, no qual a Experiência do Balde de Newton pôde contribuir.

4.4 Metodologia de análise de dados

Para a análise dos dados utilizaremos a análise de conteúdo que, segundo Bardin (1995) constitui-se de “um conjunto de técnicas de análises das comunicações visando obter, por procedimentos, sistemáticos ou objetivos, de descrição do conteúdo das mensagens, indicadores (quantitativos ou não) que permitam a inferência de conhecimentos relativos às condições de produção/recepção (variáveis inferidas) destas mensagens” (p. 42).

A inferência é feita após a análise categorial que

pretende tomar em consideração a totalidade de um ‘texto’, passando-o pelo crivo da classificação e do recenseamento, segundo a frequência de presença (ou ausência) de itens de sentido. (...) É o método das categorias, espécie de gavetas ou rubricas significativas que permitem a classificação dos elementos de significação constitutivas, da mensagem. (...) Consiste em classificar os diferentes elementos nas diversas gavetas segundo critérios susceptíveis de fazer surgir um sentido capaz de introduzir numa certa ordem na confusão inicial (p. 37).

Essa análise categorial deve ter algumas características como serem homogêneas, exaustivas, exclusivas, objetivas, adequadas ou pertinentes. Esse conjunto de técnicas tem por finalidade “a inferência de conhecimentos relativos às condições de produção (ou, eventualmente, de recepção), inferência esta que ocorre a indicadores quantitativos ou não” (p. 38).

5. COMPARTILHANDO O FENÔMENO

5.1 A configuração do fenômeno como problema

Esta categoria, “a configuração do fenômeno como problema”, revelou-se necessária na medida em que identificamos, já na iniciação científica, que o compartilhamento da observação do fenômeno físico não ocorre de forma automática (CUNHA; CARVALHO, 2005), ou seja, a simples realização do experimento e sua observação não são suficientes para que os alunos percebam a problemática envolvida. A partir dessa constatação buscamos constituir mais detalhadamente as etapas que ocorrem na realização do experimento e categorizá-las segundo seu aparecimento.

Para isso, utilizamos como referencial a concepção da natureza do fenômeno total: aparência mais enunciado (FEYERABEND, 2007, p. 92). Para Feyerabend (2007, p. 92), “não há dois atos – um, notar um fenômeno; outro, expressá-lo com o auxílio do enunciado apropriado –, mas apenas um, a saber, dizer em certa situação observacional, 'a lua está me seguindo' ou 'a pedra está caindo verticalmente’”. Nessa concepção, o fenômeno somente é acessado a partir daquilo que se enunciou, ou seja, não é permitida uma distinção entre o que é enunciado e o que é a “observação”, num sentido de “pura, sem teoria”. Essa idéia parte do princípio que, por um lado, os enunciados carregam uma forte teoria advinda desde a infância, e por outro, as observações são influenciadas por ela,

“o enunciado é carregado de teoria, não é neutro. Há desse modo uma forte unidade entre enunciado e fenômeno. É parte de um processo de aprendizagem que se inicia na infância e que comanda um processo de operações mentais. Os processos de ensino/aprendizagem delineiam e condicionam a aparência ou fenômeno, estabelecendo forte conexão entre eles e as palavras que utilizamos” (ZANETIC, 2007, p. 138).

Desse modo, como bem coloca Feyerabend “descrever uma situação familiar é para o falante um evento em que enunciado e fenômeno estão firmemente aglutinados” (2007, p. 92).

Feyerabend chama de ‘interpretações naturais’ algumas operações mentais às quais nos referimos, considerando suas origens e seus efeitos e após fazermos uma suposição simplificadora de que “a qualidade e a estrutura daquelas sensações que fazem parte do corpo da ciência, são independentes de sua expressão lingüística” (2007, p. 93). Ou seja, trata-se de “operações mentais que se mostram quase indissociáveis dos fatos,

fenômenos ou aparência” (ZANETIC, 2007, p. 139). Entretanto, elas não são definitivas, mas sim, históricas, o que significa que podem sofrer mudanças ao longo do tempo. Desse modo, é possível fazer um exame crítico, como fez Galileu, “para decidir quais interpretações naturais podem ser mantidas e quais devem ser substituídas” (FEYERABEND, 2007, p. 94). Assim,

“confirmar a realidade ou revelar a falácia de aparências significa, contudo, examinar a validade daquelas interpretações naturais que estão tão intimamente ligadas às aparências que não mais as encaramos como pressupostos separados” (FEYERABEND, 2007, p. 94).

A idéia “fenômeno = aparência mais enunciado” é importante para a continuidade do trabalho porque, embora a aparência do fenômeno seja a mesma tanto para alunos como para professor, a teoria que cada um deles carrega e utiliza para enunciar aquilo que se observa é bem diferente e, portanto, o fenômeno, visto por cada um, conseqüentemente, também o será. Ou seja, em princípio não há nem mesmo um fenômeno em comum entre alunos e professor; o fenômeno, aparência mais enunciado, visto pelo aluno, é diferente do fenômeno, aparência mais enunciado, visto pelo professor. Também não podemos afirmar que um dia eles – alunos e professor – compartilharão o mesmo fenômeno. Talvez até possamos afirmar o contrário, ou seja, que eles nunca irão compartilhar o mesmo fenômeno, porém isso não significa que o professor deveria desistir da perspectiva de compartilhamento da enunciação relativa à situação mais próxima, que, no nosso caso, é aquilo que se convencionou chamar a ‘experiência do balde de Newton’. Em outras palavras, o esforço de compartilhar, a problemática existente em torno da experiência do balde de Newton, consiste no exame crítico acerca das interpretações naturais de alunos e do professor a fim de manter aquelas mais adequadas e descartar aquelas que não podem ser mantidas, de modo que ao final eles possam aproximar seus enunciados sobre o fenômeno que ocorre na experiência do Balde de Newton.

5.1.1 Não-compartilhamento dos procedimentos

Quando tratamos, na iniciação científica, do mesmo experimento para os alunos do ensino médio, compreendemos que, se o que o iniciante de pesquisador pretendia, através do seu estágio, era compartilhar a observação e a compreensão da problemática com os alunos, não bastava que ele se encarregasse da proposição do

problema. Seria necessário que ele se dispusesse a manter um longo e cuidadoso diálogo (CUNHA; CARVALHO, 2005). De fato, a constatação de que dificilmente os alunos observavam aquilo que o estagiário desejava configurou-se como ‘resultado de pesquisa’ para o pesquisador iniciante e não como ‘hipótese inicial’. Por exemplo, eles não identificavam a formação da concavidade na superfície da água como disparadora de um problema, ao invés disso, observavam outros detalhes do experimento. Essa constatação pode ser interpretada à luz do referencial utilizado agora, que não fazia parte do domínio do pesquisador iniciante: o fenômeno não era compartilhado pelos alunos e pelo então estagiário, pois os pressupostos que cada um carregava e que seria responsável pelo enunciado da observação eram diferentes.

Diante disto, no atual trabalho, o planejamento da experiência deu-se de forma que o primeiro objetivo da consecução do experimento fosse o compartilhamento do fenômeno – aparência mais enunciado – que para o professor consistia no seguinte enunciado: “na segunda situação, quando a garrafa está em rotação, a superfície da água torna-se côncava”. Assim, o primeiro objetivo foi trabalhar para que os alunos não só visualizassem que a superfície da água se tornara côncava na segunda situação, mas para que considerassem a concavidade da superfície da água da garrafa quando ela estava girando como um problema a ser resolvido. Em outras palavras, seria necessário que eles compartilhassem um ‘modo de perguntar’: por que, na segunda situação, quando a garrafa está em rotação, a superfície da água se torna côncava?

Mesmo tendo o pesquisador tomado muito cuidado com esta fase, também nessa experiência os alunos desviaram a atenção do foco desejado. Em outras palavras, a enunciação do fenômeno não foi compartilhada neste momento.

Diante da pergunta feita no terceiro momento (O que acontece quando você gira a garrafa?) inúmeras respostas demonstraram a ausência da configuração do fenômeno como problema:

G6 – A água gira dependendo do jeito do movimento: quando giramos a garrafa com as mãos vemos que a água e a garrafa ficam em movimento (circulação) e forma tipo um redemoinho. E quando giramos a garrafa pelo cordão só a garrafa gira e a água ficou absolutamente parada.

Esta situação ocorreu porque o pesquisador não especificou, na questão, o eixo no qual se deveria girar a garrafa do experimento e, portanto, embora tenha identificado a concavidade na superfície da água formada quando a garrafa girou em torno do eixo, o

aluno observou outros aspectos do experimento não relevantes para a compreensão do problema. Aquilo que para o pesquisador parecia óbvio, no entanto, configurou-se como uma nova surpresa, haja vista que mesmo tendo tido a intenção de compartilhar um fenômeno e se esforçado nesse sentido não conseguiu o seu intento.

