



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
DECANATO DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
INSTITUTO DE FÍSICA
INSTITUTO DE QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS
MESTRADO PROFISSIONALIZANTE EM ENSINO DE CIÊNCIAS

O Uso de Casos Históricos no Ensino de Física: Um Exemplo em Torno da Temática do Horror da Natureza ao Vácuo

AUTOR:
SEBASTIÃO IVALDO CARNEIRO PORTELA

ORIENTADOR:
Prof. Dr. Cássio Costa Laranjeiras

Brasília – DF
DEZEMBRO DE 2006



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
DECANATO DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
INSTITUTO DE FÍSICA
INSTITUTO DE QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS
MESTRADO PROFISSIONALIZANTE EM ENSINO DE CIÊNCIAS

O Uso de Casos Históricos no Ensino de Física: Um Exemplo em Torno da Temática do Horror da Natureza ao Vácuo

SEBASTIÃO IVALDO CARNEIRO PORTELA

Dissertação realizada sob orientação do Prof. Dr. **Cássio Costa Laranjeiras** e apresentada à banca examinadora como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Ensino de Ciências – Área de Concentração “Ensino de Física”, pelo Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências da Universidade de Brasília.

BRASÍLIA - DF

DEZEMBRO
2006

FOLHA DE APROVAÇÃO

SEBASTIÃO IVALDO CARNEIRO PORTELA

O Uso de Casos Históricos no Ensino de Física: Um Exemplo em Torno da Temática do Horror da Natureza ao Vácuo

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

Aprovada em **de**

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Cássio Costa Laranjeiras (IF-UnB)
(Presidente)

Prof. Dr. Wildson Luiz Pereira dos Santos(IQ-UnB)
(Membro Interno)

Prof. Dr. Marcos Pires Leodoro
(Centro de Educação e Ciências Humanas- Universidade Federal de São Carlos)
(Membro Externo)

Prof. Dr. Ricardo Gauche(IQ-UnB)
(Suplente)

*A minha família, em especial a
meus pais e a minha filha Rafaela,
com amor e gratidão*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os professores e os alunos do PPGEC-UnB que lutaram para que o sonho do mestrado em Ensino de Ciências se tornasse realidade. Em especial, agradeço ao professor Cássio Costa Laranjeiras pela orientação e pelo aprendizado durante nossos diálogos sobre a ciência, a educação e a escola.

Agradeço também a Secretaria de Estado de Educação do DF e aos professores e alunos do CEM 02 do Gama, pela convivência e pelo aprendizado.

RESUMO

O papel desempenhado pela História da Ciência no ensino de ciências tem sido objeto de inúmeras discussões. Ainda que não representem consensos elas têm fornecido elementos que vêm norteando a utilização da história da ciência no ensino. O objetivo deste trabalho é trazer a baila essa discussão, assumindo um posicionamento acerca do papel da história da ciência no ensino de ciências, considerando a sua função constituinte do conhecimento científico e, portanto, necessária à formação de uma cultura científica, preconizada como essencial na formação básica do cidadão. Nessa direção, propomos uma estratégia didático-pedagógica baseada no uso de casos históricos, onde o ensino de ciências deve contemplar explicitamente, além de aspectos conceituais, aqueles referentes à natureza da ciência, rompendo dessa forma a perspectiva caricatural e, portanto, deformada, de um ensino de ciências baseado na mera transmissão dos produtos desse conhecimento. O estudo de casos históricos surge aqui, portanto, como estratégia de articulação da dimensão cultural da ciência na sala de aula.

Palavras chave: Ensino de Ciências, História da Ciência, Casos Históricos, Cultura Científica.

ABSTRACT

The role of history of science in science education in the elementary level has caused many points of view. Even though there is no consensus on the matter, these points of view have oriented the use of science in education. The purpose of this presentation is to bring up this discussion assuming a position about the role of history of science in science education, considering its constitutive function in science knowledge and therefore its importance in the formation of a scientific culture, considered essential in the elementary and high school levels. Thus, we propose a didactic-pedagogical strategy, based on the use of historic cases where science education must explicitly take into account, besides the conceptual aspects, those referred to the nature of science, thus breaking the cartoon image of a science education based only on the transmission of the products of that knowledge. The study cases are used as a strategy for articulating the cultural dimension of science in the class room.

Keywords: Science Education, History of Science, Historical Cases, Scientific Culture.

SUMÁRIO

<i>INTRODUÇÃO</i>	9
<i>CAPÍTULO 1 - HISTÓRIA DA CIÊNCIA E ENSINO DE CIÊNCIAS</i>	13
<i>CAPÍTULO 2 - A ARTICULAÇÃO DAS DIMENSÕES PEDAGÓGICA E EPISTEMOLÓGICA NA FORMAÇÃO DE UMA CULTURA CIENTÍFICA NA ESCOLA</i>	26
2.1 - A Pedagogia Dialógica e Libertadora de Paulo Freire	27
2.2 - A Epistemologia Histórico-Crítica de Gaston Bachelard	30
2.3 - Cultura Científica e Universo Escolar	33
<i>CAPÍTULO 3 - O ESTUDO DE CASOS HISTÓRICOS: UMA ESTRATÉGIA DIDÁTICO-PEDAGÓGICA NO ENSINO DE FÍSICA</i>	44
<i>CAPÍTULO 4 - “HORROR VACUI?” A TEMÁTICA DO HORROR DA NATUREZA AO VÁCUO</i>	49
4.1-Resgatando o contexto: as controvérsias em torno da existência do vazio	50
4.2- Um problema da “arte de bombear” proposto a Galileu	53
4.3- Em busca de mais evidências	55
4.4- A produção de vácuo e confirmação definitiva da pressão atmosférica	59
4.5- Visitando as concepções modernas sobre o vácuo e pressão atmosférica.	62
<i>CONSIDERAÇÕES FINAIS</i>	65
<i>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i>	70
<i>APÊNDICE 1 – MAPEANDO O CONTEXTO</i>	76
<i>APÊNDICE 2 – AS LIÇÕES DE FÍSICA</i>	77
<i>APÊNDICE 3- FICHA DE ORIENTAÇÃO AO PROFESSOR</i>	93

INTRODUÇÃO

É comum ouvir dos professores do ensino médio indagações acerca de como se poderia “utilizar” a História e a Filosofia da Ciência no Ensino de Física. As razões em torno de porquê fazê-lo parecem tomadas como óbvias e, portanto, dispensariam maiores discussões. Tem sido quase natural aceitar, ao menos no discurso, que a História e a Filosofia da Ciência poderiam auxiliar o Ensino de Ciências, quem sabe resgatando-o do mar de dificuldades em que, constantemente se afirma, ele está mergulhado, tornando-o mais acessível aos estudantes, uma vez que elas supostamente poderiam promover uma contextualização dos tópicos abordados, explicitar dificuldades que estiveram presentes na construção dos conceitos, servir de elemento motivador dos alunos, etc. Nesse sentido, o uso da palavra utilizar, grifada propositalmente acima, parece indicativo de uma certa categoria de expectativas que quase sempre acompanha as discussões em torno do tema. Seu caráter salvacionista não parece novo, visto que outras tantas supostas soluções (“laboratório didático”, “aprendizagem por descoberta”, “construtivismo”, “interdisciplinaridade”, abordagem CTS, etc.) tiveram ou quem sabe ainda terão a sua idade de ouro no Ensino de Ciências. Vistas sob essa perspectiva, a História e a Filosofia da Ciência adquirem o status de panacéia, uma espécie de remédio para todos os males, meros instrumentos de práticas pedagógicas que descaracterizam o processo de construção do conhecimento, rompendo sua integridade e, impossibilitando assim, qualquer relação crítica com o mesmo, tanto por parte do aluno quanto do professor.

Ao longo deste trabalho procuramos trazer a baila esta discussão, assumindo e defendendo um posicionamento acerca do papel da História da Ciência no Ensino de Ciências, mais especificamente no ensino de física, considerando a sua função constituinte do

conhecimento científico e, portanto, necessária à formação de uma cultura científica, preconizada como essencial na formação básica do cidadão.

No capítulo 1, **História da Ciência e Ensino de Ciências**, buscamos resgatar, sob uma perspectiva histórica, a dimensão recorrente do tema. Diferentes apontamentos surgidos ao longo do século XIX desencadearam de forma sistemática a execução de projetos e vertentes de propostas pedagógicas ao longo do século XX que tiveram a história do desenvolvimento científico como eixo norteador. Longe de representarem consenso e sob diferentes óticas, essas discussões tem fornecido elementos que vem norteando a utilização da história da ciência no ensino de ciências ainda hoje.

O capítulo 2, **A Articulação das Dimensões Pedagógica e Epistemológica na Formação de uma Cultura Científica na Escola**, busca reunir elementos teóricos, seja do ponto de vista pedagógico quanto epistemológico, que avalisem uma reflexão crítica acerca do conhecimento científico e seus conseqüentes reflexos na prática pedagógica. A intenção é de, a partir da crítica de uma certa concepção de conhecimento, encontrar razões que nos permitam explicitar um papel para a História e a Filosofia da Ciência no ensino, concebendo-as como dimensões constitutivas do conhecimento e, portanto, necessárias à atividade didático-pedagógica com a ciência. Neste sentido, cai por terra toda e qualquer intenção instrumentalista de se conceber a história e a filosofia da ciência no ensino de ciências, dando lugar a uma perspectiva na qual ambas aparecem como estruturadoras do conhecimento. A concepção dialógica e libertadora de educação de Paulo Freire é o ponto de partida dessa análise, que será aprofundada no seu aspecto epistemológico, pela epistemologia histórico-crítica de Gaston Bachelard.

Situando a “educação bancária”¹ como uma realização pedagógica de uma concepção de conhecimento que descaracteriza o papel do sujeito no ato mesmo de conhecer, Freire(1982) nos propõe uma reflexão de caráter filosófico capaz de nos subsidiar na construção de práticas pedagógicas libertadoras. Em Bachelard (1996), os conceitos de “ruptura” e “obstáculo epistemológico”, tomados como base na discussão do conhecimento científico serão aqui encarados enquanto categorias a serem consideradas no processo de ensino/aprendizagem da Física. O ponto de vista aqui defendido é o de que a constituição de uma Cultura Científica na escola reivindica uma ação didático-pedagógica capaz de promover uma apreensão integrada de aspectos dinamicamente complementares da compreensão da ciência, a saber, os “conceitos científicos” e a “natureza da ciência”. Considerando sempre as interfaces e convergências entre esses dois aspectos, pode-se dizer que o primeiro reúne mais explicitamente elementos internos a própria ciência, explorando seu caráter epistemológico, seus elementos gramaticais, sintáticos, sua constituição intrínseca. O segundo diz respeito ao seu modo de produção, sua linguagem, seus métodos, sua inserção histórico-social.

O capítulo 3, **O Estudo de Casos Históricos: Uma Estratégia Didático-Pedagógica no Ensino de Física**, elege e discute o estudo de Casos Históricos como uma estratégia didático-pedagógica no Ensino de Física, que pode ser utilizada com êxito em sala de aula pelo professor. Ele se caracteriza pela explicitação de um certo contexto histórico, que incorpora uma idéia unificadora como núcleo central, desenhado a partir de certos princípios gerais visando o enfoque de um dado problema. Seu uso pode bem incorporar diferentes possibilidades de se trabalhar conteúdos, processos e estruturas sociais presentes na prática científica, contribuindo para a consolidação de uma efetiva Cultura Científica na educação básica.

¹ A “educação bancária” é concebida por Freire como “um ato de depositar, de transferir, de transmitir valores e conhecimentos” (Freire, 1970).

Finalizando a seqüência dos capítulos, no capítulo 4, **“Horror Vacui?” A Temática do Horror da Natureza ao Vácuo** reuniremos elementos científicos e historiográficos para um estudo de um caso histórico enfocando a temática do “horror da natureza ao vácuo” e o surgimento da noção de pressão atmosférica na segunda metade do século XVII. Teremos aqui a oportunidade de oferecer ao professor alguns elementos para a articulação da dimensão histórica da ciência na sala de aula no contexto de abordagem de um tema específico.

Como sugestão ao professor reunimos, no apêndice desta dissertação, uma seqüência de quatro (04) **“Lições de Física”**, acompanhadas de uma **“Ficha de Orientação ao Professor”**, que podem ser utilizadas no enfoque da temática do horror da natureza ao vácuo em sala de aula. Ao mesmo tempo em que abordam uma temática específica, as lições e as fichas podem servir como base para a organização do estudo de outros temas.

CAPÍTULO 1 - HISTÓRIA DA CIÊNCIA E ENSINO DE CIÊNCIAS

As discussões em torno do papel da história da ciência no Ensino de ciências têm sido recorrentes, remontando mesmo ao século XIX, onde certas matrizes para a reflexão acabaram se estabelecendo como ponto de partida para discussões posteriores. Ao final do século XIX, Ernst Mach (1838-1916), físico e filósofo austríaco, cujo trabalho teve grande influência sobre o pensamento do século XX, já defendia uma abordagem histórico-filosófica para o ensino de ciências nas escolas (Mach, 1910). Apesar de bastante conservador, o que o tornou alvo de inúmeras críticas por parte de seus contemporâneos, Mach depositava grande confiança no que ele chamava de “instrução histórica competente”.

O que nossas instituições clássicas pretendem dar pode e atualmente será dado aos nossos jovens com resultados muito mais proveitosos pela *instrução histórica competente*, que deve fornecer não apenas nomes e números, nem a mera história das dinastias e guerras, mas ser em todo sentido da palavra uma verdadeira história da civilização, (Mach, 1910, p.350, grifo meu).

Chama-nos a atenção à defesa contundente de Mach da perspectiva cultural da ciência, ao conceber a produção do conhecimento científico como parte integrante da história da civilização. Seus principais textos didáticos sobre Mecânica(1883) (Mach, 1960), Calor (1869) e Ótica (1922) (Mach, 1953) seguem essa orientação. Ele tinha grande interesse em explicitar diferentes perspectivas de análise construídas ao longo da história, traduzindo assim, o grande esforço presente no processo de construção da ciência. Isso fica bastante claro quando ele afirma:

Um grande benefício que os estudantes podem tirar de um curso devidamente conduzido em obras clássicas será abrindo ricos tratados literários da antiguidade, e ganhando intimidade com concepção e visões de mundo que tinham duas nações avançadas. Uma pessoa que tenha lido e entendido autores Gregos e Romanos sentiu e experienciou mais do que aqueles que se restringiram às impressões do presente. Ele vê como os homens fizeram em diferentes circunstâncias juízos totalmente diferentes para as mesmas coisas que nós fazemos hoje, (Mach, 1910, p.37).

Essa não linearidade do processo de construção do conhecimento científico, tão bem ressaltado por Mach, é vital para uma apreensão adequada da ciência, evitando a adoção de uma perspectiva distorcida da prática científica representada pela noção de conhecimento verdadeiro e imune a transformações.

No alvorecer do século XX a voz de Pierre Duhem (1861-1916), um francês, também cientista e filósofo, se juntou a de Ernest Mach na defesa do que ele chamava de “método histórico no ensino de física” (Duhem, 1906, p.268). Atento aos problemas do ensino de ciências ele foi provavelmente o primeiro a fazer uma analogia entre o desenvolvimento cognitivo dos indivíduos e o desenvolvimento histórico, visão posteriormente desenvolvida por Piaget em sua Psicologia Genética (Matthews, 1990). Para Duhem a tensão existente entre a lógica de um dado conteúdo de ciências e a psicologia dos estudantes faz o ensino de ciências particularmente delicado. Neste sentido suas recomendações eram de que

O método mais legítimo, seguro e que mais frutos dá na preparação de um estudante para receber hipóteses físicas é o método histórico. Relembrando as transformações através das quais os fatos empíricos adviram enquanto as formas teóricas eram esboçadas pela primeira vez; descrever a longa colaboração por meio da qual o senso comum e a lógica dedutiva analisaram este assunto e modelaram essa forma até que uma foi exatamente adaptada à outra: esta é a melhor forma, certamente a única forma de dar àqueles que estudam física uma visão clara e correta da muito complexa organização dessa ciência.(Duhem, 1906, p.268).

Na visão de Duhem, a complexa organização da Física reivindica uma metodologia adequada para o seu ensino, que certamente deve incorporar, além da dinâmica das relações teoria-experimento, o diálogo entre senso comum e lógica dedutiva na modelagem de um certo fenômeno. É exatamente na história que Duhem vai buscar esse método.

Ainda no início do século XX, Paul Langevin (1872-1946), físico francês notabilizado por suas importantes contribuições na área de magnetismo e por ter coordenado importante reforma

educacional em meados de 1940 na França, numa conferência proferida no Museu Pedagógico da França, propôs algumas reflexões sobre o uso da história da ciência no ensino de ciências destacando a importância do preparo adequado dos professores para tal tarefa. Em seu discurso, ele denuncia que o ensino de ciências em geral, negligencia quase que inteiramente o ponto de vista histórico, tendo uma orientação voltada ao aprendizado dogmático de fatos e leis com vistas apenas aos aspectos utilitários cobrados nas provas dos liceus e colégios. Segundo ele, a apresentação apenas do produto do conhecimento visando seu caráter instrumental, fortalece a idéia de que tudo está pronto e não há mais nada a ser descoberto, tornando o aluno um mero receptor. Em suas próprias palavras “O ensino dogmático é frio, estático e acaba dando a impressão, absolutamente falsa, de que a ciência é uma coisa morta e definitiva”. (Langevin, 1992, p.8)

Leite (1986) chama-nos a atenção para o fato de que naquele tempo o método usado no ensino de ciências era o método "heurístico", com ênfase no método experimental, introduzido com o propósito de dar aos estudantes uma oportunidade de adquirirem, por si próprios, seus conhecimentos. As limitações deste método foram reconhecidas pela British Association for Advancement of Science (BAAS) em seu relatório de 1917, sob o título “Science Teaching in Secondary Schools”.

Nesse mesmo relatório a BAAS sugeria a introdução da história da ciência no ensino de ciências nos seguintes termos:

É desejável introduzir no ensino algum relato das principais realizações da ciência e dos métodos pelos quais elas têm sido obtidas. Deveria ter mais do espírito, e menos da aridez, se a ciência há de ser de interesse vivo, seja durante a vida colegial ou depois (...). Um caminho para fazer isso é através de lições sobre seus acertos e falhas, e esboços dos principais caminhos ao longo dos quais o conhecimento natural tem avançado.(BASS 1917,citado por Leite, 1986).

Uma linha significativa de desenvolvimentos visando a introdução da história da ciência no ensino teve origem em Harvard no final dos anos 40 do século XX. Sob a liderança de James B. Conant, então presidente da universidade de Harvard, estudos de casos históricos na ciência foram introduzidos na educação geral universitária em Harvard por volta de 1950. Esse trabalho tinha uma preocupação em oferecer uma melhor compreensão da ciência não somente aos futuros cientistas, mas também aos graduandos que buscavam outras carreiras, caracterizando o conhecimento científico como parte da cultura construída historicamente e que precisava ser conhecida por todos. Conant acreditava que era fácil entender a natureza da ciência estudando como ela se desenvolveu em seus estágios iniciais. Nesse sentido ele lançou mão da história da ciência nos seguintes termos:

Achando que a ciência pode ser melhor compreendida pelos leigos mediante o estudo aprofundado de alguns casos relativamente fáceis, não me resta outra escolha senão apresentar alguns fragmentos de história científica.(Conant, 1965, p.15).

Seu importante trabalho, reunido em dois volumes, sob o título "Harvard Cases Histories in Experimental Science"(1957), tornou-se um dos textos principais nos cursos de ciências nos Estados Unidos após a 2ª Guerra. Ele também colocou em movimento a linha de pesquisa de Thomas Kuhn, levando à publicação, por esse último, em 1962, de "The Structure of Scientific Revolutions". Não é demais enfatizar que essa obra de Kuhn é um fruto maduro da pesquisa histórica por ele empreendida nos anos imediatamente anteriores. Kuhn analisou uma ampla gama de temas desse período que vai da revolução copernicana, que acabou constituindo-se num belo livro publicado em 1959 (The Copernican Revolutions), até a gênese do átomo de Bohr, passando pelo ciclo de Carnot, pela conservação da energia, entre outros. O próprio Kuhn admite ter sido decisivamente influenciado pelos trabalhos de Conant.

Durante os anos 60 um importante projeto voltado para o ensino de física foi desenvolvido na Universidade de Harvard sob a liderança de Gerald Holton², F. James Rutherford e Fletcher G. Watson. O “The Project Physics Course”, como ele foi nomeado, foi o esforço mais significativo no sentido de incorporar a história da ciência ao ensino de física. Suas principais finalidades eram desenvolver um curso de física orientado humanisticamente e provocar um acréscimo do número de alunos que escolhiam cursar física em seus estudos finais do Ensino Médio e Pós-Ensino Médio. Nele, a história da ciência era vista como parte integrante de um curso de ciências, dando uma contribuição direta à compreensão da ciência enquanto uma atividade humana, dinâmica, historicamente construída. Logo na introdução do texto do “The Project Physics Course” vamos encontrar os seus autores afirmando a seguinte meta específica do projeto:

Ajudar os alunos a verem a Física como uma maravilhosa atividade com muitas facetas humanas. Isto significa apresentar o assunto numa perspectiva cultural e histórica, e mostrar que as idéias da Física têm uma tradição ao mesmo tempo que modos de adaptação e mudanças evolutivos. (Rutherford et al., 1980, p.x)

Este projeto surgiu, de certa forma, em contraposição ao “Physical Science Study Committee” – PSSC, um grande trabalho educacional de cunho fortemente voltado para a formação de futuros cientistas, influenciado pela competição entre Estados Unidos e a ex-União Soviética no campo da ciência na segunda metade da década de 50. Apesar de sua vida limitada e de algumas falhas em sua implantação, o Projeto Harvard (como ficou popularmente conhecido o The Project Physics Course) se estabeleceu como uma importante referência. Uma seqüência significativa de trabalhos que encontram em Harvard o seu marco inicial, tiveram conseqüências

² Gerald Holton é autor de um importante livro que apresenta como algumas idéias fundamentais da física foram concebidas e desenvolvidas, combinando em uma análise cuidadosa, evidências documentais com uma ampla perspectiva sobre o desenvolvimento histórico da ciência e seus aspectos humanísticos. Essa obra, "Thematic Origins of Scientific Thought" (1952, 1973, 1988) pode ser considerada, como afirma o próprio Holton, o avô do futuro The Project Physics Course (1964).

importantes para a história da ciência enquanto campo de investigação e para o seu uso no ensino de ciências.

Os anos 70 presenciaram um debate marcado pelo conflito de posições acerca do papel da história e da filosofia da ciência no ensino de ciências. Podemos dizer que essa polêmica era o prenúncio da crescente influência da história em todas as áreas da cultura contemporânea. Segundo Matthews (1990), os principais argumentos reunidos até então favoráveis ao uso da história da ciência no ensino eram:

- A motivação dos alunos;
- A humanização da ciência;
- A melhor compreensão dos conceitos científicos a partir da análise do seu desenvolvimento;
- O intrínseco mérito do entendimento de certos episódios chaves na história da ciência;
- A historização da ciência, ou a demonstração de que a ciência é mutável e instável, e que conseqüentemente, o entendimento das atuais correntes científicas está sujeito a transformação;
- O rico entendimento do método científico, mais genericamente falando, da natureza da ciência.

Esses argumentos foram colocados em “xeque” durante um simpósio sobre o tema realizado no MIT em 1972 sob a direção de Stephen Brush e Allen King. Os ataques estiveram concentrados fundamentalmente sob dois pontos de vista:

- A única história possível nos cursos de ciência é uma pseudo-história;
- A exposição à história da ciência enfraquece as convicções científicas requeridas para um completo sucesso na aprendizagem.

O primeiro ponto de vista, defendido por Klein (1972) era de que os professores de ciências, particularmente os de física, selecionam e utilizam materiais históricos pautados por objetivos pedagógicos específicos, o que necessariamente condiciona negativamente o enfoque histórico. Em suas palavras,

Nós estamos, em outras palavras, planejando escolher, organizar e apresentar ali materiais históricos sobre assuntos não históricos, talvez até anti-históricos. Isto é algo muito arriscado se estamos tão interessados na integridade e qualidade da história que ensinamos, quanto estamos sobre a física. (Klein, 1972, p.12)

Para Klein uma das dificuldades de fazer a história da física atender as necessidades do ensino de física é a diferença essencial entre a perspectiva dos físicos e a dos historiadores. Segundo ele, é tão difícil de imaginar a combinação da complexa riqueza do fato, pelo qual o historiador luta, com o simples “insight” que os físicos procuram. (Klein, 1972, p.16)

Sua conclusão era de que se um bom ensino está respaldado historicamente, então ele será somente capaz de usar uma má história. Nesse sentido seria preferível abrir mão da história a utilizar uma de má qualidade. É possível que Klein tivesse em mente principalmente a formação do físico e/ou projetasse para a educação básica esse tipo de formação.

Em um seqüência de dois artigos (parte I e II), que se tornaram paradigmáticos no final dos anos 70, “History and quasi-history in physics education”, M.A.B. Whitaker levou as críticas de Klein mais adiante, identificando a prevalente fabricação da história para atender não apenas a fins pedagógicos, mas aos fins de uma ideologia científica, presente na visão de ciência de diversos autores. A quase-história, segundo Whitaker,

Resulta de um grande número de livros de autores que têm a crença na necessidade de avivar seus relatos com um pouco de antecedentes históricos, mas tem de fato reescrito a história encaixando-a passo a passo com a física. (Whitaker, 1979)

Para Matthews (1990) a quasi-history não é apenas a pseudo-história, ou a história simplificada, mas uma história disfarçada de história genuína.

O segundo ponto de vista, evocado contra o uso da história da ciência no ensino é o de que ela minaria o espírito científico dos jovens. A origem desse argumento remonta a posições adotadas por Thomas Kuhn no seu trabalho “A Estrutura das Revoluções Científicas” ,Kuhn(1962) e aprofundadas em “A Função do Dogma na Investigação Científica”, Kuhn(1963), em que ele analisa o papel dos manuais na educação científica. Como “obras escritas especialmente para estudantes” elas teriam a finalidade de familiarizá-los de maneira rápida e objetiva com a estrutura conceitual do paradigma vigente. Nesta direção, alusões históricas, quando utilizadas, fazem sentido na medida em que contribuem para a estruturação e consolidação do paradigma estudado. Os conceitos, problemas e soluções do passado, quando apresentados em sua integridade histórica, confundiria e feriria a habilidade dos estudantes no aprendizado do paradigma atual. Para Peduzzi,

justifica-se segundo Kuhn, a eficácia operacional de estratégias pedagógicas que não fazem uso da História da Ciência, ou, até mesmo, que propositadamente a distorcem para cumprir com celeridade, sem maiores delongas, o objetivo fundamental da educação científica, que é o de inculcar no estudante o paradigma vigente. (Peduzzi, 2001, p.153).

Particularmente não identificamos na análise adotadas por Kuhn um posicionamento valorativo em relação ao uso da história da ciência no ensino de ciências no nível básico (ensino fundamental e médio). Seu trabalho objetivou a descrição da atividade científica profissional e seus pressupostos formativos. Neste sentido, o seu posicionamento foi o de que

Embora o desenvolvimento científico seja particularmente produtivo em novidades que se sucedem, a educação científica continua a ser uma iniciação relativamente dogmática a uma tradição pré-estabelecida de resolver problemas, para a qual o estudante não é convidado e não está preparado para apreciar. (Kuhn, 1979, p.48).

Não é difícil concluir que, uma vez que a formação científica na educação básica se estabeleceu espelhando práticas pedagógicas adotadas no ensino superior, essa dimensão dogmática da formação do profissional de ciência tenha se transferido de maneira automática

para esse nível de ensino. Em parte isso se deve a dificuldade de estabelecimento e adoção de uma identidade própria para a formação científica na educação básica.