Esta situação caracteriza-se como rica para revelar a complexidade da comunicação que ocorre em sala de aula entre professores e alunos e as inúmeras interpretações daquilo que se diz. Nesse caso, o professor não esperava que os alunos girassem a garrafa em outros eixos, o que nos sugere sua forte ligação com a execução da experiência, pois quando se fala na experiência do balde de Newton, girar a garrafa significa para ele girar a garrafa em torno do eixo. Ao contrário, os alunos que não tinham tido contato anterior com esta experiência e, portanto, que não identificavam o ato de ‘girar a garrafa’ com o ato de ‘girar a garrafa em torno do eixo’, girar a garrafa poderia acontecer de várias maneiras em torno de vários eixos.

Desse modo, podemos até interpretar que o aluno foi além daquilo que o professor desejava, pois este foi forçado a limitar os procedimentos de realização da experiência e a forma como a pergunta era feita. Esta agora deveria ser: o que acontece com a superfície da água quando a garrafa gira em torno do próprio eixo?

Em suma, a análise das situações acima permitiu-nos identificar que o grupo de alunos não compartilhou a realização do experimento como fora proposta pelo pesquisador, o que nos sugere uma primeira categoria para a configuração do fenômeno físico envolvido no experimento: não compartilhamento dos procedimentos.

Muito embora não tenha havido o compartilhamento dos procedimentos da realização da experiência, podemos observar um avanço na enunciação (problematização) do fenômeno (problema) justamente porque não houve esse compartilhamento. Assim, houve um aprimoramento da questão (feito pelo professor) de modo que os alunos pudessem aprimorar o enunciado do fenômeno que ele queria com eles compartilhar, enriquecendo-o com novos marcadores do problema. É, portanto, nesse sentido que podemos interpretar um avanço no compartilhamento do fenômeno (problema), na medida em que houve um pequeno avanço na sua enunciação (problematização). Ou seja, podemos interpretar que nesse momento está havendo o que Freire caracterizou como conseqüências de se pronunciar (ou enunciar) o mundo (um fenômeno), isto é, “o mundo pronunciado, por sua vez, volta-se problematizado aos sujeitos pronunciantes, a exigir deles um novo pronunciar” (FREIRE, p. 45). Esta situação diferencia-se muito daquela identificada na

iniciação científica (CUNHA; CARVALHO, 2005), no qual somente identificamos aquilo que chamamos de “o não compartilhamento da observação do fenômeno”.

5.1.2 Não-compartilhamento da observação do fenômeno em condições que o procedimento estava garantido

Por outro lado, nesta experiência também identificamos situações nas quais, embora já ocorresse o compartilhamento do procedimento de realização do experimento, ou seja, os alunos giravam a água em torno do eixo, o compartilhamento da observação do fenômeno não estava ainda garantido. Por exemplo,

G7 – As modificações que ocorrem é quando giramos a garrafa percebemos que a parte de cima fica mais escura, porque vai pouca água para a parte de cima, por isso que fica clara.

Nesta situação, fica claro que há compartilhamento de que a garrafa está girando em torno do eixo, mas isso não ocorre quanto à observação da concavidade da superfície da água. Esta situação sugere uma segunda categoria pela qual a configuração do fenômeno físico em problema está envolvida: o não-compartilhamento da observação do fenômeno em condições em que o procedimento estava garantido.

Entretanto a configuração da categoria anterior parece-nos ampla demais para abarcar as várias situações envolvidas na realização do experimento, sendo que esta segunda categorização sugeriu-nos sua subdivisão em dois tipos: a não-enunciação do fenômeno e a enunciação de outros fenômenos irrelevantes para a configuração do fenômeno físico envolvido em problema, com a qual se parece mais a resposta anterior. Parece que existe, nesse caso, uma trivialidade no enunciado – a superfície da água torna-se côncava quando a garrafa está em rotação em torno do eixo – como se a concavidade da superfície da água fosse uma consequência natural da rotação da garrafa e não fosse necessário que fosse enunciado para expressá-la. Daí que o fenômeno seja enunciado de outras maneiras ou que não seja enunciado. Um exemplo parecido seria realizar a experiência de soltar objetos próximos à superfície da Terra e perguntar aos alunos o que acontece. O enunciado 'objetos soltos próximos à superfície da Terra caem em direção ao centro da Terra' é tão inseparável do fato de que objetos soltos próximos à superfície da Terra que os alunos ficam em dúvida quando são solicitados a enunciar o fato. Neste caso,

é comum obtermos o silêncio desses alunos em dúvida diante de perguntas desse tipo, como se eles esperassem que acontecesse algo diferente ao soltar objetos próximos da superfície da Terra que eles não viram.

Assim, essa categoria sugere-nos que o enunciado 'a superfície da água torna-se côncava quando a garrafa está em rotação em torno do eixo' corresponde a uma interpretação natural do fenômeno feita pelos alunos, de modo que não haveria necessidade de ser enunciada e nem colocada como problema. Isso explica por que os alunos, ao invés de enunciarem a concavidade da superfície da água quando a garrafa está em rotação em torno do eixo, são forçados a enunciar outras observações realizadas por eles, já que não sentem a necessidade de enunciarem aquilo que para eles trata-se de algo óbvio, mas que não entendemos como sendo uma interpretação natural.

5.1.3 Além da observação

Um aspecto que nos parece interessante ressaltar é o da extrapolação da observação do fenômeno, por exemplo, a associação de modelos matemáticos a alguma das características especiais do fenômeno físico. Por exemplo,

- 340 - JULIANA - Isso tem alguma coisa a ver com uma parábola?
- 341 - RODRIGO - E a concavidade?
- 342 - JULIANA - É aberta assim (faz com as mãos).
- 343 - AILSON - Isso.
- 344 - RODRIGO - Forma uma parábola.
- 345 - JULIANA - É porque a gente *tava* na aula de matemática.
- 346 - AILSON - Isso, forma uma parábola.
- 347 - DAIANA - Olha, olha.
- 348 - LEANDRO - Num to vendo nada.
- 349 - AILSON - JULIANA, se eu fizesse um corte transversal (mostra o quadro) iria ser exatamente uma parábola.

No exemplo acima, a aluna consegue relacionar a concavidade da superfície da água com uma curva matemática produzida a partir de um corte vertical da superfície da água. Neste caso, caberia um enunciado mais sofisticado para o fenômeno, muito embora a aluna não o tenha emitido: 'a superfície da água forma uma parábola quando a garrafa está girando em torno do eixo'. Essa resposta sugere-nos o compartilhamento do fenômeno entre aluna e professor embora ainda não tenha sido colocado nenhum problema com relação a este fenômeno. Entendemos que 'colocar o fenômeno como problema' é uma tarefa do professor, que o faz na forma de pergunta.

Um aspecto interessante da experiência foi uma observação da característica matemática da curvatura formada pela superfície da água que uma aluna observou ser uma parábola. Essa observação ocorreu, segundo a aluna, porque na aula de matemática eles haviam estudado funções do segundo grau.

- 340 - JULIANA - Isso tem alguma a ver com uma parábola?
 341 - RODRIGO - É a concavidade?
 342 - JULIANA - É aberta assim (faz com as mãos).
 343 - AILSON - Isso.
 344 - MARIA RITA - Forma uma parábola.
 345 - JULIANA - É porque a gente *tava* na aula de matemática.
 346 - AILSON - Isso, forma uma parábola.
 349 - AILSON - JULIANA, se eu fizesse um corte transversal (mostra o quadro) iria ser exatamente uma parábola.

Este aspecto é importante para destacar o compartilhamento do fenômeno – aparência mais enunciado – já que neste caso os alunos compartilharam de uma aparência do experimento mais sofisticada (a superfície da água não forma uma curva qualquer, forma uma parábola) e enunciaram desta maneira, ou seja, houve então, um compartilhamento mais sofisticado ou completo do fenômeno. Pode-se dizer que não se esperava que fosse compartilhado este aspecto da curva, pois requeria uma carga de teoria que os alunos não tinham. O compartilhamento desse aspecto do fenômeno, contudo, só contribui para sua compreensão.

5.2 Identificação de variáveis relevantes

Após o compartilhamento do fenômeno físico e a sua configuração em problema surge, então, a busca por sua solução, o que, por sua vez, também ocorre em etapas, conforme pretendemos explicar, sendo que uma dessas etapas é a seleção das variáveis relevantes para a solução do problema.

5.2.1 Não-identificação das variáveis relevantes

Nesse sentido, outro obstáculo para a compreensão da problemática envolvida no experimento é a não-identificação das variáveis relevantes para a solução do problema.

G8 – A garrafa e a água movimentam-se em rotação, mas enquanto a garrafa gira em certa velocidade a água acompanha seu movimento, e quando paramos a

garrafa a água continua girando até perder sua velocidade e parar também. Isso tudo em movimento de rotação.

No caso acima, o aluno não consegue identificar as variáveis relevantes, do ponto de vista da física, para a compreensão do problema (quando paramos a garrafa a água continua girando até perder sua velocidade e parar também), limitando-se a fazer uma descrição do movimento da água. Em outras palavras, ele não menciona que a concavidade da superfície da água está relacionada com o movimento de rotação da água. Neste caso, entendemos que o aluno em questão ainda não compartilha o mesmo fenômeno com o professor, pois ele não enunciou que a concavidade da água varia de tamanho conforme sua velocidade de rotação. Embora tenha compartilhado parte da 'aparência' do fenômeno ao descrever o movimento da água e tenha também destacado que a água gira com velocidades diferentes em momentos diferentes, parece não ter ainda as bases observacionais para poder compreender como a concavidade da água está relacionada com a sua velocidade de rotação.