Stephen Brush, um dos colaboradores do "Projeto Harvard", é reconhecidamente um dos autores que mais tratou do uso da história da ciência no ensino, num interessante artigo intitulado "Should the History of Science be Rated X?", Brush (1974) faz uma reflexão acerca dos aspectos subversivos que uma abordagem histórica da ciência pode conter. Ele situa sua preocupação central da seguinte maneira:

Meu interesse neste artigo está relacionado com os possíveis perigos de utilização da história da ciência na educação científica. Vou examinar argumentos de que estudantes jovens e impressionáveis no início de suas carreiras científicas deveriam ser protegidos dos escritos de historiadores da ciência contemporâneos... tais textos violentam o ideal profissional e a imagem pública dos cientistas como investigadores de mente aberta, racionais, que trabalham metodicamente, guiados seguramente pelo resultado de experimentos controlados e procurando objetivamente pela verdade, seja lá isso o que for. (Brush, 1974, p.1164).

Numa primeira avaliação pode parecer que Brush se posiciona contrariamente ao uso da história da ciência no ensino, o que não é verdade. Ele ressalta a sua validade numa abordagem que enfatize o significado social e não dogmático da ciência.

Eu sugiro que o professor que deseja doutrinar seus estudantes no papel tradicional do cientista como um investigador neutro, não deveria usar os materiais históricos da espécie que está sendo preparada agora pelos historiadores da ciência: eles não servirão a seus propósitos (...) Por outro lado, aqueles professores que desejam neutralizar o dogmatismo dos textos didáticos e transmitir algum entendimento da ciência como uma atividade que não pode estar divorciada de considerações metafísicas ou estéticas, podem encontrar algum estímulo na nova história da ciência. (Brush, 1974, p.1170).

Do exposto por Brush, infere-se o valor atribuído por ele à história da ciência como elemento capaz de traduzir de maneira adequada aspectos referentes à natureza da construção do conhecimento científico.

Após esses debates, muitos pesquisadores na área de ensino de ciências debruaram-se sobre o tema, o que fez proliferar dezenas de outros artigos e propostas de utilização da história

da ciência no ensino. Embora muitas vezes reproduzindo os argumentos tradicionais, eles deram importantes contribuições na medida em que ajudaram no desenvolvimento de novas experiências com enfoque histórico na sala de aula.

Desde 1983 a “European Physical Society” organiza conferências bianuais sobre história da Física e ensino de Física. A “American History of Science Association” e a “British History of Science Association” têm organizado comitês sobre história da ciência e ensino de ciências e, por todo o mundo, diferentes grupos foram formados reunindo professores, historiadores, cientistas e filósofos em torno da elaboração de material didático (textos, reprodução de experimentos históricos, etc.) e preparação de cursos voltados para a formação do professor. Grandes conferências internacionais vêm sendo realizadas nos últimos 17 anos e ao longo desse período muitos pesquisadores na área de ensino de ciências vêm desenvolvendo pesquisas com esse enfoque, seja buscando explorar as contribuições da história da ciência para o ensino, seja explicitando as suas limitações. Algumas dessas pesquisas têm procurado mostrar que a incorporação da História e da Filosofia da Ciência no ensino de ciências é efetiva na promoção de um melhor entendimento da natureza da ciência por parte dos estudantes (Irwin, 2000), (Solomon et al., 1996), (Brush, 1989). Referendando essa visão, Teixeira et al (2001) concluem num trabalho voltado para o uso da história da ciência na formação inicial de professores que:

os resultados obtidos indicam a ocorrência de uma mudança geral significativa e favorável na concepção dos estudantes acerca das várias questões tratadas, que abordam uma série de aspectos de sua compreensão sobre a natureza da ciência. (Teixeira, El-hani e Junior, 2001, p. 13).

No entanto, outras pesquisas (Dickinson et al., 1999) alertam para o fato de que nem todos os estudos dos efeitos da história da ciência no entendimento da natureza da ciência têm apresentado resultados satisfatórios. Abd-el-khalick e Lederman (2000), por exemplo,

encontraram poucos efeitos positivos no entendimento da natureza da ciência em estudantes universitários e em cursos de formação continuada de professores, quando são submetidos a cursos com uma orientação histórica.

Whiteley (1993) relaciona oito propostas sobre o importante papel da história da Física no ensino de Física e argumenta que a história da Física pode tornar-se a pedra angular de um currículo e também ser incorporada em exames para avaliação.

Fazendo uma revisão histórica da evolução do ensino de ciências durante a primeira metade do século XX Sherratt (1980), apresenta-nos várias tendências, propostas, aplicações e problemas sobre o uso da história da Física no ensino de Física e no currículo.

Uma significativa bibliografia de publicações, tanto em quantidade quanto em qualidade, sobre o uso da história da física no ensino de física é apresentada na obra “Science Teaching: The Role of History and Philosophy of Science” (Matthews, 1994).

Apoiando a visão desses pesquisadores e reconhecendo a necessidade de uma ferramenta útil que nos pudesse auxiliar no mapeamento das diferentes tendências e propostas nesta área, Seroglou e Koumaras (2001) apresentam-nos uma estrutura de classificação, resultado de seus estudos relacionados aos objetivos do ensino e aprendizagem da Física como eles têm sido apresentados desde os anos 60, juntamente com tendências surgidas nos anos 80 e 90. Refletindo os objetivos do ensino e aprendizagem da Física, são basicamente três as dimensões consideradas na estrutura de classificação: *Cognitiva, Meta-Cognitiva e Emocional*.

A *dimensão cognitiva* inclui um sub-conjunto de categorias, a saber: o ensino e aprendizagem dos conteúdos de Física, da metodologia da Física, das ferramentas de solução de problemas e idéias alternativas dos estudantes. Cada uma dessas sub-categorias reflete um objetivo cognitivo do ensino-aprendizagem da Física.

A *dimensão meta-cognitiva* inclui o entendimento da natureza da ciência, bem como das inter-relações ciência-sociedade, que são ambas, fatores essenciais no ensino e aprendizagem da ciência.

A *dimensão emocional* da estrutura representa o esforço dos pesquisadores na área de ensino de Física em desenvolver e aplicar métodos para atrair os alunos para o mundo da Física. Esforços nesse campo variam desde o estímulo aos interesses dos alunos, sua motivação, ao estudo de suas atitudes e comportamentos.

Ao mesmo tempo em que nos ajuda a compreender as diferentes abordagens acerca da história e filosofia da ciência no ensino de ciências em unidades agregadoras, a classificação proposta por Seroglou e Koumaras (2001) nos desafia a construção de uma unidade maior de abordagem que possa incorporar diferentes dimensões constitutivas do conhecimento e do processo de ensino e aprendizagem, conduzindo-nos a formação de uma cultura científica no universo escolar.

Convictos, seguindo o pensamento de Thuillier (1990), de que a ciência é uma construção humana, uma instituição progressivamente elaborada, historicamente condicionada e inseparável das demais instituições humanas portanto, parte da cultura, a história e a filosofia da ciência podem bem encontrar os seus papéis como elementos constitutivos do conhecimento científico e, portanto, essencial ao trabalho didático-pedagógico com a ciência.

Na defesa do papel da História e da Filosofia da Ciência no ensino, Guerra et al são categóricos ao afirmar que:

A história e a filosofia da Ciência devem ser vistas como parte integrante do conteúdo a ministrar, não sendo somente vistas como motivadoras para o estudo da ciência, mas tendo papel fundamental, sem o qual, o ensino mesmo perde o seu significado. (Guerra et al, 1997. p.4).

Referendando essa visão, as Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (Brasil, 2002), sugerem que os currículos de Física do Ensino Médio, contemplem competências que permitam a compreensão do conhecimento científico como parte integrante da cultura humana, construído historicamente em estreita relação com as condições sociais, políticas e econômicas de uma determinada época.

Portanto, omitir a dinâmica de construção da ciência, as questões que foram essenciais no desenvolvimento de alguns temas, as discussões que culminaram nas mudanças de paradigmas, as dificuldades enfrentadas pelos cientistas e o contexto sócio-cultural que serviu de base ao seu desenvolvimento e que tem grande influência na construção da ciência, nos conduz a transmissão de uma concepção deformada de ciência, caricatural, centrada apenas no produto desse conhecimento. A ciência, pelo contrário, é dinâmica, construída em meio a um emaranhado de controvérsias, de embates, e se desenvolve incorporando valores em constante aprimoramento. É sob essa perspectiva que entendemos o papel constituinte da história e da filosofia da ciência no ensino de Ciências.

Mais do que fazer o aluno compreender o que é correto ou não, elas devem estar a serviço da problematização do que Abrantes chama de “*imagens de ciência*”,

visões que são mais ou menos correntes sobre como se adquire conhecimento científico, como se testa uma teoria, as questões filosóficas a respeito do conhecimento científico, questões a respeito de como a História da Ciência se desenvolve, as relações entre ciência e sociedade. (Abrantes, 1988).

No capítulo seguinte busca-se uma compreensão da articulação das dimensões pedagógica e epistemológica na formação de uma Cultura Científica na escola.

CAPÍTULO 2 - A ARTICULAÇÃO DAS DIMENSÕES PEDAGÓGICA E EPISTEMOLÓGICA NA FORMAÇÃO DE UMA CULTURA CIENTÍFICA NA ESCOLA

De todos os empreendimentos humanos a ciência e a tecnologia têm sido apontadas como os mais bem sucedidos. Esse sucesso vem se refletindo nas aplicações em diferentes setores da vida moderna, acabando por exigir dos cidadãos a aquisição de um conjunto de conhecimentos mínimos, indispensáveis ao exercício da cidadania.

Essa realidade, qual seja, a da formação de uma cultura científica na escola, vem colocando imensos desafios à educação, tanto formal quanto informal. Nesse sentido, faz-se necessário ampliar a nossa compreensão acerca dos mecanismos inerentes a esse processo de construção, o que necessariamente reivindica uma análise de caráter epistemológico acerca do processo mesmo de construção do conhecimento e seus conseqüentes reflexos em nossa prática pedagógica. Segundo Leodoro,

A educação científica necessita conclamar o pensamento dos educandos para a admiração do mundo e, desse modo, fazer da educação uma cultura científica que não é apenas vulgarização do conhecimento científico mas, também, exercício crítico sobre a própria ciência e compreensão dos processos de articulação e desagregação do pensamento engendrados no processo histórico de elaboração do saber científico.(Leodoro, 2005, p. 19).

Trata-se, portanto, de nos inserirmos em um processo contínuo de problematização que nos permita uma postura crítica acerca do conhecimento. Nessa direção, a concepção dialógica e libertadora de educação de Paulo Freire será o ponto de partida da nossa análise, que será aprofundada no seu aspecto epistemológico pela epistemologia histórico-crítica de Gaston

Bachelard. A Articulação entre essas duas dimensões foi o caminho escolhido para uma reflexão acerca da formação de uma cultura científica na escola.

2.1 - A Pedagogia Dialógica e Libertadora de Paulo Freire

A pedagogia dialógica e libertadora de educação de Paulo Freire, educador brasileiro que adquiriu grande destaque internacional e referência para o pensamento pedagógico nacional, tem como um dos seus fundamentos básicos a inserção do aluno (educando) como sujeito da ação educativa. Isto porque, segundo Freire, “Conhecer é tarefa de sujeitos, não de objetos. E é como sujeito e somente enquanto sujeito, que o homem pode realmente conhecer” (Freire, p. 27, 1982-b).

Sua pedagogia, em contraposição a educação bancária, que reduz o educando a um mero receptor de informações advindas do professor, está alicerçada no diálogo como elemento norteador do processo educativo, nos objetos de conhecimentos como mediadores desse diálogo e na necessidade de inserção do educando como sujeito das ações educativas.

Na concepção bancária de educação, alvo das críticas de Freire e cristalizada em todos os níveis de ensino da nossa escola, as relações educador-educando caracterizam-se pela extensão/transmissão. Fala-se da ciência, dos seus conceitos, do formalismo matemático como algo estático, fragmentado e sem conexões. Nessa visão, o professor assume isoladamente o papel de agente, narrador dos fatos, quase sempre considerados como verdades absolutas. Os educandos, meros receptores no processo, são inflados pelos conteúdos narrados. Daí que, nas

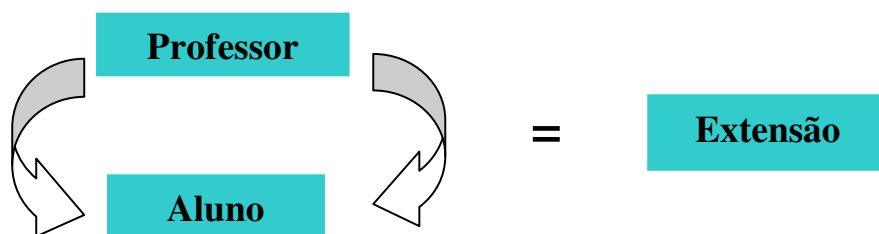
palavras de Freire, “a educação se torna um ato de depositar, em que os educandos são os depositários e o educador o depositante” (Freire, 1978, p.66).

Na educação bancária o diálogo é deliberadamente suprimido, seja aquele que deveria ser estabelecido entre educador e educando, que reivindica a comunicação em mão dupla e não em mão única, seja o diálogo mesmo com o mundo, momento em que a problematização da realidade vivencial deveria protagonizar o processo educativo. É também por isso que o conhecimento surge como algo morto em nossas escolas, sem ponto de partida e de chegada, tomando a realidade como algo mistificado. Os problemas do mundo são deixados de lado, negando-se o conhecimento como algo construído historicamente e em constante transformação e aprimoramento. Nessa perspectiva, segundo Freire, não há criatividade e nem transformação, uma vez que o educador será sempre o que sabe e os educandos os que não sabem, caracterizando uma relação vertical entre os envolvidos no processo de aprendizado.

Situando-se numa posição antagônica à estabelecida pela educação bancária, Freire apregoa uma pedagogia dialógica e libertadora, que reconhece o diálogo como elemento essencial e norteador das relações educador-educando e necessário ao processo de conscientização que é caracterizado pela leitura do contexto concreto em que os fatos se dão, suas relações e circunstâncias, viabilizando a inserção crítica do sujeito na realidade. Em um importante trabalho em que analisa detidamente o conceito de “Comunicação” em contraposição ao de “Extensão”³, Freire nos convida a uma caracterização mais específica do conceito de educação dialógica. Na tentativa de levar conhecimentos aos camponeses, durante o processo de reforma agrária no Chile dos anos 60, os técnicos agrícolas acabavam por não considerar as diferentes experiências,

³ Trata-se da obra *Extensão ou Comunicação*, editora Paz e Terra, 1982, onde ele discute o problema da comunicação entre o técnico agrícola e o camponês em uma sociedade agrária. O contexto aqui é o das atividades de técnicos agrícolas no processo de reforma agrária no Chile na década de 60.

tradições e cultura, característicos daquele grupo social, promovendo assim um processo anti-dialógico, caracterizado como “EXTENSÃO”, como a figura abaixo procura representar.



O termo extensão é remetido aqui a ação de estender algo de um lugar a outro, supostamente da “sede do saber”, do técnico agrário, à “sede da ignorância”, do camponês. Essa relação, vertical por natureza, impossibilita o processo de comunicação. A “COMUNICAÇÃO”, ao contrário, corresponderia a uma relação horizontal estabelecida entre sujeitos que querem conhecer, estando mediados por um objeto de conhecimento. Aqui cabe ressaltar, que não estamos querendo dizer que nessa relação não existam diferenças entre professor e aluno, na verdade, atribui-se ao professor uma posições que vai além de ser um mero “depositador”, ele deve instigar o diálogo, alimentá-lo com questões, perguntas, respostas, deve saber ouvir e falar. Trata-se, portanto, de uma relação dialógica que se estabelece como exigência existencial para aqueles comprometidos com o processo de transformação da realidade. Segundo Freire,

O que se pretende com o diálogo, em qualquer hipótese, 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. (Freire, 1982-b,p.52)



Nas diferentes situações educativas o diálogo deve ser alimentado com problemas e questões que possam ser compartilhados por todos, colocando educador e educando na posição de agentes. Nesse tipo de relação o conhecimento a ser apreendido e o conhecimento pré-existente são fontes de onde emergem questões que alimentam o processo comunicativo, ficando assim, caracterizados como mediadores do processo de aprendizagem.

2.2 - A Epistemologia Histórico-Crítica de Gaston Bachelard

O pensamento de Bachelard nos remete a uma análise do processo de criação do espírito humano. Filósofo epistemólogo de origem francesa, ele também se dedicou aos temas educacionais, de alguma forma refletindo sua atuação como docente na área de ensino de ciências. Ele destaca as armadilhas e dificuldades que cercam o aprendizado do conhecimento científico, colocando na base do seu discurso os conceitos de “Obstáculo Epistemológico” e “Ruptura”.

Em “A formação do Espírito Científico”, obra de grande relevância na compreensão do seu pensamento, Bachelard analisa, dentre outras coisas, as condições psicológicas do processo de construção do conhecimento científico. Segundo ele, o psiquismo humano apresenta fortes resistências em abandonar velhas idéias e aceitar as novas, nesse processo, observam-se lentidões e conflitos que representam obstáculos na aquisição do conhecimento científico, uma vez que, são causas de “estagnação”, “regressões” e “inércias”. É contra esses obstáculos que o “espírito”

deve lutar, pois “... o ato de conhecer dá-se contra um conhecimento anterior, destruindo conhecimentos mal estabelecidos, superando o que, no próprio espírito, é obstáculo a espiritualização” (Bachelard, 1996, p.17).

Ele defende também que o conhecimento real nunca é imediato e pleno, existem obstáculos que se incrustam no que cremos saber, em conhecimentos mal questionados, e acabam ofuscando o que deveríamos saber. Nesse sentido

A ciência, tanto por sua necessidade de coroamento como por princípio, opõem-se absolutamente à opinião. Se, em determinada questão, ela legitimar a opinião, é por motivos diversos daqueles que dão origem à opinião; de modo que a opinião está, de direito, sempre errada. A opinião pensa mal; não pensa: traduz necessidades em conhecimentos. Ao designar os objetos pela utilidade, ela se impede de conhecê-los. Não se pode basear nada na opinião: antes de tudo, é preciso destruí-la. Ela é o primeiro obstáculo a ser superado. (Bachelard, 1996, p. 18)

O conceito de obstáculo epistemológico é também empregado por Bachelard para interpretar à prática da educação. Ele critica a falta de reconhecimento de obstáculos pedagógicos por parte dos professores afirmando:

Acho surpreendente que os professores de ciências, (...), não compreendam que alguém não compreenda. (...). Os professores de ciências imaginam que o espírito começa como uma aula, que é sempre possível reconstruir uma cultura falha pela repetição da lição, que se pode fazer entender uma demonstração repetindo-a ponto a ponto. Não levam em conta que o adolescente entra na aula de física com conhecimentos empíricos já construídos: não se trata, portanto, de adquirir uma cultura experimental, mas sim de mudar de cultura experimental, de derrubar obstáculos já sedimentados pela vida cotidiana. (Bachelard, 1996, p. 23)

Aqui Bachelard expõe sua preocupação com a falta de clareza dos professores a respeito do obstáculo que representa o senso comum, a experiência cristalizada. É tarefa do professor investigar os conhecimentos pré-existentes a partir da reflexão crítica do senso comum. Essa “psicanálise dos erros iniciais” é defendida por Bachelard para que o professor possa obter o

“perfil epistemológico”(instrumento organizacional que nos permite localizar o conceito num pano de fundo histórico-filosófico) desse conhecimento e assim proporcionar alternativas, explorar as contradições e limitações do velho conhecimento e dessa forma promover as rupturas necessárias entre o conhecimento baseado no senso comum e o conhecimento científico.

Portanto, do ponto de vista da educação científica, dois aspectos devem ser levados em consideração: as condições inerentes ao processo de ensino-aprendizagem de forma mais geral, na perspectiva freiriana que coloca o diálogo como elemento central, e os obstáculos relacionados ao próprio conhecimento científico explicitados por Bachelard. A ação educativa que estiver atenta a esses aspectos terá como resultado as “rupturas” que fará com que os estudantes superem os conhecimentos que se pensava conhecidos, passando do conhecimento comum para o conhecimento científico. Aqui fica evidente a ressonância entre Freire e Bachelard, em que o processo de ruptura deve se dá através do diálogo, que por sua vez, exige questões, exige que se coloque em xeque as limitações de conhecimentos pré-existentes, assim como suas contradições, pois “para um espírito científico, todo *conhecimento* é resposta a uma *pergunta*. Se não houver questão não pode haver conhecimento científico”.(Bachelard, 1996, p.18)

É dentro da perspectiva, que reúne as idéias de Freire e Bachelard, que construiremos as “lições de física” onde utilizaremos os estudos de casos históricos para abordar a dimensão natureza da ciência em sala de aula. Antes, é necessária uma discussão em torno da formação da cultura científica, da qual a dimensão natureza da ciência é parte constituinte.

2.3 - Cultura Científica e Universo Escolar

Iniciaremos o debate sobre a formação de uma cultura científica lançando uma questão que motivam todas as outras que discutiremos aqui: porque devemos aprender ciência? Responder a essa pergunta não é nada simples, no entanto, podemos apontar alguns caminhos que nos direcionam a uma resposta.

Na vida cotidiana os indivíduos são bombardeados de informações e de produtos que tem por base o conhecimento científico e tecnológico, portanto, sem ele seria difícil compreender as transformações pelas quais atravessa a sociedade, assim como se inserir dentro dessas mudanças. O mundo do trabalho tem se configurado como um grande exemplo dessas transformações, nas novas profissões, por exemplo, habilidades como domínio de termos técnico-científicos e o uso de computadores, são indispensáveis. Sem o conhecimento científico, muitas notícias de jornal não passariam de um amontoado de informações sem sentido e até mesmo uma simples bula de remédio não seria compreendida.

Intimamente ligado ao anterior, estão os fatores relacionados à vida em sociedade, que depende da contribuição de cada indivíduo para seu funcionamento. Esse fator, na verdade, é uma questão de cidadania. Todo indivíduo tem direito a se apropriar dos benefícios proporcionados pela coletividade, assim como compreendê-los e sugerir outros, por outro lado, também, é necessário que dê sua contribuição para o todo. Essa participação ativa somente é possível, na maioria das ocasiões, quando se domina minimamente a linguagem científico-tecnológica. Numa campanha sanitária, por exemplo, é necessário que todos participem e que a mensagem vinculada seja transformada em ações práticas por cada componente do coletivo. Indivíduos com uma formação científica mínima poderiam proceder de forma mais coerente com o que deseja a

coletividade. Não é a toa que as nações mais desenvolvidas do mundo investem fortemente na formação científico cultural de seus membros.

Além desses aspectos mais gerais, dois pontos ainda podem ser considerados com relação a necessidade do aprendizado das ciências: um relativo as relações cognitivas proporcionadas no processo de aquisição do conhecimento científico, e outro ao valor cultural da ciência. O primeiro, que se sustenta no trabalho de Bachelard, está ligado à evolução psicológica por que deve passar o estudante ao adquirir o conhecimento científico. Segundo Bachelard, esse processo evolutivo se caracteriza sinteticamente por três estados: o *concreto*, o *concreto-abstrato* e o *abstrato*. O concreto está relacionado a realidade, as primeiras imagens do fenômeno. O estado intermediário - concreto-abstrato - se configura pela geometrização do fenômeno baseado numa filosofia da simplicidade em que é mais seguro o conhecimento que se aproxima da intuição sensível. O terceiro estado, o abstrato, caracterizado no domínio das idéias, se sustenta nas construções cognitivas feitas pelo estudante sem exatamente uma base material, construções essas nas quais “o espaço sensível não passa, no fundo de um pobre exemplo” (Bachelard. 1996, p. 11).

Já o segundo e último ponto, o valor cultural da ciência, se configura como um motivo de se apreender a ciência na medida que o conhecimento científico, como as outras produções intelectuais, foi produzido ao longo da história e, portanto, representa conhecimento acumulado por gerações anteriores, e que grande influência exerce nas atuais e exercerá nas futuras. Não seria demais desejar que na bagagem cultural dos nossos estudantes de ensino médio tivessem lugar as principais teorias, leis e sínteses elaboradas pela ciência, assim como a compreensão de como aconteceu e acontece sua construção, evidenciando os acertos e erros, idas e vindas e controvérsias em torno de determinados temas.

Apresentados alguns motivos que justificam a necessidade de aprendermos o conhecimento científico e tecnológico, poderemos discutir, de forma mais confortável, a formação de uma cultura científica, já que essa formação somente se justifica em função dos motivos apresentados anteriormente. O que nos resta agora é definir o que vem a ser essa cultura científica, quais são suas dimensões constitutivas e onde e como podemos promovê-la.

Estamos num mundo onde a ciência e a tecnologia faz parte efetivamente de todas as atividades humanas. Essa presença tem modificado drasticamente a forma de vida dos cidadãos modernos, proporcionando, por um lado, melhoria na qualidade de vida e por outro trazendo novos problemas a serem superados. Hoje, vivemos muito diferente de nossos antepassados, podemos nos deslocar a grandes distâncias com muita facilidade, dispomos dos mais variados tipos de alimentos, temos disponíveis eletrodomésticos que nos ajudam nas tarefas domésticas, vivenciamos avanços na medicina que estão prolongando a perspectiva de vida, sabemos em tempo real as notícias do outro lado do mundo assim como nos comunicamos através da telefonia móvel com qualquer parte do planeta. Associado a esses avanços sofreremos com variados problemas nos mais diversos setores da sociedade. Seria difícil citar algum setor que não tenha se beneficiando ou sofrido conseqüências dos problemas advindo desse progresso.

Além dessa influência na forma de vida, a ciência e a tecnologia também têm modificado nossas atitudes e valores, pois somos, segundo Laraia (1992) resultado do meio cultural em que fomos socializados. Como estamos imersos num mar de produtos, benefícios e problemas que têm como base o desenvolvimento da ciência e da tecnologia, acabamos por sofrer as influências desses. Por exemplo, é consenso a necessidade de tomarmos vacinas, de lavarmos as mãos antes das refeições, de escovarmos os dentes, dentre outras recomendações de especialistas que usam o conhecimento científico para justificar tais recomendações. É impressionante também como esse conhecimento exerce poder em nossas escolhas e gostos. Parecem mais seguros os produtos,

serviços e recomendações dos especialistas, mesmo sabendo que no mês seguinte irão surgir novos estudos científicos contradizendo o que se afirmava anteriormente. Ter preferências por determinados tipos de produtos em função da recomendação de cientistas, também é muito comum.

Essa influência da ciência sobre o cidadão não é uma via de mão única. Na verdade existe uma dinâmica na qual a ciência e a tecnologia ao mesmo tempo em que nos influenciam são influenciadas por nossas necessidades econômicas e sociais. Um olhar na evolução histórica da ciência nos revelaria uma variedade de situações onde isso ocorreu. O aprimoramento das máquinas térmicas durante o início da revolução industrial, surgiu da necessidade de expansão econômica, assim como sua substituição por motores elétricos mais econômicos e eficientes. O desenvolvimento das primeiras bombas de água para irrigação ou abastecimento de cidades também configura um outro exemplo, assim como os modelos cosmogônicos adotados na antiguidade e que justificavam o pensamento teológico predominante. Essa dinâmica tem sido maximizada nos dias atuais, em função das rápidas transformações a que estamos sujeitos.

Compreender como se dá essa dinâmica, poder intervir nela, ter elementos para poder usufruir melhor dos produtos, serviços e informações, são requisitos necessários a qualquer cidadão moderno. Hoje são indispensáveis habilidades que permitam interpretar uma conta de energia elétrica, entender a composição de um produto, analisar a bula de um remédio, compreender informações apresentadas nos meios de comunicação, debater e sugerir soluções para questões que rondam nosso dia-a-dia como aquecimento global, efeito estufa, poluição, clonagens e combates a doenças. Tudo isso designa minimamente o que o público em geral deveria saber sobre ciência e tecnologia para que possam atuar como verdadeiros cidadãos.

É o conjunto de saberes científicos que os não cientistas precisam saber é que configura o que chamamos de *Cultura Científica*. Sua formação se dá tanto a nível informal, como nos

exemplos citados anteriormente, como a nível formal, ou seja, na escola. Compartilhar esses conhecimentos com os não cientistas é que tem se caracterizado como um dos desafios de nossa educação.