5.2.2 Variação das variáveis

Quando o aluno consegue identificar as variáveis relevantes para a compreensão do problema, a solução passa a ser a compreensão de como essas variáveis se relacionam,

G3 – Porque a garrafa está em movimento em torno de um eixo. E quanto maior a velocidade maior o redemoinho.

G7 – Tudo depende da velocidade com que giramos a garrafa. Se girarmos mais rápido forma um redemoinho e se girarmos mais fraco a garrafa se movimenta, mas a água fica parada.

Em G3 percebemos que houve uma enunciação bastante completa do fenômeno. No exemplo acima, G7, é bem interessante a maneira como o aluno relaciona a concavidade da superfície da água com a velocidade de rotação da garrafa. Neste caso, houve uma incoerência devido aos efeitos mínimos que ocorrem quando a velocidade de rotação da garrafa é pequena, ou seja, a concavidade da superfície da água torna-se imperceptível, muito embora ainda continue existindo.

De qualquer forma, percebemos nessas falas que os alunos já compartilham o mesmo fenômeno com o professor, pois enunciam que a concavidade da água depende do

movimento de rotação da garrafa em torno do eixo e ainda que o tamanho da concavidade relaciona-se diretamente com a velocidade de rotação da garrafa.

5.3 O entendimento do movimento

5.3.1 O entendimento do movimento (I)

Considerando a dificuldade que os alunos têm de expressar seu entendimento sobre os conceitos de movimento e referencial normalmente com significados implícitos nas aulas, como concordamos anteriormente (BORGES; AMANTES, 2003), foi feita uma pergunta direta, antes da discussão do experimento, somente sobre o entendimento do conceito de movimento, já que esperávamos que o aluno também utilizasse o termo ‘referencial’ para responder. Assim sendo, não foi solicitado aos alunos que explicitassem (ou tentassem) seu entendimento sobre o conceito de referencial porque não queríamos influenciar suas respostas e, portanto, não foi sequer mencionado o termo ‘referencial’. As respostas que se seguem concordam com Borges e Amantes (2003) sobre a dificuldade em expressar esse entendimento. Esta nossa constatação só vem reafirmar a necessidade de estratégias que visem um entendimento maior do conceito e não somente sua aplicação em situações problema (AMANTES; BORGES, 2005).

- 372 - AILSON - O que vocês entendem por movimento?
 375 - MARINA - Quando você desloca de um lugar para outro.
 376 - PAULA - Quando você não está parado.
 377 - RODRIGO - Uma coisa que se mexe.
 378 - AILSON - Espera aí, um de cada vez? PAULA?
 379 - PAULA - Eu falei assim... É algo que está se movimentando, não está parado, e... não está no mesmo local, que se movimenta de um local para outro.
 386 - JULIANA - É quando você sai de um lugar e vai até o outro.
 387 - RODRIGO - Não, assim é translação, falar o movimento, literal, movimento é quando se mexe, é quando se mexe.
 388 - JULIANA - É quando sai de um lugar e vai até o outro
 389 - RODRIGO - É translação.
 391 - RODRIGO - Isso é translação só.
 395 - DAIANA - Ahh... o pessoal falou que... que... se movimenta de um lugar para outro, uai.
 398 - MARINA - É quando se mexe....deslocamento de um ponto ao outro.quando não está parado
 400 - JULIANA - Quando a velocidade é diferente de zero.
 402 - LEANDRO - Tava parado e aí se move até algum lugar.

No diálogo acima podemos notar a dificuldade dos alunos em encontrar

palavras para produzir enunciados coerentes utilizando a palavra ‘movimento’, muitas vezes utilizando a própria palavra para explicá-lo. Essa dificuldade de enunciação parece advir também de uma interpretação natural da idéia de movimento, na qual movimentar significa simplesmente mudar de posição na Terra. A idéia de movimento predominante entre os alunos está ligada à noção de variação temporal de posição em um referencial deixado implícito – a Terra: se mantém a posição (em relação à Terra), está parado, ou seja, não está em movimento; se a posição (em relação à Terra) muda, desloca-se, ou seja, está se movimentando.

Esta idéia de movimento estaria de acordo com a Física newtoniana se a posição a que se referem esses alunos se encontrasse em um referencial inercial com velocidade nula. Neste caso, qualquer corpo que variasse sua posição estaria em movimento neste referencial. Ou seja, se todos os referenciais com os quais estamos tratando tivessem velocidade nula, o movimento poderia ser descrito da forma como os alunos fizeram: variação temporal da posição naquele referencial. No entanto, como estamos tratando de referenciais inerciais com os quais não existe diferença entre estar com velocidade constante diferente ou não de zero, a idéia presente entre os alunos mostra-se em defasagem com relação à Física newtoniana.

Dessa forma, podemos constatar que a noção de 'movimento' presente no imaginário dos alunos é aquela em que os movimentos aparentes são idênticos aos movimentos reais. Se o que pretendemos é possibilitar aos alunos a compreensão do experimento do balde de Newton, certamente teremos que lhes proporcionar a posse da conceituação galileana de movimento, que já era suposta pelo próprio Newton por ocasião da formulação do problema do balde.

Assim sendo, reforçamos mais uma vez a consideração de Borges e Amantes (2003) em procurar estratégias de ensino nas quais os conceitos físicos, principalmente aqueles básicos para o entendimento de uma teoria, sejam tratados de forma a visar seu maior entendimento e não deixar implícito seu significado na aplicação na resolução de problemas.

5.3.2 O entendimento do movimento (II)

Na busca pelo entendimento do conceito de movimentos relativos foi necessário utilizar uma situação real, na qual dependendo do referencial um corpo estava

em movimento ou não. Esta situação foi conflituosa em alguns momentos para os alunos (406-407), considerando suas enunciações anteriores relacionadas ao movimento. Dessa forma, os próprios alunos sentiram a necessidade de construir uma definição de movimento, o que ocorreu com a utilização de um referencial (409).

- 399 - AILSON - E você disse deslocamento de um ponto ao outro. Então vem cá.
(...)
403 - AILSON - Aí a gente se move e vem e pára.
404 - (os dois saem juntos)
405 - AILSON - Você estava em movimento em relação a mim?
406 - MARINA - A você? (pausa e pensa) não.
407 - AILSON - Mas você deslocou de um ponto ao outro?
409 - JULIANA - Ela estava em movimento em relação a gente (que estava parado).
410 - AILSON - Isso.
411 - AILSON - Agora vocês estão aprofundando o conceito de movimento. Aí tem que incluir isso, o que significa isso. Ela estava em movimento em relação a vocês, mas não estava em movimento em relação a mim.
412 - JULIANA - E você também estava em movimento.
413 - AILSON - Eu também tava em movimento?
414 - JULIANA - Sim você também foi.
415 - AILSON - Mas em relação a ela eu não estava em movimento.
416 - MARINA - Em relação a um observador externo.
417 - JULIANA - A nós. Pra gente você também estava em movimento e pra ela você não estava.
418 - MARINA - Depende do referencial.
419 - AILSON - Isso, depende do referencial. Então o movimento depende do referencial. Vamos lá.
420 - (pausa)
421 - AILSON - E aí, o que vocês entendem agora por movimento?
422 - RODRIGO - É...
423 - MARINA - Que o movimento depende do referencial.
424 - RODRIGO - Que movimento é de alguém pra outro. Pra mim ela tá parada agora pra outro ela pode tá em movimento.
425 - MARINA - É depende do referencial.

Nesta situação, houve um avanço nas enunciações relacionadas ao termo ‘movimento’ aproximando os modos de enunciar do professor e dos alunos, de modo que podemos então falar em termos do ‘fenômeno movimento’, que até agora não tinha sido ainda mencionado, supondo que a enunciação de um fenômeno pressupõe algum tipo de intencionalidade por parte daquele que enuncia uma intenção de problematizar.

Nos casos da curvatura da água e da maneira de girar a garrafa, essa intencionalidade está à mão, pronta para o uso que o professor pretende dar a ela, porque os alunos estão muito familiarizados com garrafas e água. Nesse caso não, pois para poder dirigir o olhar para o movimento enquanto problema foi preciso trazer os alunos para a perspectiva de uma maneira de pensar que foi construída no século XVII, ou seja, esse é

um fenômeno que somente pode ser percebido depois que se permite aos alunos o acesso aos óculos. Nos dois casos, podemos interpretar que ‘problematizar é compartilhar a maneira de enunciar um fenômeno’, mas nesse segundo caso não é direta a passagem das ‘interpretações naturais’ para o fenômeno, ou seja, das concepções espontâneas sobre movimento para a visão galileana.