Em análise feita por Durant (1993) sobre o que o público em geral deveria saber a respeito da ciência foram identificadas três abordagens muito distintas. Uma delas enfatiza a necessidade de familiarização com os conteúdos da ciência. Numa segunda, é defendida a idéia que é necessário um vocabulário básico de termos científicos, assim como é acentuado a importância dos processos da ciência, que incluem os procedimentos da pesquisa científica. A terceira e última, concentra-se na ciência como prática social que realmente funciona, mostrando as interações entre as comunidades científicas e a desmistificação do papel dos cientistas. Como podemos perceber, essas abordagens estão limitadas a aspectos internos da própria ciência, representando mais a visão do cientista do que a do cidadão comum. A formação de uma Cultura Científica deve incluir esses aspectos, mas é necessário também que sejam explicitados outros como o seu caráter utilitário mais voltado à vida moderna e ao mundo do trabalho e a sua dimensão cultural.

A importância da ciência na vida moderna e no mundo do trabalho já foi discutida anteriormente. Com relação ao caráter cultural do conhecimento científico Zanetic (1989) afirma “(...) que o conhecimento científico e tecnológico, assim como a música, a filosofia e a arte são parte da cultura humana, e por assim ser, fazem parte da produção intelectual construída ao longo da história” (Zanetic, 1989, p.146).

Portanto, é importante resgatar nessas expressões artísticas aspectos relativos às ciências, assim como tornar alguns fatos, leis ou temas científicos, que tiveram grande impacto no desenvolvimento da sociedade, mais difundido entre os cidadãos. Por exemplo, as Leis de Newton, os trabalhos de Aristóteles, as principais concepções da física quântica ou até mesmo os

princípios que estão por traz de uma bem sucedida experiência sobre células troncos poderiam fazer parte dos assuntos abordados em peças, na rodas de amigos, nas manifestações musicais, dentre outras.

Com relação à Cultura Científica informal, infelizmente dispomos de poucos espaços e estratégias destinados para tais fins, como museus de ciências, feiras científicas e exposições científicas, programação de TV, mídias escritas, dentre outros.

Já no que se refere à educação formal que, aliás, é o foco de interesse desse trabalho, todo conhecimento científico que é apresentado na escola faz parte da Cultura Científica, da simples resolução algébrica de uma soma até a compreensão de processos históricos.

No Brasil, especificamente, a formação da Cultura Científica fica a cargo basicamente do ensino escolar. A escola, como um dos poucos lugares onde a população tem a chance de adquirir esses conhecimentos, fica isolada com essa responsabilidade, o que acaba por exigir dos profissionais da educação estratégias didático-pedagógicas que supram as exigências necessárias para essa formação. Diante das condições em que se encontra nosso ensino formal, como formar alunos com tal perfil? O que seria necessário contemplar?

A formação de uma Cultura Científica na educação básica deve considerar dois aspectos dinamicamente complementares: de um lado, os aspectos Conceituais da Ciência, e de outro àqueles referentes à Natureza da Ciência. O primeiro se refere aos conceitos, leis, formalismos matemáticos e modelos que utilizamos na ciência para descrever interpretar e modelar a natureza. Está relacionado ao produto do conhecimento científico, aos modelos atualmente aceitos, a descrição matemática e a interpretação que fazemos de determinados fenômenos. Já a dimensão Natureza da Ciência, que integra a Epistemologia, Filosofia e História da Ciência, relata a dinâmica de como o conhecimento científico é construído, como o cientista desenvolveu e justificou esse conhecimento, quais mudanças de paradigmas ocorreram, as competições entre

teorias concorrentes, as influências sócio-econômicas de determinadas idéias, enfim, é uma dimensão mais interpretativa.

Atualmente, o que vemos em nossas escolas, mais especificamente no Ensino de Física, é uma excessiva centralização no produto da atividade científica, expondo-a excessivamente na forma de verdades absolutas, desprovidas de influências históricas e contextuais, focalizando apenas as leis, fatos e aplicações de fórmulas, em detrimento da origem e do processo de construção e desenvolvimento desse conhecimento. A ação pedagógica é centrada no aspecto conceitual em detrimento da dimensão natureza da ciência. No entanto, abordar a dimensão natureza ciência é tão importante quanto a abordagem dos aspectos formais como bem defendem Lonsbury e Ellis (2002)

Entender a ciência como criatividade e como um empreendimento humano é um importante componente na alfabetização científica e ajudaria a combater muito absolutismo, conceitos errôneos, e caricaturas que as pessoas elaboram com relação à ciência.(Lonsbury ; Ellis, 2002, p. 3).

Essa concepção de ensino de ciências que persiste em nossas escolas tem motivações variadas, como currículos gigantescos, a falta de tempo adequado ao processo de ensino-aprendizagem, a não disponibilidade de materiais históricos para os vários níveis de ensino, a formação do professor e aos livros didáticos, que relegam a plano secundário os aspectos da natureza da ciência. Nas poucas vezes em que a abordagem histórica tem lugar nos textos dos livros didáticos, é geralmente apresentada como apêndice ou reduzida a uma mera ferramenta para facilitar ou abrilhantar a abordagem conceitual.

Outro fator que contribui para esse cenário é a formação dos professores que, em seus cursos de formação inicial e continuada, não tiveram contato com a História e Filosofia da Ciência. Na formação dos professores, a discussão em torno da Natureza da Ciência forneceria

elementos que tornaria possível ao professor fazer uma reflexão mais consciente sobre a ciência e seu desenvolvimento e conseqüentemente sobre o seu ensino, como bem cita Martins (2004)

...sem a história, não se pode também conhecer e ensinar a base, a fundamentação da Ciência, que é constituída por certos fatos e argumentos efetivamente observados, propostos e discutidos em certas épocas. Ensinar um resultado sem a sua fundamentação é simplesmente doutrinar e não ensinar ciência. (Martins, 2004, p. 2).

Além disso, a História da Ciência contribui para as mudanças nas concepções epistemológicas do professor, que acabam de forma direta ou indireta sendo refletida na formação dos alunos. Nesse sentido Delizoicov (1989) acrescenta que é necessário inclusive que o aluno seja introduzido nos paradigmas da ciência, para também entender o que ela faz e como funciona a própria comunidade científica. Portanto, é necessário que o professor tenha esses conhecimentos, pois, só assim transmitirá para o aluno uma visão de que a construção do conhecimento não é algo linear, acabado, feito por pessoas inteligentíssimas.

Para formar cidadãos com um nível mais elevado de conhecimentos científicos precisamos enfrentar e superar esses problemas, assim como compreender quais elementos são necessários para a formação de uma Cultura Científica objetivando que o professor elabore estratégias que contemplem além da Dimensão Conceitual a Dimensão Natureza da Ciência. A definição das dimensões a serem contempladas bem como os conteúdos a serem trabalhados estão intimamente relacionados aos currículos, que por sinal são fortemente influenciados pelos livros didáticos.

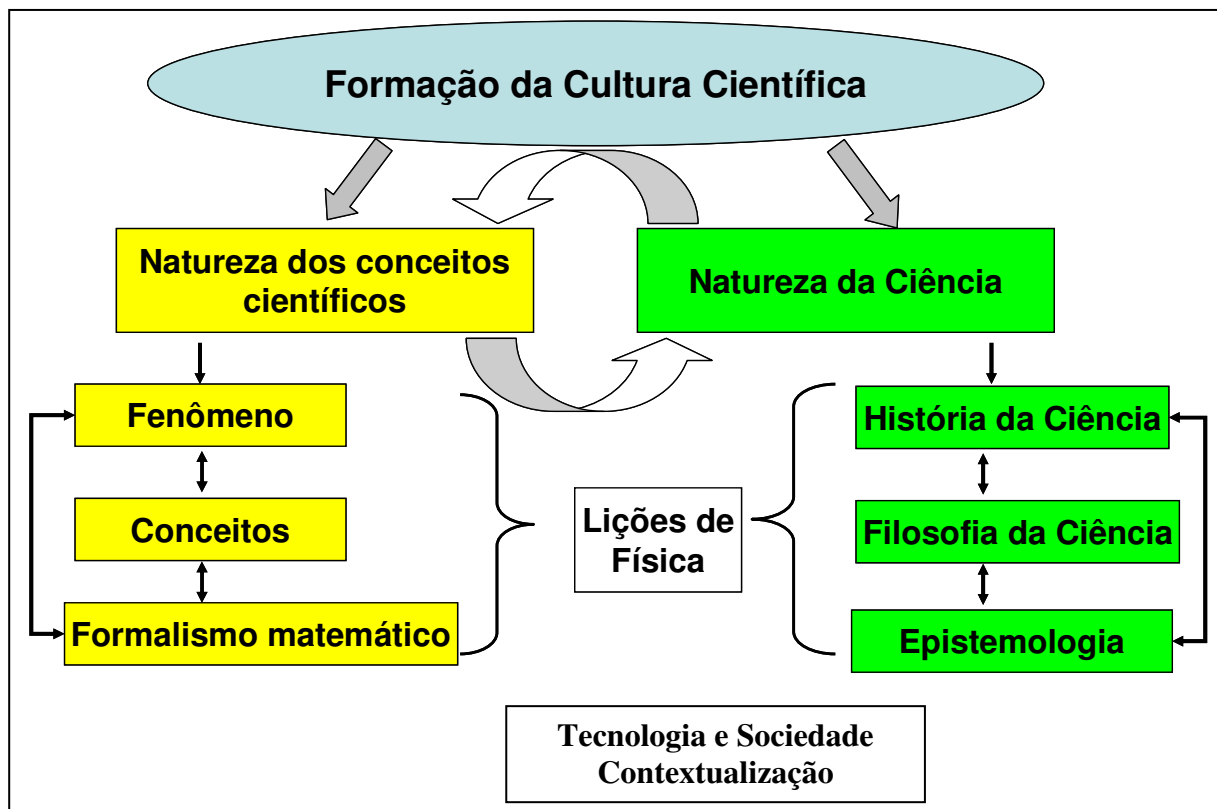
O diagrama a seguir representa um “congelamento” da dinâmica que representa a construção da Cultura Científica, evidenciando suas dimensões constitutivas (Natureza dos Conceitos e Natureza da Ciência) assim como as categorias que compõem cada uma dessas dimensões. As categorias representam níveis de compreensão da ciência e devem ser abordadas

nas diferentes séries do ensino em diferentes graus de aprofundamento que dependerão dos objetivos de ensino e da faixa etária a que se destina.

Na Dimensão Natureza dos Conceitos, a categoria “Fenômeno” representa o nível mais elementar, pois uma abordagem fenomenológica está centrada nas impressões primeiras, no que é observável. Ela perpassa todos os níveis de ensino, no entanto, se adequa mais ao nível da escola fundamental, uma vez que nesse nível a capacidade de abstração exigida para compreensão de alguns conceitos e a formação matemática do estudante ainda são limitadas. Na categoria “Conceitual” os fenômenos são analisados de forma mais aprofundada, o que envolve abstrações, conceitos e leis. Nessa categoria, também se dá o início da descrição matemática dos fenômenos. Esse tipo de abordagem configura o tipo de trabalho que se realiza no ensino médio. Já no terceiro grau, essas abordagens serão utilizadas de forma mais aprofundada, frizando-se o desenvolvimento do nível formal. A abordagem dos aspectos conceituais poderá enfatizar de maneira crescente e progressiva aspectos fenomenológicos, propriamente conceituais ou formais.

Um trabalho gradativo e articulado com cada uma dessas categorias possibilitará ao estudante voltar ao fenômeno com um novo olhar e munido de ferramentas mais poderosas para analisá-los. Isso se configura como uma estratégia de trabalho.

Com relação aos aspectos referentes à dimensão Natureza da Ciência, que envolvem as categorias História da Ciência, Filosofia da Ciência e Epistemologia, representa uma dimensão mais interpretativa. A História da Ciência explicita a dinâmica e o contexto em que se desenvolve a Ciência. A Filosofia da Ciência, que representa um “zoom” dessa dinâmica e objetiva explicar os fundamentos da construção da ciência, sua validade, argumentos, a forma como são produzidos, os pressupostos e implicações dos métodos científicos para própria ciência e para a sociedade. Já a Epistemologia, que está intimamente relacionada à Filosofia da Ciência, preocupa-se com o grau de certeza dos conceitos científicos.



Esquema representativo dos elementos e processos constitutivos de uma Cultura Científica no âmbito do Ensino de Ciências na Educação Básica. Embora inacabado, ele é parte do Núcleo de uma Linha de Pesquisa desenvolvida no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências, coordenada pelo Prof. Cássio C. Laranjeiras.

Uma boa formação científico-cultural, que tem se mostrado indispensável para os cidadãos que estão inseridos num mundo cuja ciência e suas aplicações estão cada dia mais presentes, deve ter compromisso com a abordagem das duas dimensões explicitadas acima. No Ensino Médio, por exemplo, a abordagem dos aspectos conceituais articulado com a História da Ciência pode proporcionar um grau mais elevado de conhecimento científico entre os alunos. Nesse sentido, o Estudo de Casos Históricos muito tem a contribuir, pois mostrando a dinâmica do desenvolvimento científico retira da penumbra uma dimensão que anda esquecida em nossas escolas.

As “Lições de Física” se configuram como um exercício de como articular estas duas dimensões em sala de aula, pois nelas, além do contexto histórico apresentamos aspectos fenomenológicos, conceituais, formais.

CAPÍTULO 3 - O ESTUDO DE CASOS HISTÓRICOS: UMA ESTRATÉGIA DIDÁTICO-PEDAGÓGICA NO ENSINO DE FÍSICA

Partindo da idéia de que a História da Ciência tem uma função constitutiva na formação científica do cidadão, é pertinente a pergunta: como trabalhar essa dimensão no ensino médio? Quais estratégias, do ponto de vista do trabalho escolar, poderiam proporcionar uma melhor compressão da dimensão Natureza da Ciência? .