No caso acima, o professor proporcionou aos alunos uma situação na qual o enunciado do fenômeno movimento feito por eles (um corpo está em movimento quando muda de posição) entra em conflito com uma situação real (uma pessoa andando ao lado da outra pessoa). Assim, os alunos viram-se obrigados a modificarem o enunciado do fenômeno movimento como feito anteriormente eles deixam implícito aquela significação, ou seja, os dados nos sugerem que a noção do fenômeno movimento presente nos alunos sofreu alguma alteração avançando em um sentido mais adequado em física.

Entretanto, mesmo com esta situação, um aspecto de movimentos relativos que não foi abordado foi que cinematicamente não podemos dizer qual corpo está em movimento, quando existe um movimento relativo uniforme entre dois corpos. Somente podemos afirmar que existe um movimento relativo entre eles. Esse aspecto ainda pode produzir nos alunos um falso entendimento do conceito de movimento, que consiste em afirmar que existe um movimento absoluto no qual os outros movimentos poderiam ser comparados. No exemplo anterior, em que os alunos mudam de posição em relação à Terra mas não mudam de posição em relação um ao outro, o movimento absoluto consiste no movimento dos alunos partindo da suposição que a Terra ficou parada (em relação a este espaço absoluto) enquanto eles (os alunos) se moviam. Os alunos, neste caso, não perceberam que se, ao invés do movimento dos alunos (em relação a este espaço absoluto), a Terra se movimentasse de forma que a posição dos alunos em relação à Terra variasse, eles também estariam em movimento em relação à Terra. Ou seja, não existe nenhum argumento, no âmbito da Relatividade Galileana, que garanta que são eles, os alunos, que estão em movimento e não a Terra. Cinematicamente falando só sabemos que existe um movimento relativo entre a Terra e os alunos.

Essa enunciação do fenômeno relativa ao movimento vai além da enunciação feita pelos alunos. É uma enunciação complexa e exige um grau de conhecimento teórico que vai além daquele que os alunos puderam acessar naquele momento.

5.3.3 O movimento da água

Após um breve entendimento sobre o conceito do fenômeno ‘movimento’ os alunos passaram então a analisar o movimento da água na garrafa. Este episódio é bastante rico, pois traz algumas divergências entre os alunos, o que os obrigou a examinar mais atentamente o movimento da água, a fim de convencer os colegas.

- 426 - AILSON - E então o que vocês observaram quando a garrafa está parada e quando a garrafa está girando em torno de seu próprio eixo?
 427 - PAULA - Quando a garrafa está parada a água está em movimento.
 428 - DAIANA - Quando a garrafa está em movimento a água está parada.
 429 - AILSON - Não, espera aí, não ouvi ninguém.
 430 - PAULA - A garrafa está parada e a água está em movimento.
 431 - RODRIGO - Não, agora, olha aí.
 432 - MARINA - A água está parada.
 433 - AILSON - A garrafa está parada e a água está parada.
 434 - RODRIGO - Não a água está tremendo.
 435 - (risos)
 436 - DAIANA - Deixa a garrafa quieta aí.
 437 - RODRIGO - Agora os dois estão parados: a água e a garrafa.
 438 - MARINA - Isso.
 439 - AILSON - E depois, quando eu começo a girar (a garrafa)?
 440 - DAIANA - A água fica parada e a garrafa fica em movimento, uai.
 441 - RODRIGO - Não, os dois rodam.
 442 - LEANDRO - Não, os dois rodam. Os dois vão entrar em movimento.
 443 - PAULA - Só que a água está em maior velocidade que a garrafa.
 444 - RODRIGO - Menor, menor. A garrafa roda mais rápido que a água.
 445 - PAULA - Não a água roda em maior velocidade que a garrafa.
 446 - RODRIGO - Não (enfático)
 447 - PAULA - Não é a água porque a garrafa pára...
 448 - MARINA - Não porque a garrafa pára e a água fica em movimento.
 449 - RODRIGO - Ahh... é mesmo, é mesmo.

O fenômeno, neste caso, consiste no movimento da água em relação à garrafa, como o próprio Newton relatou quando realizou sua experiência. Inicialmente, o movimento da água em relação à garrafa é máximo (pois a garrafa estava girando, mas a água ainda não tinha começado a girar) e não havia concavidade na sua superfície. No entanto, à medida que a água começava a girar, ou seja, que diminuía seu movimento em relação à garrafa, a sua superfície tornava-se côncava, até que atingia sua máxima velocidade de rotação e, portanto, seu movimento em relação à garrafa era nulo e sua superfície, côncava. Neste caso, mais uma vez, os alunos parecem ter se prendido à aparência do fenômeno físico, muito embora não tenham obtido um consenso, pois em diferentes momentos a velocidade da água em relação à garrafa era diferente. Esses alunos prenderam-se muito ao final do movimento quando a garrafa parava e a água ainda mantinha uma pequena velocidade e uma pequena concavidade. Entretanto, não chegaram

a identificar o movimento da água, nem no início, quando a garrafa começava a girar, e nem durante a fase estável do experimento, quando a água e a garrafa mantinham a mesma rotação. A enunciação desse fenômeno foi conflituosa até o fim da experiência e possivelmente os alunos ainda não consigam identificar e enunciar o movimento da água na garrafa em diferentes momentos.

5.3.4 Sobre a concavidade superfície da água

Ao serem perguntados sobre o porquê da superfície da água tornar-se côncava quando a garrafa estava girando, novamente os alunos se prenderam às aparências do fenômeno sendo apenas capazes de descrevê-lo.

- 461 - AILSON - (...) E o que acontece quando a água está se mexendo?
 462 - LEANDRO - Ela vira côncava.
 463 - AILSON - Todos vocês chegaram a ver isso?
 464 - RODRIGO - Sim.
 465 - AILSON - A superfície da água se tornou côncava. E a nossa pergunta era: por que a superfície da água se tornou côncava quando a garrafa está girando?
 466 - LEANDRO - Porque está em movimento.
 467 - RODRIGO - É, porque está em movimento.
 468 - AILSON - Porque está em movimento, e vocês?
 469 - MARINA - A água está subindo nas laterais.
 470 - RODRIGO - Ela está em movimento de concavidade.
 471 - AILSON - À medida que a água está adquirindo...
 472 - RODRIGO - Velocidade
 473 - AILSON - Movimento... vai adquirindo velocidade, ela vai subindo pelas paredes. Tanto é que ela está parada e a superfície está plana e a garrafa começa a entrar em movimento...

Ainda neste caso, o aluno atribuiu uma relação de causalidade à concavidade da água.

- 474 - RODRIGO - Aí vai subir e fazer um buraco no meio, vai para os cantos. Aí no meio fica sem água. Isso, né (mostrando o experimento)? A rotação empurra a água para os lados, aí no meio fica sem água.
 (...)
 511 - AILSON - Por que a superfície da água se torna côncava quando a água está girando?
 512 - RODRIGO - É porque a água vai para os lados aí fica tipo um buraco, um lugar oco no meio.
 513 - AILSON - E por que a água vai para os lados?
 514 - RODRIGO - Por causa da rotação.

A atribuição da concavidade da superfície da água à rotação da água demonstra

que o aluno considerava uma relação de causalidade – rotação (causa) empurra a água para os lados (efeito) – sem, no entanto, descobrir quem era o agente responsável por este fenômeno. Mais uma vez, o aluno manteve-se preso apenas à aparência do fenômeno, sem ser capaz de enunciá-lo utilizando conceitos teóricos que já haviam sido aprendidos como, por exemplo, a força.

Esse diálogo sobre a enunciação do fenômeno do movimento da água em relação à garrafa e sua relação com a concavidade de sua superfície manteve-se por mais tempo, sendo que não houve evolução das últimas falas. Entretanto, mais a seguir, uma aluna (547) arriscou-se um pouco com algumas afirmações.

- 543 - AILSON - E aí eu ainda pergunto: por que acontece a concavidade?
 544 - LEANDRO - Por causa da velocidade da garrafa.
 545 - RODRIGO - Rotação.
 546 - AILSON - Por causa da velocidade da garrafa.
 547 - PAULA - Ahh eu acho...não sei se vou falar bobeira mas eu acho que é porque a água só tem a garrafa pra apoiar, ela não tem muito espaço pra sair. É dependente do espaço.
 548 - (risos)
 549 - PAULA - Ahh eu acho que é isso.
 550 - RODRIGO - Também acho que se não houvesse parede ela iria abrir.
 551 - LEANDRO - Como que é garrafa vai criando velocidade pra frente.
 552 - AILSON - Por que você acha que iria abrir mais?
 553 - RODRIGO - Porque não tem parede, né iria abrir né.
 554 - JULIANA - Por que é um movimento de rotação, sei lá, gira em torno do eixo.
 555 - RODRIGO - Porque é em torno do eixo o movimento.
 556 - AILSON - É por aí, a gente só precisa desenvolver melhor.
 (...)
 560 - PAULA - Porque a água só está apoiada aqui na parede da garrafa. Ela não tem espaço ideal pra ela correr, pra ela se...
 561 - RODRIGO - Espalhar.
 562 - PAULA - Espalhar. Ela só tem a garrafa, dependendo da velocidade da água ela vai bater nas laterais e tipo vai se espalhando pros lados.
 563 - RODRIGO - Aí fica na beirada assim . e no meio fica sem água.
 564 - PAULA - Vai se espalhando.
 565 - JULIANA - Ela continua girando.
 566 - MARINA - A água depende do movimento da garrafa.
 567 - PAULA - Porque a água está ...
 568 - RODRIGO - mais rápida que a garrafa.
 569 - PAULA - Não tipo... é isso, mas ela tá.....ahh eu num sei explicar agora.
 570 - AILSON - Tenta falar com suas palavras.
 571 - PAULA - Esse é o caso. Eu não sei como vou falar.
 572 - RODRIGO - Fala com a boca.
 573 - PAULA - Eu acho assim que ela só está... é apoiada na garrafa. O movimento é da garrafa. Tá de frente com a garrafa. Só que não é isso que eu quero falar.
 574 - MARIA RITA - É por causa disso que a água sobe?
 575 - PAULA - É por causa do espaço, não tem espaço.
 576 - RODRIGO - Não é por causa do espaço e da rotação da garrafa.

Nos diálogos acima, podemos perceber que os alunos atribuíram aos corpos em movimento de rotação a propriedade de afastamento do eixo de rotação e como, na garrafa, a água não tem como se afastar do seu eixo de movimento. Conseqüentemente, ela sobe pelas paredes da garrafa. Essa atribuição parece-nos uma interpretação natural desenvolvida por eles.

A discussão sobre o movimento de rotação da água continua no encontro seguinte

5 - AILSON - Isso. Todo mundo já conseguiu observar que quando você gira a garrafa a superfície da água se torna côncava. Agora a pergunta difícil era 'por quê?'

(...)

17 - PAULA – E tipo, se a velocidade diminui não fica côncava e se a velocidade aumenta ela fica.

(...)

22 - PAULA – Tipo assim... a parede dela faz ela subir e ficar daquele jeito.

(...)

24 - PAULA – Tipo... a parede dela, assim ...do lado, não faz ela ficar só naquilo, tipo... a água.... ah, eu não lembro direito, a gente já conversou sobre isso.

(...)

26 - MARINA – é porque a água sobe pelas paredes do lado.

27 - PAULA – Isso.

28 - AILSON – A água sobe pelas paredes, né?

29 - RODRIGO – Quanto mais roda mais sobe.

Nesse caso, eles ainda continuam se mantendo presos à aparência do fenômeno, ou seja, atribuindo a uma propriedade natural do movimento de rotação o fato da água subir pelas paredes da garrafa. Entretanto um aluno destaca a altura de subida com a velocidade de rotação. É importante ressaltar que este aluno atribui uma relação da concavidade da superfície da água à sua velocidade absoluta de rotação. Porém não nos fica claro que o aluno compreende o movimento relativo da água, ou seja, a fala do aluno, nesse caso, não nos dá pistas sobre como ele compreende que embora haja concavidade na superfície da água e que a água mantenha um movimento em relação a tudo que está de fora da garrafa, ela (a água) não está em movimento em relação à garrafa. Tanto que essa discussão aparece logo em seguida ao serem perguntados sobre os diferentes movimentos relativos da água sem que houvesse algum consenso:

42 - RODRIGO – A nós e à garrafa.

43 - DAIANA – Não, em relação a nós.

44 - RODRIGO – Não, em relação a nós e à garrafa porque a água gira mais rápido que a garrafa.

45 - AILSON – Esta era uma outra questão.

46 - DAIANA – Não, mas em relação à garrafa ela está parada. Só quando a garrafa pára é que a água continua girando.

Novamente neste caso podemos perceber que os alunos mantiveram-se presos à aparência do fenômeno, ao relatarem, por exemplo, que a água em determinado momento está mais rápida que a garrafa. Por outro lado, mais à frente uma aluna parece ter compreendido parte da problemática que envolve o movimento relativo da água em relação à garrafa nas duas situações, ou seja, quando a garrafa está parada e quando a garrafa está em movimento, percebendo que nos dois casos a água não mantém movimento algum em relação à garrafa. Ela parece se espantar ao perguntar por que então a superfície da água se torna côncava.

72 - PAULA – Mas se ela (a água) está parada e (sua velocidade) é zero e se ela está em movimento e (sua velocidade) é zero porque (a superfície se torna côncava)?

Outra aluna também compreendeu o problema logo em seguida, percebendo inclusive que a concavidade da água deve-se ao seu movimento, muito embora ela ainda se questione em relação ao que é este movimento. Porém o mais importante neste trecho é a enunciação do fenômeno do movimento da água em relação à garrafa realizado pela aluna. Foi um enunciado bastante sofisticado, o que nos leva a inferir que, neste caso, a aluna passou a compreender o movimento relativo da água.

83 - MARINA – Que em relação à garrafa não é porque se ela está parada a água também está e a velocidade (relativa) é zero, e se ela está rodando a água também está e a velocidade também é zero.

5.4 O entendimento de ciência

Propor aos alunos do ensino médio a realização da Experiência do Balde de Newton teve como intuito discutir, além dos conceitos restritos ao domínio da física, as concepções sobre a natureza da ciência, já que este experimento histórico utilizado por Newton para definir a noção de movimento absoluto e movimentos relativos tornou-se controverso na medida em que permitiu uma outra interpretação na qual só existiam movimentos relativos. A partir da possibilidade da discussão dos aspectos históricos e controversos do experimento puderam-se discutir as concepções sobre natureza da ciência

que, em sua maioria, é tida sempre como uma verdade absoluta. onde não havia espaço para dúvida, incerteza, ou controvérsia. No entanto, antes da realização e da discussão da experiência propusemos a resolução de um questionário, e logo após discutimos conjuntamente as respostas. Destacamos aqui algumas de nossas observações iniciais.

5.4.1 O entendimento de ciência

O entendimento de ciência presente no imaginário dos alunos também foi objeto de nosso trabalho, de forma que perguntamos diretamente qual era esse entendimento. Embora as respostas dos alunos tenham sido muito sintéticas, é possível identificar algumas características interessantes. Além disso, durante as discussões pudemos observar diversos pontos significativos sempre orientados pelas respostas ao questionário. Quando indagados sobre o que é ciência, as respostas convergiram para a focalização do seu objeto de estudo: a natureza. Alguns alunos definiram ciência focalizando objetos particulares de estudo (19, 25, 27). Além disso, todos os alunos fizeram alguma menção ao caráter metodológico da ciência, referindo-se a ela como uma forma de estudo (21) ou como um modo de interagir com a natureza (18).

18 - RODRIGO - A ciência é um modo de interagir com a natureza e um modo de pensar no mundo em que vivemos.

19 - DAIANA - A ciência estuda o ciclo da vida dos animais e dos seres vivos.

21 - JULIANA - Eu coloquei: (leu resposta) a ciência é uma forma de estudo que estuda o tempo, a natureza.

25 - MARINA - Acho que estuda o porquê de todas as coisas existentes e...

27 - LEANDRO - Eu coloquei assim: a ciência estuda a existência dos seres e os fatos que ocorrem na natureza e na vida

QB6. PAULA - Bom, eu entendo que a ciência é uma forma de estudo onde se estuda tudo e todos, onde descobrimos coisas que estão além do nosso alcance. Uma forma de estudar os seres vivos e a natureza.

5.4.2 Teoria e experimento

Dando continuidade ao questionário, foi perguntado aos alunos como o cientista trabalha. Com essa questão podemos destacar o papel da teoria e da experimentação no trabalho do cientista.

36. DAIANA - Fazendo experimentos, pesquisando.

- 37. PAULA - Estudando bastante, pesquisando, elaborando.
- 39. DAIANA - Fazendo experimentos, pesquisando, até chegar a um conceito e fazer uma teoria
- 44. JULIANA - Eles observam.
- 46. PAULA - A base de tudo é a pesquisa, eles elaboram o experimento deles, estudam bastante para que aquele experimento, aquela pesquisa dê certo lá na frente.
- 48. RODRIGO - Criando uma teoria e fazendo um experimento.
- 50. JULIANA - Eles observam, fazem as teorias, aí eles fazem um experimento para comprovar a teoria.
- 52. MARINA - Fazendo pesquisas e criando experimentos lançando teorias e hipóteses.
- 53. LEANDRO - Fazendo pesquisas e criando experiências e teóricas
- 55. MARINA - É eu acho que eles fazem leis, observações...

Outro aspecto interessante a ser destacado é a descrição feita pelos alunos do papel da experimentação na ciência, o que, para essa aluna (50), serve para comprovar a teoria.

QB12. JULIANA - Um cientista trabalha fazendo teorias e depois fazendo experimentos para poder prová-las.

5.4.3 A valorização da pesquisa por PAULA

A aluna PAULA mostrou um aspecto interessante: uma grande valorização do estudo e da pesquisa na construção científica. Muito embora ela não deixe claro em que sentido utiliza a palavra ‘pesquisa’, muito pelo contrário, suas falas são bem confusas, é mais provável que utilize o sentido mais conhecido por ela, ou seja, o sentido usual de ‘pesquisa’ na educação básica é aquele em que o aluno irá buscar informação sobre um determinado assunto. Neste sentido, podemos interpretar que esta aluna possui uma imagem de cientista como uma pessoa estudiosa, que pesquisa (estuda) muito. Por outro lado, o sentido mais correto em que esta aluna poderia empregar a palavra ‘pesquisa’ para descrever o trabalho do cientista seria aquele em que ele, o cientista, investiga algo ou alguma coisa que não conhece, utilizando para isso, alguns procedimentos como a realização de experimentos e elaboração de teorias, também contemplados em suas falas.