Como vimos em capítulos anteriores, o papel da história da ciência no ensino ainda é algo que carece de mais discussão, no entanto, algumas conclusões podem ser feitas a respeito. Existe uma diferença entre a história do ponto de vista do historiador da ciência e do ponto de vista de um cidadão comum que está no ensino médio, como bem cita Conant (Conant, 1960)

Não é que se espere, por métodos abreviados, produzir no espírito do leigo a mesma reação instintiva aos problemas científicos, o que constitui o cunho do investigador, mas é possível fazer o bastante(...), para transpor, até certo ponto, o vácuo existente entre os que compreendem a Ciência porque a Ciência é a sua profissão e os que só estudaram os resultados da indagação científica, ou seja, os leigos. (Conant, 1960, pág. 28).

Partindo dessa diferença, uma história internalista, que segundo Zanetic (1989), se caracteriza pelo estudo profundo de teorias, comparação entre as teorias concorrentes, análise da consistência interna das idéias que surgiram, estudo da lógica de algumas descobertas, assim como o papel de cada um dos cientistas envolvidos nos episódios históricos, não se prestaria ao ensino médio. Esse ponto de vista da história está mais relacionado ao historiador da ciência, que lança mão de pesquisas em fontes primárias, materiais disponíveis em grandes bibliotecas e museus como cartas particulares de cientistas, experimentos construídos na época do estudo, dentre outros. Esse trabalho exige pessoas altamente capacitadas, tempo, a compreensão de

algumas línguas, dentre outros requisitos. Por outro lado, uma abordagem histórica externalista, que procura

...estudar o desenvolvimento da ciência tentando desvendar as influências sociais sobre ela, isto é, como as necessidades sociais de diferentes épocas poderiam afetar a temática e mesmo o conteúdo das teorias científicas que dominaram a cena nesses diferentes períodos históricos. (Zanetic, 1989, p. 33).

também não se enquadraria na realidade do ensino médio, pois exige uma visão muito abrangente para poder relacionar necessidades sociais e econômicas com o desenvolvimento científico e tecnológico, o que exige, muitas vezes, refazer o caminho pelos quais foi produzido certo resultado.

Não podemos apostar também numa história somente como elemento motivador, que se limita a datas e nomes de cientistas, fatos caricaturais ou anedotas (reais ou inventadas) ou em descobertas sensacionais como atualmente é feito nos livros didáticos. No ensino médio é importante um “balanço racional” dos aspectos históricos abordados. Devemos levar em consideração quais aspectos históricos são importantes para aumentar o nível cultural de nossos estudantes e que permita uma melhor compreensão da natureza da ciência, uma vez que, para muitos deles, o ensino médio representa a etapa final dos estudos. Guerra et. al.(1997) defende que

...devemos nos centrar na história que busca entender a ciência como uma construção realizada por homens que, através do conhecimento, procuraram dar respostas a questões que lhe são postas pela realidade do seu tempo. Isso significa que devemos compreender a produção científica como parte da cultura. (Guerra et. Al, 1997, p. 4).

Essa forma de encarar a história da ciência referenda o que discutimos anteriormente sobre a formação de uma cultura científica, onde apresentamos o conhecimento científico como parte da cultura humana e, portanto, necessário à formação cultural de qualquer indivíduo. Agora, faz-se necessário métodos e diretrizes metodológicas que nos ajude a explicitar o valor cultural

do conhecimento científico. Também dentro dessa perspectiva, devemos explorar a riqueza intelectual expressa nas várias versões de explicações de fenômenos; as teorias concorrentes e as soluções criativas; as questões que, num determinado momento, exigiam respostas tanto do ponto de vista puramente teórico como prático; o caráter dinâmico característico da evolução da ciência; bem como as influências econômicas e sociais da ciência e sobre a ciência.

Metodologicamente existe uma variedade de possibilidades de abordagens que podem contemplar essa visão, como por exemplo, as *narrativas históricas*, o *desenvolvimento histórico de um modelo conceitual* ou um *estudo de caso* histórico. Nos concentraremos nesse último em função do trabalho que pretendemos desenvolver para uso da história em sala de aula do ensino médio.

Segundo Stinner et al(2003), o estudo de casos históricos se caracteriza por princípios gerais que possibilitam o resgate do contexto em que se deu algum problema marcante da ciência. Em suas próprias palavras “Os Estudos de Casos são contextos históricos com uma idéia unificadora, desenhados de acordo com certos princípios gerais para explicitar o contexto de um grande problema”. (Stinner et al, 2003, p. 620)

No que concerne ao contexto histórico em que se deu determinado problema científico, num estudo de caso devem ser explorados os obstáculos epistemológicos, representados na visão do senso comum onde geralmente se apóiam algumas teorias, apresentando suas potencialidades e limitações. Também devem ser explicitadas as dificuldades que acompanharam cada nova idéia e que se apresentaram como obstáculos no desenvolvimento do conhecimento. Outro aspecto essencial é mostrar a dinâmica em que se dá o desenvolvimento de novas idéias, evidenciando como novos processos foram se desenvolvendo até proporcionarem, muitas vezes, revoluções importantes. A intrincada relação de interação entre experimento, observação, e o desenvolvimento de novos conceitos e idéias, também é necessário que seja explicitado nesse

contexto. Além disso, é importante expressar de que maneira um esquema conceitual é adequado para um determinado tempo, e depois é modificado ou substituído por outro, evidenciando os fatores econômicos e sociais relacionados às novas opções, caso hajam.

Como exemplo de contextos históricos que permearam a história do desenvolvimento científico, podemos citar o contexto de surgimento do equivalente mecânico do calor, onde controvérsias sobre a natureza do calor se mostram um rico material para estudo; o desenvolvimento da idéia de movimento por inércia, onde passaram-se quase 2000 anos para superar os legados de Aristóteles; o contexto de desenvolvimento da bomba atômica e outros casos como na biologia, as discussões em torno da possibilidade da geração espontânea, ou na química, os embates sobre os modelos atômicos.

Para delinear esses contextos e realizar o estudo de caso histórico, o professor deve lançar mão de diretrizes que segundo Stinner et al. (2003) são as seguintes:

- Escolher um evento marcante no desenvolvimento da ciência e identificar a idéia central. Se possível este problema deve estar relacionado com o tema que está sendo abordado em sala de aula;
- Mapear o contexto em torno da idéia unificadora central. Esse mapeamento deve explicitar as principais idéias e questões científicas em torno da explicação do fenômeno, as controvérsias mais marcantes, as personagens envolvidas, explicitar o contexto social e econômico, e se for o caso, se esses fatos tiveram influências;
- Criar uma história, que pode ser linear ou não, que dramatize e clareie o significado da idéia. É interessante identificar um importante fato associado com uma pessoa, ou pessoas, encontrar opositores ou eventos conflitantes e marcantes.

- Fornecer ao estudante elementos que possam ser relacionadas com seu dia-a-dia, buscando dentro do caso estudado, vínculos com o cotidiano do aluno;
- Assegurar que a idéia principal, concepções e problemas de um tópico sejam gerados do contexto de forma natural;
- Assegurar uma linha que garanta a precisão e a generalização;
- Resolver os conflitos que foram gerados pelo contexto e encontrar conexões entre idéias e concepções discutidas e idéias atuais.

Vista sob esse enfoque, a história da ciência possibilita uma melhor compreensão da natureza da ciência por parte dos alunos do ensino médio, pois no estudo de caso histórico abrem-se portas para o diálogo em suas várias dimensões tanto entre o professor e os alunos nas compreensão dos casos históricos, assim como o diálogo intrínseco ao próprio processo de conhecimento, já que essas etapas, desde a escolha de um evento marcante até a utilização dessas diretrizes, podem ser feitas em cooperação com os estudantes. A apresentação do estudo realizado pode ser feita de variadas maneiras. Como sugestão, o professor pode dividir a turma em três grupos onde o primeiro mostra o contexto histórico que deve conter as idéias científicas do período, suas justificativas, confrontos e conexões com o tópico estudado. Um segundo grupo se encarregaria de apresentar as experiências e idéias principais, incluindo, se for o caso, uma demonstração que replique o experimento. E um terceiro grupo, discutiria as conexões entre as idéias estudadas no caso histórico e as idéias atualmente aceitas.

O caso que vamos tratar neste trabalho diz respeito ao contexto em que se desenvolve a idéia de pressão atmosférica, no entanto, esses mesmos procedimentos podem ser transferidos para o estudo de qualquer caso histórico. No próximo capítulo reuniremos elementos nessa direção.

CAPÍTULO 4 - “HORROR VACUI?” A TEMÁTICA DO HORROR DA NATUREZA AO VÁCUO

Ao longo desse capítulo, procuramos mapear o contexto de surgimento da noção de pressão atmosférica se baseado em artigos e livros que, do ponto de vista histórico, representam fontes secundárias. Os trabalho que serviram de referências são: Conant (1960), Martins(1989), Martins(1993), Menezes(2005) e Longuini(2000).

Nesse mapeamento, parte-se das idéias de Aristóteles sobre a impossibilidade do vazio e de sua reinterpretação pelos escolásticos na Idade Média, apresenta-se os problemas de ordem práticas na época de Galileu Galilei, os experimentos cruciais realizados por vários cientistas como Berti, Evangelista Torriceli e Blaise Pascal e finalmente apresentamos a confirmação da existência de uma pressão exercida pelo ar atmosférico expresso nos experimentos de Robert Boyle.

Ao indagamos a alunos do Ensino Médio sobre o fato de estamos inseridos num oceano de ar, provavelmente todos afirmarão que sim, pois estamos acostumados com a idéia que a Terra tem uma atmosfera, que estamos inseridos nela e que este ar, que está sobre nossas cabeças tem um peso e que, portanto, exerce uma pressão sobre as pessoas e os objetos. Para nós, que fomos apresentados a essa idéia desde criança, tudo parece claro, no entanto, este assunto é antigo e até chegarmos na formulação atual, foram necessárias muitas discussões e experimentos comprobatórios que envolviam o peso do ar, as explicações de fenômenos observados no dia-a-dia e a possibilidade da existência de espaços vazios, ou seja, vácuo. Nesse caso histórico, vamos

mostrar um pouco desse emaranhado que culminou com a aceitação de que realmente era possível produzir vácuo, mesmo que parcial, e que a atmosfera exerce uma pressão sobre os corpos.

4.1-Resgatando o contexto: as controvérsias em torno da existência do vazio

As discussões em torno da possibilidade da existência do vazio foi assunto de controvérsias desde os pré-socráticos. Os atomistas, por exemplo, acreditavam que a existência de espaços vazios era necessária, dentre outras coisas, para que houvesse movimento. Nessa mesma linha de raciocínio, alguns séculos mais tarde, Sexto de Empiricus (séc. I d.C.) defendeu a existência do vazio, pois, segundo ele, se não houvesse o vazio os corpos em movimento não teriam por onde passar. Para outros, como Lucretius (séc. I a.C.), ao menos instantaneamente, era possível produzir um vácuo. Seu argumento baseava-se na seguinte observação, se duas placas de mármore unidas uma a outra, quando molhadas, forem bruscamente separadas, era impossível uma penetração instantânea do ar entre as duas, conseqüentemente, um vazio seria produzido naquele lugar, ao menos instantaneamente. Outro argumento curioso de Lucretius na defesa do vácuo se refere ao movimento de objetos dentro da água. Para iniciar o movimento um peixe precisaria de um local vazio para onde ele pudesse se mover, e isso exigiria que a água se movesse desse local antes que o peixe para que o mesmo ficasse vazio, o que era considerado um absurdo.

Outro defensor da existência dessa linha de pensamento foi Heron de Alexandria (séc. I d.C.), que afirmava que se não existissem espaços vazios, nem luz, nem calor, ou qualquer outra força material poderia penetrar através da água, do ar ou de outros corpos. Também utilizavam um argumento muito comum na época: ao derramar vinho na água, observa-se que ele se espalha por todos os pontos da água, isso levava a conclusão lógica que existem espaços vazios na água.

Essas idéias, apesar de bem argumentadas, não tiveram tanta repercussão na Filosofia Natural quanto as idéias de Aristóteles (séc IV a. C.). Sua filosofia exigia a negação do vazio, e estava tão bem estruturada que explicava, de forma lógica, muitas questões da época, o que faz conseguir muitos adeptos. Usando de uma lógica quase irrefutável, Aristóteles rebateu muitas das idéias dos defensores do vácuo. Por exemplo, o fato de a luz e o som atravessarem os corpos não significa que existem espaços vazios no interior destes, pois, sendo a luz e o som imateriais, não necessitam de espaços vazios para atravessar qualquer material. No caso do movimento de um corpo de um local para outro, ele argumentava que não era necessário a existência de espaços vazios, já que os corpos podem ceder espaços um ao outro simultaneamente. Na água, um peixe ao iniciar um movimento, passa a ocupar um local onde havia água que, por sua vez, passa a ocupar o local onde estava o peixe. Aliás, Aristóteles não concebia movimento no vazio. Em sua filosofia, para que ocorra os movimentos violentos, aqueles que não são movimentos dos corpos para seus lugares naturais, é necessário um meio no interior do qual o móvel possa deslocar-se, pois quando a força que impulsiona o objeto deixa de agir, este só continuará em movimento devido ao impulso que o ar, a água ou qualquer outro meio onde este esteja deslocando-se, dá ao objeto, ou seja, o meio é o motor do movimento. Ainda segundo Aristóteles, em todo movimento há dois fatores principais: a força motriz e a resistência. Para que haja movimento é necessário que a força motriz seja maior que a resistência, sendo a velocidade inversamente proporcional a resistência.

Dentro dessa lógica, sem haver resistência- movimento no vazio- o objeto teria velocidade infinitamente grande, o que exigiria uma espaço infinito em extensão, algo impossível para Aristóteles que acreditava num universo limitado pela esferas das estrela fixas.

Alguns séculos mais tarde, na Idade Média, com o resgate das obras de Aristóteles pelos árabes, surgem novos argumentos em defesa da impossibilidade do vácuo, alguns inclusive com provas empíricas. Avicena (séc. XI d. C.) e Jean Buridan (sec. XIV) procurando evidenciar que um corpo não pode se separar do outro a menos que surja um outro entre eles, citam como exemplo, a água que se mantém num tubo retentor. Quando seu orifício superior é tapado, a água não cai porque não pode se separar do recipiente e, se isso ocorresse, ficaria um espaço vazio entre os dois corpos. As ventosas dos barbeiros, era outro exemplo comum apresentado por eles, ao aspirar o ar, puxa a pele para dentro dela, pois o ar não pode se separar da pele. Essa lógica também se aplicava aos foles, que se tivessem todos seus orifícios fechados, de modo que não pudesse entrar ar, as duas superfícies que o compõe nunca poderiam ser separadas, nem mesmo com uma força muito grande. A sucção de líquidos nos canudos, também era bem explicado por este princípio: sugando-se o ar do interior do canudo o líquido deve subir, mesmo sendo pesado, para ocupar o lugar do ar que está sendo sugado, evitando-se assim o vácuo.

No século XVI, com o fortalecimento da Igreja Católica, as idéias de Aristóteles foram então reinterpretadas pelos Escolásticos com o objetivo de adaptá-las aos dogmas da igreja. No entanto, muitos seguidores de Aristóteles se viram em dificuldades para reconciliar algumas das conclusões extraídas de sua tese com os dogmas da igreja. Eles viram na tese de Aristóteles da impossibilidade do vazio a negação da onipotência divina, pois se Deus desejasse ele poderia, de fato, criar o vazio. Para reconciliar essas idéias, os escolásticos passaram a afirmar que era possível um vácuo, mas não era possível produzi-lo com as forças “naturais”, assim surge na Idade Média a teoria de que a natureza tem horror ao vácuo, um horror constitucional adaptado

de alguma forma para evitar sua produção. A idéia que a natureza tem horror ao vácuo não era em seu contexto absurda, como nos parece hoje, explicava satisfatoriamente um grande número de fenômenos, como a impossibilidade de separação de um fole tampado, a adesão de duas placas de mármore molhado, a sucção de líquidos através de canudos e o funcionamento das bombas aspirantes, instrumento muito utilizado para elevação de água para irrigação e nas minas.

4.2- Um problema da “arte de bombear” proposto a Galileu

Era muito comum, por volta de 1600, a utilização de bombas aspirantes no continente europeu. As aplicações desse dispositivo variava desde a retirada de água de minas a bombeamento de água para cidades e irrigação. Seu funcionamento era simples e perfeitamente explicável pela teoria do horror ao vácuo como ilustra a figura 1.

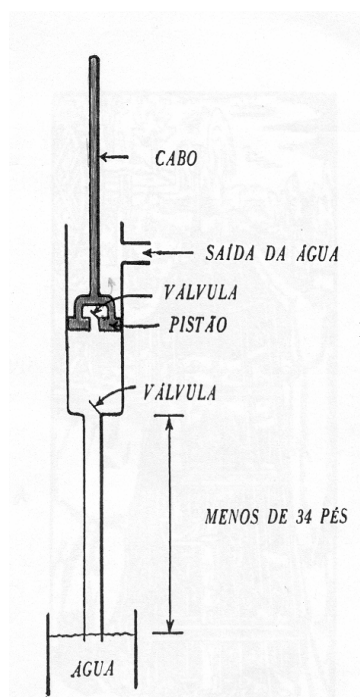


Fig. 1- Diagrama de uma bomba simples de elevação ou sucção de água (fonte: Conant, 1960, p. 51)

Como ocorre ao sugarmos o ar do interior do canudo, nas bombas aspirantes a elevação do pistão tende a criar um vácuo, e como a natureza tem horror ao vácuo, a água sobe pelo tubo evitando-o. Mas um problema proposto a Galileu gerou certa desconfiança a respeito dessa explicação de funcionamento das bombas baseadas no horror ao vácuo e estimulou uma série de outros experimentos sobre existência do vazio. O problema, já conhecido de muitos engenheiros e pessoas que trabalhava com bombas, e que também foi proposto a Galileu, era o seguinte: porque as bombas aspirantes não possibilitarem a elevação da água a uma altura superior a 34 pés (em torno de 10,33metros).

Galileu, como uma das autoridades científicas da época e inicialmente também um defensor do horror ao vácuo, tentou explicar o problema comparando a coluna de água com um fio de cobre, em que há um comprimento onde seu próprio peso o rompe, o mesmo devendo ocorrer com a coluna de água, a partir de uma certa altura a coluna se partia pelo seu peso.

Nesse período, já se especulava sobre o peso e sobre a pressão do ar. Issak Beeckman, um holandês, afirmava que o ar, assim como a água, pressiona as coisas e as comprime de acordo com a altura do ar acima delas. Outro experimentador Jean Rey, tentando explicar as variações de peso observadas nas reações químicas de calcinação, atribuiu o aumento do peso dos metais calcinados a combinação dos metais ao ar. Nessa mesma visão Giovanni Batista Baliani (1582-1666), proponente da questão das bombas a Galileu, acrescenta em uma carta escrita a Galileu que estamos inseridos num mar de ar, que exerce um peso sobre os corpos e sobre as pessoas, e que para criar um vácuo era necessário empurrar o ar, ou seja, vencer sua pressão.

Apesar dos argumentos a favor do peso do ar, ainda não existiam evidências empíricas de seu peso ou densidade. Era necessária mais observações e experimentos que garantissem a

existência de uma pressão atmosférica e conseqüentemente uma forma de produzir um vácuo, vencendo essa força.

4.3- Em busca de mais evidências

Todas essas especulações a respeito do peso do ar e da possibilidade de produzir um vácuo serviram de estímulo para realização de novos estudos e experimentos. Um desses experimentos, que teve grande influência nos trabalhos sobre pressão atmosférica, foi realizado por Gasparo Berti por volta de 1641. A figura 2 ilustra o aparato que se assemelha muito com o experimento que Torricelli realizará anos mais tarde.

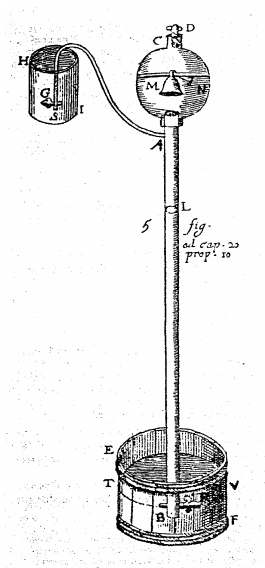


Fig.2- Aparato experimental de Berti (fonte: Martins, 1989, p. 34)

O tubo AB feito de chumbo, bastante longo (em torno de 40 palmos), tinha uma de suas extremidade uma torneira R que ficava inserida na água que estava dentro de um tonel. Na parte superior do tubo, havia um recipiente de vidro com uma torneira D. Com a torneira inferior R fechada, foi colocado água através de D na parte superior de forma que todo o tubo, inclusive o recipiente de vidro, ficaram cheios de água. Com a torneira D completamente fechada, abre-se a torneira R e observa-se que parte da água flui do tubo para o tonel. Quando atinge uma certa altura em relação ao nível da água que está no tonel ela pára de fluir. Observou-se que ficou um espaço vazio acima da coluna de água. Quando a torneira D foi aberta, o restante da água desceu para o tonel e o ar ocupou o espaço antes ocupado pela água.

Logo após esse experimento, foram sugeridas modificações buscando evidenciar se na parte superior do tubo realmente era produzido um vácuo. Provavelmente, ainda nesse momento, não se tinha relacionado a altura da coluna de água com a pressão atmosférica, isso exigiu novas discussões e idéias.

Uma variação do experimento de Berti foi realizado em torno de 1644 por Evangelista Torricelli e Viviani, ambos discípulos de Galileu. Sob a liderança de Torricelli, utilizaram um tubo de vidro de aproximadamente um dedo de largura e três pés de comprimento, tamparam-lhe uma das extremidades e encheram-no completamente de mercúrio, como ilustra a figura 3.

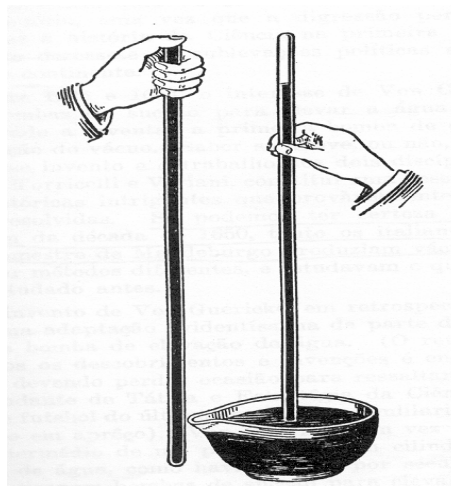


Fig. 3- Experimento de Torricelli (fonte: Conant, 1960, p. 58)

Tamparam a outra extremidade com o dedo e inseriram-na num recipiente aberto cheio de mercúrio. Ao retirar o dedo da extremidade inserida no recipiente, a coluna de mercúrio no interior do tubo desceu até uma altura de 76 mm acima do nível de mercúrio do recipiente aberto. Na parte superior do tubo observou-se um vázio, assim pela primeira vez podia-se observar o vácuo.

Aqui cabe destacar, que o experimento realizado por Torricelli e Viviani, representou uma tremendo avanço em relação ao proposto por Berti. Era mais fácil de realizá-lo, pois o mercúrio é muito mais denso que a água, o que exige um tubo menor e era possível visualizar o que ocorria no interior do tubo, haja visto que o tubo era de vidro, ao invés de chumbo no experimento de Berti. Mas o mais importante é a maneira inovadora com que Torricelli interpreta o fenômeno. Em uma carta que escreveu a Ricci em 1644, Torricelli interpreta a força que segura o mercúrio contra sua vontade de cair, que era atribuída a uma força interna entre o vidro e mercúrio ou ao vácuo, a uma causa externa, a uma força que vem de fora. Como defendia que estamos submerso num oceano de ar, que já se sabia ter peso, afirmava que sobre a superfície do líquido que estava na bacia existe uma coluna de ar de vários quilômetros e que, portanto, exerce uma força que segura a coluna de mercúrio ou de água dentro do tubo.

Para provar definitivamente que a força que segura o tubo não é interna e sim externa, Torricelli realiza a mesma experiência utilizando-se de tubos diferentes como mostra a figura 4.

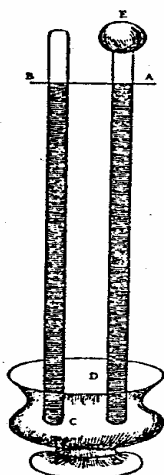


Fig. 4- Ilustração do experimento de Torricelli, 1644. fonte: Martins, 1989, p. 158)

Nessa experiência, que tem os mesmos procedimentos da anterior, dois tubos A e B, sendo A maior e com maior capacidade para caber mercúrio, foi observado que o mercúrio parava sempre na mesma horizontal AB, o que caracterizava uma contradição pela teoria do horror ao vácuo. Se no topo do tubo AE havia mais matéria rarefeita e atrativa, a coluna de mercúrio deveria ficar acima da coluna do tubo B, o que não ocorreu. Isso sinalizava que a força era realmente externa e não interna.

Nesse momento na Itália de Galileu, Berti, Viviani e Torricelli ainda sobre as sombras da inquisição, parecia perigoso a ampla divulgação de idéias que fossem contrárias a da igreja. Numa viagem que Mersenne fez a Itália, tem contato com os resultados desses experimentos e os repassam, em Paris, dentre outros para Pierre Petit, que em 1646 em Rouen, na presença de Blaise Pascal e seu pai replica alguns desses experimentos. Na Europa, principalmente na França, idéias e experimentos sobre o vácuo e a pressão atmosférica assumem um posto alto nas discussões filosóficas. Assim, vários experimentos semelhantes aos de Torricelli passam a ser realizados e descritos. Pascal, excitado pelo assunto, realiza várias experiências diante de grades públicos e, ainda duvidoso da real causa da força que sustenta a coluna de líquido no interior do tubo no experimento de Torricelli, pede por volta de 1648 que seu cunhado execute esse experimento na base e no topo do monte Puy-de-Dôme (próximo a cidade de Clermont Ferrand onde nascera e morava). Talvez esse procedimento tenha sido sugestão de Descartes, com quem Pascal se encontrara alguns dias antes. Como resultado dessa investida, verificou-se que a altura da coluna de mercúrio é menor no alto da montanha, o que fez Pascal confirmar que a causa dos fenômenos, antes atribuídos ao vácuo, era realmente devido aos efeitos da pressão atmosférica, além de mostrar que esta varia de acordo com a altura. Com isso, a idéia que a natureza tem horror ao vácuo começou a ruir, pois não era possível que ela tivesse mais horror na base do em cima do monte, e um novo conceito surge com mais força, o de que a Terra está rodeada por um

oceano de ar, e que por ter peso, exerce pressão sobre os corpos, sendo, portanto, maior no fundo desse oceano, isto é, na superfície da Terra, do que numa região mais alta.

Mesmo depois dessas séries de experimentos, muitos ainda continuaram acreditando na impossibilidade da existência do vácuo, o que definitivamente é resolvido através de novos trabalhos sobre o vácuo realizados por Otto von Guericke e Robert Boyle.

4.4- A produção de vácuo e confirmação da existência da pressão atmosférica

No século XVII as atividades experimentais ganharam um destaque especial, havia muita gente envolvida em construir e demonstrar seus experimentos, como por exemplo, Otto Von Guericke que ficou famoso com suas atividades envolvendo o vácuo. Em 1654, utilizando uma bomba de latão que sugava água e ar ele conseguiu, ajustar dois hemisférios de bronze, ocios, cujo ar em seu interior foi retirado por uma bomba de vácuo.



Fig. 5- Gaspar Schott, *Mechanica hydraulico pneumatica*, Würzburg 1657

As duas metades permaneciam fortemente unidas devido a pressão externa da atmosfera. Segundo ele, essa pressão externa era tão intensa que oito cavalos de cada lado não conseguia separá-las. A figura 5 ilustra o experimento realizado por Otto von Guericke perante o Imperador Fernando II em Magdurg. Esse experimento ficou conhecido como os Hemisfério de Magdurg.