- 16. PAULA - Eu falo assim que é uma base de estudo, muita pesquisa, elaboração de [teorias]...
- 37. PAULA - Estudando bastante, pesquisando, elaborando
- 46. PAULA - A base de tudo é a pesquisa, eles elaboram o experimento deles, estudam bastante para que aquele experimento, aquela pesquisa, dê certo lá na frente.

63. PAULA - Eu acho que é descoberta porque eles estudam...

65. PAULA - ... eles tem que estudar pra chegar até ali na frente.

Q13 - PAULA - Bom, imagino que ele estuda muito pesquisando, elaborando experimento, mas com muita pesquisa.

Mesmo um pouco confuso, nas falas da aluna PAULA podemos perceber que possui uma imagem de ciência e do trabalho do cientista mais distinto dos demais alunos que tiveram mais dificuldades em responder essas questões.

5.4.4 A ciência é descoberta ou inventada

Continuando o debate sobre as concepções da natureza da ciência, um momento interessante foi a questão sobre a descoberta ou a invenção da ciência. Mais interessante ainda foi a justificativa de uma aluna para argumentar que a ciência é inventada e não descoberta (61; 74).

61 - JULIANA - É, eu acho que é inventada.

63 - PAULA - Eu acho que é descoberta porque eles estudam...

(...)

65 - PAULA - (...). Eles tem que estudar pra chegar até ali na frente.

66 - JULIANA - Porque eles criam a teoria pra depois fazer o experimento para saber que era verdadeiro. Porque se ela não for verdadeira ela não é descoberta.

74 - MARINA - Ahh... os dois juntos praticamente porque eles têm a necessidade de saber daquilo. Ai tem uma linha de raciocínio que eles usam. Ahh... sei lá, acho que eles fazem assim, lançam uma teoria, não, fazem um experimento primeiro, depois fazem a teoria. Mas às vezes nem sempre dá certo. É por isso que acho que não pode ser descoberta, tem que ser inventada.

82 - PAULA - Aí eles descobrem que a teoria estava errada, aí eles observam de novo, aí.

101 - JULIANA - É inventada porque, igual a MARINA falou, porque tem teoria que não dá certo. Praticamente ela inventa uma teoria. Ela depois ela vê se vai dar certo se é verdadeiro ou não.

104 - PAULA - Ahh... eu acho que eles não poderiam ter inventado porque como que eles vão sair do nada e inventar uma teoria.

Na fala 74 a aluna fica em dúvida sobre a idéia de o experimento vir antes ou depois da teoria e consequentemente se a ciência seria inventada ou descoberta. Muito embora tenha sido pequena a discussão, este poderia ser um momento muito importante para se discutir as questões relacionadas à natureza da ciência. Neste caso, podemos perceber que não houve muita interferência nem direcionamento das questões pelo professor, ou seja, não houve um aprofundamento na discussão.

5.4.5 O que fazer quando uma teoria dá errado

Um dos momentos mais interessantes da discussão a respeito das concepções sobre a natureza da ciência foi quando falamos a respeito dos erros que ocorrem durante uma investigação científica ou mesmo quando uma teoria se mostra incorreta. Surpreendendo o pesquisador, os alunos trouxeram exemplos de teorias científicas mal sucedidas que foram substituídas por outras (226).

- 82 - PAULA - Ai eles descobrem que a teoria estava errada, aí eles observam de novo, aí.
 145 - JULIANA - E se não comprovou eles vão partir para outra teoria.
 225 - AILSON - A pergunta 6: Quando uma teoria se mostra incorreta o que acontece?
 226 - DAIANA - Eles se discutem, tipo a teoria de Dalton eles discutiam em si até chegar em um conceito.
 227 - LEANDRO - Eles fazem tudo de novo. Começam do zero.
 228 - JULIANA - Novas observações, novas teorias.
 229 - PAULA - Ou pode ser anulada. Acabar com a que está lá e começar outra teoria, outro experimento.
 230 - AILSON - Espera aí que eu não ouvi.
 231 - PAULA - Eu falei assim que pode ser anulado aquele experimento que eles fizeram que deu errado. Eles anulam e começam outra teoria, outra pesquisa, outro estudo até chegar na base dos conceitos que eles querem.

Um aspecto bem interessante que uma aluna trouxe foi de que embora uma teoria substitua outra teoria anterior, ela não abandona por completo todos os conceitos anteriores. No exemplo citado ela esforça-se para ser compreendida até conseguir dizer o que existe na atual teoria da teoria anterior (249).

236. MARINA - Mais ou menos. Talvez eles nem anulem completamente aquela teoria, mas algumas idéias dá pra pegar. Comprovam algumas coisas e vê o que não deu certo.
 237 - RODRIGO - É, algumas idéias que tinha lá eles pegam.
 238 - MARINA - Acho que elimina o que não deu certo, mas o que está mais ou menos assim eles pegam, eles aproveitam.
 239 - AILSON - Por exemplo, na teoria do Dalton o que se aproveitou?
 240 - RODRIGO - A teoria da bola da bilhar que...ele pensava que o átomo rodava em torno do núcleo. Uma coisa assim.
 241 - DAIANA - Bolinha maciça e indivisível.
 242 - RODRIGO - É
 243 - AILSON - Essa é a teoria do Dalton. Mas aí, como você falou, foi anulada. Aí o Rutheford veio e criou uma outra.
 244 - RODRIGO - Mas a outra vai ser aquela que eles pensaram que não era.
 245 - MARINA - É mais eles praticamente continuam isso daí porque... vamos supor assim.
 246 - AILSON - Isso, eu quero saber, o que continuou?
 247 - MARINA - O átomo. Tipo assim, não dá pra eles dizerem assim que a teoria do átomo caiu, vamos inventar outra coisa, agora o nome vai ser... sei lá

um outro nome qualquer.

248 - AILSON – Ahh... existia um átomo ainda, mas o átomo era diferente daquele átomo que o Dalton falou?

249 - MARINA - Isso. Aí eles continuam na base do átomo, não é assim, o átomo caiu, já era não existe mais teoria de átomo.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A experiência do Balde de Newton é, por um lado, uma experiência riquíssima em conceitos físicos envolvidos, tais como movimento relativo, referenciais, e muito embora seja de fácil realização é de difícil compreensão. Por outro lado, esta experiência envolve aspectos históricos e filosóficos ainda pouco explorados. A discussão que envolve a explicação para a concavidade da superfície da água no balde girante realizada pelo próprio Newton e pelos demais físicos contrários à sua posição enriquecem ainda mais a controversa experiência, de forma que ela se torna um caso singular para o estudo dos fenômenos do movimento através de uma abordagem histórico-filosófica.

Independente do paradigma que se pretenda adotar, esta experiência deveria ser de conhecimento obrigatório entre todos os cientistas e todos aqueles que estão iniciando neste mundo, como uma possibilidade concreta de estudar a construção histórica e controversa de conceitos científicos, bem longe daquela visão pronta e acabada da ciência.

Sendo assim, ressaltamos em primeiro lugar a possibilidade de problematização da natureza da ciência através da experiência do balde de Newton, através da possibilidade de conhecimento dos enfrentamentos dos cientistas com seus argumentos e suas discordâncias. Esta possibilidade surge num momento em que grande parte da população e dos alunos possuem uma visão distorcida do trabalho dos cientistas e da ciência. Desta forma, esta experiência pode vir a possibilitar aos alunos uma nova visão daquilo que vem a ser o trabalho dos cientistas e da ciência. Neste sentido, portanto, termos como teoria que experimento e observação não seriam apenas usuais, mas possuiriam mais significação para esses alunos.

Entretanto, dado o grau de complexidade da experiência, ressaltamos também que o planejamento para a mesma deve ser feito de maneira bem rigorosa, pois a compreensão do problema exige bastante conhecimento, o que na sua ausência poderia levar os alunos a se tornarem desestimulados, tornando a experiência um fracasso. Entendemos que este foi um dos motivos pelo qual os relatores da FAPESP negaram o financiamento do trabalho, e concordamos com eles de que se trata de uma experiência de complexo entendimento, porém discordamos quanto ao ponto de vista de que os alunos não podem ser apresentados a esta rica situação de aprendizagem porque, se bem elaborada, poderia contribuir para o entendimento não só de conceitos científicos envolvidos na mecânica como também de vivenciariam uma controvérsia histórica.

O reconhecimento pelos alunos do fenômeno físico envolvido na experiência, de acordo com nossas análises, foi bastante difícil, sendo que categorizamos algumas etapas que precisariam ser ultrapassadas, tais como o compartilhamento dos procedimentos experimentais e da observação e identificação do fenômeno, a desconsideração de outros fenômenos que a princípio se configuram para os alunos como relevantes, a extrapolação do fenômeno, no sentido da identificação das variáveis relevantes e do modo como elas se modificam.

Neste sentido, a primeira categoria que chamamos de compartilhamento dos procedimentos experimentais sugere que o aluno, a princípio, não compartilha com o professor dos procedimentos para a realização da experiência e, desse modo, vê na experiência aquilo que não existe. Esse não compartilhamento dos procedimentos era visto pelo professor como um obstáculo para a compreensão do fenômeno pelo aluno. No entanto, a partir da idéia de fenômeno de Feyerabend (2007) classificamos esse não-compartilhamento dos procedimentos como um não-compartilhamento do fenômeno, pois considerando como fenômeno = aparência mais enunciado, e que enunciado exige certo grau de conhecimento e teoria, em grande parte o não-compartilhamento do fenômeno deve-se mais ao fato que os alunos se detinham apenas na aparência do fenômeno, ou seja, detinham-se naquilo que de imediato lhes impressionava os sentidos, principalmente, senão exclusivamente, o sentido da visão.

O não-compartilhamento do fenômeno entre alunos e professor continuou tomando parte das discussões mesmo depois do compartilhamento dos conteúdos procedimentais. Entretanto, a partir do momento em que os conteúdos procedimentais foram compartilhados, ou seja, que os alunos realizaram a experiência da maneira que o professor desejava, ficou mais evidente a categoria não-compartilhamento do fenômeno, que inicialmente se dava pelo não-compartilhamento da observação do fenômeno. Ou seja, na realização do experimento alunos e professor viam coisas diferentes, ou, ao menos, enunciavam que viam. Ao girar a garrafa o professor enunciava que a superfície da água tornava-se côncava, mas os alunos enunciavam outros fenômenos do movimento de rotação da água. Isto acontece devido ao fato que o professor carregava uma carga teórica bem maior que os alunos, o que por sua vez não sugere que os alunos, quando compartilham do mesmo fenômeno que o professor, possuem a mesma carga teórica. Ou seja, o professor já sabia para onde olhar na experiência – para o formato da superfície da água – e, ao contrário, os alunos olhavam para os mais diversos aspectos que haviam sido

modificados depois que a garrafa entrou em movimento. A influência da carga teórica na visualização dos fenômenos já tem sido há muito discutida e acreditamos que esse foi mais um dos casos em que podemos observar nitidamente esta diferença de olhares. Os alunos que possuíam pouco referencial prendiam-se mais aos aspectos aparentes da experiência, àqueles que mais impressionam os sentidos, e neste caso, fenômeno é aparência. É importante notar que neste momento professor e alunos ainda não compartilham nem mesmo da aparência do fenômeno, ou seja, enquanto para o professor a superfície da água é côncava quando a garrafa está girando, para os alunos quando a garrafa está girando acontecem muitas coisas.

O compartilhamento da observação do fenômeno ou da aparência do fenômeno acontece quando os alunos observam a superfície curva da água quando a garrafa está girando, e até mesmo passam a descrever esta curva como uma forma bem conhecida por eles em matemática: uma parábola. De fato, se fizermos um corte vertical e analisarmos a superfície da água ela será uma parábola, e pode-se facilmente chegar à sua equação, assim como fizemos no capítulo 4 deste trabalho. A observação desta característica fez-nos inferir que os alunos, agora, passavam a compartilhar da mesma observação do fenômeno, ou da mesma aparência do fenômeno. Entretanto, compartilhar da mesma aparência do fenômeno não significa compartilhar do mesmo fenômeno, considerando que fenômeno é aparência mais enunciado. O compartilhamento do fenômeno entre professor e alunos demorou a ocorrer (se é que podemos afirmar que ocorreu).

O compartilhamento do fenômeno total, assim como entendemos, exigiria sua enunciação de forma a compreender, por um lado, os diferentes movimentos relativos da água nas duas situações e, por outro, o diferente aspecto da sua superfície nos dois momentos. Mesmo ao final da experiência, os alunos ainda demonstraram dúvidas quanto aos movimentos relativos da água, ou seja, os alunos não conseguiam enunciar os movimentos relativos da água. Isto nos sugere que, em parte, o fenômeno não foi compartilhado totalmente com os alunos.

Devemos ressaltar que, muito embora, o fenômeno total não foi compartilhado completamente com os alunos (o que podemos imaginar que já era de se esperar tendo em vista que a bagagem teórica dos alunos era bem pequena quando comparada com a do professor), a experiência mostrou-se significativa no sentido de proporcionar aos alunos uma oportunidade singular do estudo de conceitos físicos de forma a não ignorar as dimensões que, segundo Freire (2002), o fazem humano, ou seja, ressaltamos a

possibilidade que a experiência do Balde de Newton pode proporcionar para a humanização em ciência.

Essa humanização pode ser realizada através da problematização do mundo, ou da problematização da cultura. Entretanto, o ato de enunciar (pronunciar) o fenômeno físico (problema), de forma que o sujeito enunciator possa receber de volta o mundo problematizado, exige uma nova problematização. Da mesma forma, na realização da experiência do Balde de Newton, embora não houvesse um compartilhamento do fenômeno, ou seja, não houvesse uma aproximação entre professor e alunos na enunciação do fenômeno, houve enunciados pronunciados por sujeitos pronunciantes na intenção de se comunicar e compreender um fenômeno. Neste sentido, desde o princípio, o fenômeno passou a ser tratado como problema e, assim, a cada novo enunciado um novo problema emergia e, a cada novo problema, um novo enunciado era exigido. Dessa forma podemos interpretar que a construção de enunciados sobre a experiência do Balde de Newton através de seus conseqüentes pronunciamentos e sua volta problematizado ao sujeito proporcionou aos alunos uma transformação da realidade.

REFERÊNCIAS

AMANTES, A; BORGES, O. Entendimento sobre movimento relativo e sistema de referencia: o saber explicitar com indício do pensamento formal. In.: NARDI, R.; BORGES, O. (orgs). **Atas do 5º Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**. ATAS DO V ENPEC. n. 5. 2005. Bauru: ABRAPEC, 2005.

ASSIS, A. K. T. A experiência do balde de Newton. In: SIQUEIRA, A. F.; BASTOS FILHO, J. B. (eds). **Fundamentos de física moderna**. Maceió: EDUFAL, 1997. p.49-61.

_____. **Mecânica relacional**. Campinas: C.L.E., 1998. (Coleção C.L.E.: v.22)

_____.; PESSOA JR, O. Erwin Schrodinger e o principio de Mach. **Cadernos de Historia e Filosofia da Ciência**, v. 11, n. 02, p. 131-152, 2001.

_____.; ZYLBERSZTAJN, A. The influence of Ernest Mach in the teaching of mechanics. **Science and Education**, v. 10, n. 01, p. 137-144, 2001.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. Trad. RETO, L. A.; PINHEIRO, A. Lisboa: Edições 70, 1995.

BARROS, M. A.; CARVALHO, A. M. P. A história da ciência iluminando o ensino de visão. **Ciência e Educação**, v. 5, n. 1, p. 83-94, 1998.

BASTOS, F. O ensino de conteúdos de história e filosofia da ciência. **Ciência e Educação**, v. 5, n. 1, p. 55-72, 1998.

BAPTISTA, J. P.; FERRACIOLI, L. A evolução do pensamento sobre o conceito de movimento. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 21, n. 1, 1999.

BOGDAN, R. C.; BIKLEN, S. K. **Investigação qualitativa em educação**: uma introdução à teoria e aos métodos. Trad. ALVAREZ, M. J. et al. Porto: Porto, 1994. (coleção ciências da educação)

BORGES, O; AMANTES, A. O Entendimento de Estudantes do Ensino Médio sobre Sistema de Referência e Movimento Relativo. In.: **Atas do 4º Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**. ATAS DO IV ENPEC. n. 4. 2003. Bauru: ABRAPEC, 2003.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros curriculares nacionais para o ensino médio**. Brasília: MEC, 1999. 4v

_____. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros curriculares nacionais para o ensino médio +**: orientações educacionais complementares aos parâmetros curriculares nacionais. Brasília: MEC, 2002. 3v

CACHAPUZ, A.; PRAIA, J.; JORGE, M. Da educação em ciência às orientações para o ensino das ciências: um repensar epistemológico. **Ciência e Educação**, v. 10, n. 3, p. 363-381, 2004.

CARVALHO, A. M. P.; VANNUCCHI, A. O currículo de física: inovações e tendências nos anos noventa. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 1, n. 1, p. 3-19, 1996.

CARVALHO, W. L. P. **Cultura científica e cultura humanística**: espaços necessidades e reflexões. Tese de Livre docência, Ilha Solteira: FEIS, 2005.

CUNHA, A. V. **Visão não-hegemônica da mecânica**: análise de uma experiência no ensino médio. Monografia de conclusão de curso. Ilha Solteira: FEIS, 2005.

_____.; CARVALHO, L. M. O. A experiência do balde de Newton: diálogos com alunos do Ensino Médio. In. NARDI, R.; BORGES, O. (orgs). **Atas do 5º Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**. ATAS DO V ENPEC. n. 5. 2005. Bauru: ABRAPEC, 2005.

_____.; CARVALHO, L. M. O. A comunicação em ciência: avanço do diálogo em uma experiência de estágio. In. OLIVEIRA, A. J. S. (org). **Atas do 17º Simpósio Nacional de ensino de Física**. ATAS DO XVII SNEF. n. 17. 2007. São Luis: SBF, 2007.

DELIZOICOV, D. Sobre a produção do conhecimento científico. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 13, n. 3, p. 182-183, 1996.

DUARTE, M. C. A história da ciência na prática de professores portugueses: implicações para a formação de professores de ciências. **Ciência e Educação**, v. 10, n. 3, p. 317-331, 2004.

FEYERABEND, P. **Contra o método**. Trad. Cezar A. Mortari. São Paulo. EDUNESP, 2007.

FREIRE, P. **A importância do ato de ler**. São Paulo: Cortez/Autores Associados, 1982.

_____. **Pedagogia da esperança**: um reencontro com a pedagogia do oprimido. São Paulo: Paz e Terra, 1992.

_____. **Pedagogia da autonomia**: saberes necessários à prática educativa. São Paulo: Paz e Terra, 1996. (Coleção Leitura)

_____. **Educação como prática da liberdade**. 24.ed. São Paulo: Paz e Terra, 2000.

_____. **Pedagogia do oprimido**. 32.ed. São Paulo: Paz e Terra, 2002.

_____. **Extensão ou comunicação?**. 12. ed. São Paulo: Paz e Terra, 2002b.

GAGLIARDI, R. Cómo Utilizar la Historia de las Ciencias en la Enseñanza de las Ciencias. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 6, n. 3, p. 291-296, 1988.

_____.; GIORDAN, A. La Historia de las Ciencias: Una Herramienta para la Enseñanza. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 4, n. 3, p. 253-258, 1986.

GARCIA, R. **O conhecimento em construção**: das formulações de Jean Piaget à teoria dos sistemas complexos. Porto Alegre: Artes Médicas, 2002.

GARDELLI, D. A origem da inércia. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 16, n. 1, p. 43-53, 1999.

GATTI, S. R. T.; NARDI, R.; SILVA, D. A história da ciência na formação do professor de física: subsídios para um curso sobre o tema atração gravitacional visando às mudanças de postura na ação docente. **Ciência e Educação**, v. 10, n. 3, p. 491-500, 2004.

GIL-PEREZ, D. Contribución de la Historia y de la Filosofía de las Ciencias al Desarrollo de un Modelo de Enseñanza/Aprendizaje como Investigación. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 11, n. 2, p.197-212, 1993.

_____.; et al. Para uma imagem não distorcida do trabalho científico. **Ciência e Educação**, v. 7, n. 2, p. 125-153, 2001.

_____.; CARRASCOSA, J. Science learning as a conceptual and methodological change. **European Journal of Science Education**, v. 7, n. 3, p. 231-236, 1985.

GRECA, I. M.; FREIRE JR., O. A “crítica forte” da ciência e implicações para a educação em ciências. **Ciência e Educação**, v. 10, n. 3, p. 343-361, 2004.

HARRES, J. B. S. Uma revisão de pesquisas nas concepções de professores sobre a natureza da ciência e suas implicações para o ensino. **Investigações em Ensino de Ciências**. v. 4, n. 3, 1999.

KÖHNLEIN, J. F. K.; PEDUZZI, L. O. Q. Uma discussão sobre a natureza da ciência no ensino médio: um exemplo com a teoria da relatividade restrita. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 22, n. 1: p. 36-70, 2005.

KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. Trad. Boeira, B. V.; Boeira, N. 7. ed. São Paulo: Perspectiva, 2003. (Coleção debates, 115)

_____. A função do dogma na investigação científica. In: DEUS, J. D. (org.). **A crítica da ciência**: sociologia e ideologia da ciência. Rio de Janeiro: Zahar, 1974.

LABURÚ, C. E.; CARVALHO, A. M. P. Uma descrição da forma do pensamento dos alunos em sala de aula. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 17, n. 3, p. 243-254, 1995.

LABURÚ, C. E.; ARRUDA, S. M.; NARDI, R. Os programas de pesquisa de Lakatos: uma leitura para o entendimento da construção do conhecimento em sala de aula em situações de contradição e controvérsia. **Ciência e Educação**, v. 5, n. 2, p. 23–38, 1998.

MARANDINO, M. A prática de ensino nas licenciaturas e a pesquisa em ensino de ciências: questões atuais. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 20, n. 2, p. 168-193, 2003.

MARTINS, R. A. Sobre o Papel da História da Ciência no Ensino. **Boletim da Sociedade Brasileira da História da Ciência**, v. 9, p. 3-5, 1990.

_____. Arquimedes e a coroa do rei: problemas históricos. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.17, n. 2, p. 115-121, ago.2000a.

_____. Que tipo de historia da ciência esperamos ter nas próximas décadas? **Episteme**, v. 5, n. 10, p. 39-56, 2000b.

_____. Como não escrever sobre história da física: um manifesto historiográfico. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 23, n. 1, 2001.

MATTOS, C.; HAMBURGER, A. I. História da ciência, interdisciplinaridade e ensino de física: o problema do demônio de Maxwell. **Ciência e Educação**, v. 10, n. 3, p. 477-490, 2004.

MATTHEWS, M. R. History, Philosophy and Science Education: the current trend of reapproach. **Science & Education**, v.1, n., p.11-47, 1992.

_____. História, Filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.12, n.3, p.164-214, 1995.

MATURANA, H.; VARELA, F. **A árvore do conhecimento**. São Paulo: Palas Atena, 2001.

MELLADO, V.; CARRACEDO, D. Contribuciones de la Filosofía de la Ciencia a la Didáctica de las Ciencias. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 11, n. 3, p. 331-339, 1993.

MELLADO, V.; RUIZ, C.; BERMEJO, M. L.; JIMÉNEZ, R. Contributions from the Philosophy of Science to the Education of Science Teachers. **Science & Education**, v. 15, p. 419-445, 2006.

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

MION, R. A.; SAITO, C. H. (orgs.). **Investigação-ação**: mudando o trabalho de formar professores. Ponta Grossa: Planeta, 2001.

NEWTON, I. **Principia**: Princípios Matemáticos de Filosofia Natural – Livro I. 2. ed. São Paulo: EDUSP, 2002.

NEVES, M. C. D. A história da ciência no ensino de física. **Ciência e Educação**, v. 5, n. 1, p. 73-81, 1998.

_____. Conatus Recedenti ou a Parábola do Balde de Newton. **Acta Scientiarum**, 2000.

_____. **Lições da escuridão**: ou revisitando os velhos fantasmas do fazer e do ensinar ciências. Campinas: Mercado das Letras, 2002.

_____.; SAVI, A. A. **De experimentos, paradigmas e diversidades no ensino de física: construindo alternativas**. Brasília: Massoni/CNPq, 2005.

NUSSENZVAIG, H. M. **Curso de Física Básica: Mecânica**. 4. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2002.

PAULA, R. C. O.; LARANJEIRA, C. C. O uso de experimentos históricos no ensino de física: um resgate da dimensão histórica da ciência a partir da experimentação. In. NARDI, R.; BORGES, O. (orgs). **Atas do 5º Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**. ATAS DO V ENPEC. n. 5. 2005. Bauru: ABRAPEC, 2005.

PEDUZZI, L. O. Q. Física aristotélica: por que não considerá-la no ensino da mecânica? **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 13, n. 1: p.48-63, abr.1996.

PRAIA, J. F.; CACHAPUZ, A. F. C.; GIL-PÉREZ, D. Problema, teoria e observação em ciência: para uma reorientação epistemológica da educação em ciência. **Ciência e Educação**, v. 8, n. 1, p. 127-145, 2002.

ROBILOTTA, M. R. O cinza, o branco e o preto: da relevância da história da ciência no ensino de física. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 5, n. especial, p. 7-22, 1988.

ROSA, P. R. S. Fatores que influenciam o ensino de ciências e suas implicações sobre os currículos dos cursos de formação de professores. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 16, n. 3, p. 287-313, 1999.

STENGERS, I. **A invenção das ciências modernas**. Trad. ALTMAN, M. São Paulo: 34, 2002.

SILVEIRA, F. L.; PEDUZZI, L. O. Q. Três episódios de descoberta científica: da caricatura empirista a uma outra história. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 23, n. 1, p. 26-52, 2006.

TEIXEIRA, E. S.; FREIRE JR., O. A ciência galileana: uma ilustre desconhecida. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 16, n. 1, p. 35-42, 1999.

VILLANI, A. Filosofia da ciência e ensino de ciências: uma analogia. **Ciência e Educação**, v. 7, n. 2, p. 169-181, 2001.

ZANETIC, J. Física e cultura. **Ciência e Cultura**, v. 57, n. 3, p.21-24, 1999.

_____. Física e literatura: construindo uma ponte entre as duas culturas. **História, Ciências, Saúde**, v. 13, n. suplemento, p. 55-70, 2006.

_____. **Gravitação: Notas de aula**. São Paulo: s. ed., 2007.