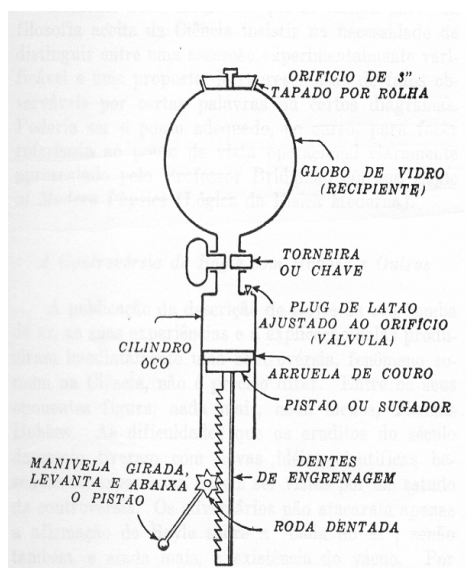


Fig. 6- Esquema de funcionamento de uma bomba de vácuo proposta por Boyle(fonte: Conant, 1960, p.66)

Um outro experimentador que tinha interesse pela produção de vácuo foi Robert Boyle, que realizou uma variedade de atividades sobre a produção de vácuo. Ele melhorou de forma significativa algumas bombas proposta por von Guericke o que possibilitou que os trabalhos sobre vácuo e pressão atmosférica dos investigadores italianos e franceses pudessem ser definitivamente comprovados. A figura 6 mostra um esquema de funcionamento de uma bomba de vácuo proposta por Boyle.

Dentre os experimentos realizados por Boyle, um que foi realizado em 1647 e que ficou conhecido de vácuo no vácuo, mostrava que no experimento de Torricelli, se o ar for retirado de cima do recipiente aberto que contém mercúrio, a coluna de mercúrio no tubo de vidro desce, e quando o ar era estabelecido, o mercúrio voltava a subir no tubo. Esse experimento, possibilitou

bater o martelo com relação a pressão atmosférica. A figura 7 mostra um esquema do aparato construído por Boyle.

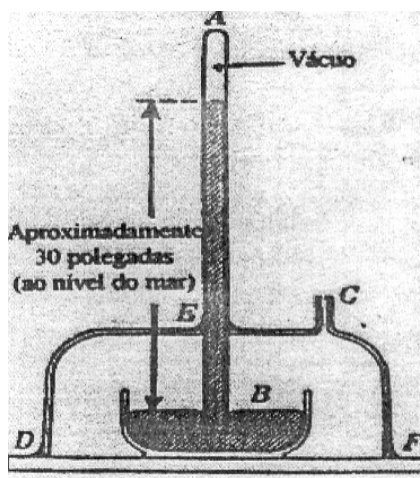


Fig. 7- O vácuo no vácuo(fonte: Longuini, 2000, p. 77).

Com esse dispositivo Boyle, realiza o experimento de Torricelli no vácuo. A medida que se retirava ar pelo orifício C utilizando uma de suas bombas, observou-se que o mercúrio descia a coluna do tubo, quando foi retirado o máximo de ar possível, todo o mercúrio baixou. Ao retornar a ar para o recipiente a coluna tornou a subir. Isso garantiu que realmente a pressão do ar é que sustenta a coluna de mercúrio.

Os trabalhos de Boyle foram muito importantes para compreensão da pressão atmosférica e do vácuo. Usando-se de grandes recipientes de vidro as mesmas experiências realizadas para comprovar o esquema conceitual Torricelli, puderam ser realizadas no vácuo, sob constante observação e em escala muito maior do que era possível com o tubo de Torricelli.

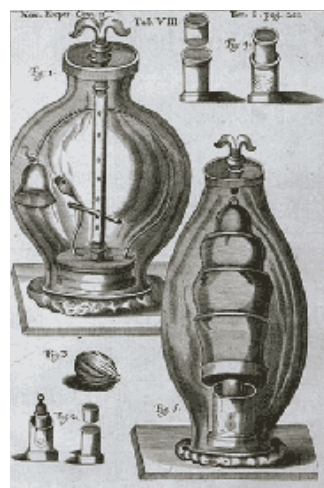


Fig. 8- Robert Boyle, *New Experiments Physico-Mechanicall, Touching the Spring of the Air and its Effects*, Oxford 1660.

Em uma dessas experiências, Boyle usando suas bombas para produção de vácuo, construiu um dispositivo que confirmava que o interior de um recipiente de vidro realmente estava evacuado. Já se sabia na época que o som necessitava de um meio material para se propagar, então no vácuo ele não se propaga.

Assim, Boyle construiu o dispositivo mostrado na figura 8, onde o giro da chave superior fazia tocar o sino. Quando o ar era retirado do interior desse recipiente não se ouvia som algum, mas quanto um pouquinho de ar era inserido, ouvia-se som.

4.5- Visitando as concepções modernas sobre o vácuo e pressão atmosférica.

Se no século XVII os aparatos experimentais indicavam a existência de um oceano de ar que nos envolve e que exerce pressão, o mesmo não podíamos afirmar sobre a existência do vácuo.

Em 1647 um experimento realizado por Roberval, então membro da “Accademia del Cimento” na Itália, coloca em cheque se existe um vácuo no espaço vazio no topo de um tubo de Torricelli, pois uma pequena bolha de ar pode dilatar-se de forma a preencher todo o espaço. Para demonstrar isso ele usou uma bexiga de carpa, totalmente vazia e seca e a colocou no topo de um tubo de Torricelli. Observou-se que quando o mercúrio descia, a bexiga se inflava, como se tivesse soprado ar em seu interior. A pequena quantidade de ar dentro da bexiga dilatou-se a ponto de inflar a bexiga.

Na verdade, o vácuo que se produzia no interior de um tubo de Torricelli, não significava o mesmo que o nada ou ausência de matéria. Primeiro, que qualquer pequena porção de ar no interior do tubo pode se expandir de forma a ocupar todo esse espaço, como confirmado na experiência de Roberval e, segundo, que mesmo não havendo ar no interior do tubo ele não ficaria vazio, pois o mercúrio, evapora-se a temperatura e pressão ambiente, e esse processo se acentua quando ele é submetido pressão muito baixa, como a observada ao se realizar a experiência da Torricelli. Portanto, na parte “vazia” do tubo na verdade tem vapor de mercúrio, mesmo que não seja visível a nossos olhos.

Mais tarde, no século XIX, uma experiência imaginária viria a questionar possibilidade de um vácuo puro, ou seja, uma região sem nada. Neste período, as interpretações estatísticas de algumas propriedades térmicas dos materiais estavam sendo consolidadas, assim como as questões que deram origem a física quântica e das radiações estavam em pauta no meio acadêmico. Isso teve implicações importantes sobre a noção de vácuo. Imagine que fosse possível retirar toda a matéria visível de um recipiente. Mesmo assim, o espaço ainda não estaria vazio, pois restaria a radiação eletromagnética de origem térmica, resultado da emissão das paredes do recipiente. Essa radiação poderia ser suprimida hipoteticamente colocando o recipiente em que se produziu vácuo a temperatura de zero absoluto. No entanto, ainda assim, o espaço não estaria vazio, pois, restaria uma radiação residual conhecida como radiação de ponto zero, impossível de eliminar.

Mas não é somente essa radiação residual que ainda nos resta a eliminar para que houvesse um espaço sem nada. Se o recipiente fosse de vidro, a luz penetraria em seu interior, assim como as ondas de rádio, portanto, isso já não caracterizaria um espaço vazio. Se o recipiente fosse de metal, essas radiações poderiam ser eliminadas, mas não poderíamos evitar a presença em seu interior do campo gravitacional. No entanto, poderíamos reduzi-lo se a produção

desse vácuo fosse feito numa região do espaço muito distante dos grandes campos gravitacionais. Mesmo assim, o interior do recipiente não estaria livre de invasores, pois poderia ter radiação cósmica como os raios gama, múons e neutrinos.

Seguindo essa linha de raciocínio, vácuo não é sinônimo de nada. Primeiro, por não existir equipamentos capazes de retirar toda a matéria de um recipiente, por exemplo, no espaço interestrelar, onde temos um vácuo quase perfeito no que tange a ausência de matéria, existe aproximadamente 1 molécula por centímetros cúbicos. Mas caso isso fosse possível, não teria como eliminar toda a radiação tanto a de origem térmica como a de origem cósmica. E finalmente, não há como eliminar, como um todo, o campo gravitacional. Portanto, o vácuo ideal da física clássica é uma construção teórica e atualmente é definido como aquilo que resta quando se elimina tudo que é experimentalmente possível numa região do espaço. Talvez, Aristóteles e seus seguidores tivessem razão quando afirmavam sobre a impossibilidade do vácuo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As discussões a respeito do papel da história da ciência no ensino de ciência, apesar de antiga, estão longe de um consenso. Isso indica a necessidade de análises mais aprofundadas sobre o tema. O que sabemos ao certo é que o seu papel vai além de um mero instrumento acessório para motivar os alunos ou ajudar a compreender conceitos. A história da ciência deve ser encarada como parte integrante dos conhecimentos necessários a formação científico-cultural dos alunos, ou seja, de elementos acessório, como na maioria das vezes ela é utilizada, ela passa a elemento constituinte na formação de uma cultura científica.

Geralmente o que vemos em nossas escolas é que os aspectos referentes a Natureza dos Conceitos Científicos, onde se inclui a História da Ciência, são raramente trabalhados. Isso em parte se deve a falta de formação do professor para lidar com essas questões assim como os livros didáticos que acabam por exercer uma influência muito grande sobre os temas que são abordados em sala. Dessa forma, o conhecimento escolar, no que se refere a Física, fica pautado na apresentação de conceitos e aplicações de fórmulas. Um trabalho didático pautado apenas no produto do conhecimento contribui significativamente para a construção de uma visão caricatural do empreendimento científico, pois dentro dessa linha, a ciência é retratada como algo estático em que os conceitos, leis e fórmulas aparecem como um “passe de mágica”. Dessa forma, suprime-se do ensino das ciências a dinâmica que representa sua construção, as idas e vindas, os erros cometidos, as influências sócio-econômicas sobre a ciência, as controvérsias entre idéias, enfim, suprime-se a constante evolução e aprimoramento que tem caracterizado o conhecimento científico, e que, portanto, o diferencia das outras formas de conhecimento.

Dentro dessa perspectiva, é indispensável que no ensino de ciências os professores lance mão da História da Ciência, mas não como elemento acessório, mas sim como elemento constituinte na formação cultural do indivíduo. O que realmente falta, diante da realidade do ambiente escolar, é preparo do professor, tempo para trabalhar a dimensão proposta e materiais didáticos que abordem a História da Ciência.

Em relatos feitos pelos próprios professores, muitos se sentem incapacitados de ministrar aulas que envolvam aspectos da História da Ciência, pois em sua formação inicial não tiveram esse tipo de disciplina. Isso evidencia a necessidade dos cursos de formação inicial e continuada de professores de ciências enfocarem a dimensão Natureza da Ciência.

Com relação à falta de tempo como um empecilho ao trabalho com a História da Ciência, podemos afirmar que esse seria um problema de menor proporção se no planejamento dos professores abrisse mão dos recheados currículos baseados nos sumários dos livros didáticos, que por sua vez são centrados nas definições, conceitos e aplicações de fórmulas. No Brasil, o livro didático exerce grande influência na definição do que deve ser trabalhado em sala de aula, como a grande maioria não aborda questões referentes a Natureza da Ciência, pouco ou quase nada dessa dimensão é trabalhado pelo professor. Por outro lado, abrir mão dos conteúdos do qual se domina, em cima do qual se trabalha a muito tempo e passar a abordar algo para o qual não se sente preparado, parece complicado para o professor. Essa insegurança talvez leve-o a se apoiar no argumento da falta de tempo. Também relacionado ao problema do tempo estão os vestibulares, que não cobram em suas avaliações questões relacionadas a História da Ciência. Em função disso, muitos professores afirmam que se trabalhassem as questões relativas a História da Ciência não sobraria tempo para trabalhar os conteúdos cobrados nos vestibulares. Aqui cabe uma reflexão que nos remete a formação de uma Cultura Científica, o aprendizado da ciência não pode ficar restrito a preparação do estudante para os exames de vestibulares, devemos antes de

tudo, nos preocupar com a formação integral do cidadão, independente se ele vai ser um engenheiro, um médico ou um balconista. Devemos nos preocupar em melhorar a formação científico-cultural de nossos alunos, e para isso devemos nos centrar nos conhecimentos científicos que todos os indivíduos deveriam saber para exercer plenamente sua cidadania, independente se seguirá à carreira científica ou não. Portanto, se os professores trabalhassem dentro dessa perspectiva, perceberiam que muitos dos conteúdos cobrados nos vestibulares ou mesmos propostos nos livros não se adequam a nossa preocupação, assim abrir-se-ia mão de muitos deles e, portanto, sobraria tempo para trabalhar as questões relativas a Natureza da Ciência. Não estamos aqui menosprezando os vestibulares e o trabalho voltado para eles, o que estamos propondo é uma seleção racional e equilibrada dos conteúdos de física que leve em consideração todas as dimensões necessárias para a formação de uma Cultura Científica mais consistente.

Dos problemas apresentados, a escassez de materiais didáticos que abordem temas relativos a história da ciência, se configura como o mais sério. Nos livros didáticos comerciais, quando se aborda aspectos referentes a História da Ciência, geralmente a considera como elemento acessório. Mais recentemente, alguns livros paradidáticos foram lançados objetivando preencher essa lacuna, fato que despertou em muitos professores a necessidade de trabalhar a História da Ciência.

Diante dessa demanda, as Lições de Física configuram um exemplo de como a aspectos relativos a História da Ciência também podem ser abordados no Ensino Médio. Nas lições, realizamos um Estudo de Casos Histórico abordando a dinâmica de construção da noção de pressão atmosférica, sem abrir mão, portanto, dos aspectos fenomenológicos e formais, caracterizando-se assim como um exercício de como poderíamos articular as dimensões Natureza dos Conceitos e Natureza da Ciência.

O Estudo de Caso Histórico apresentado nas lições desponta como uma estratégia interessante, uma vez as diretrizes que o caracteriza exige o resgate do contexto em torno da idéia que se quer desenvolver, destacando os principais personagens envolvidos, as experiências marcantes, o contexto sócio-econômico e as principais controvérsias. Isso torna esse tipo de estratégia rica pedagogicamente, pois abre caminhos para participação mais efetiva do aluno no processo de aprendizagem, assim como desafia o professor a produzir novos Estudos de Casos Históricos envolvendo outros temas.

No apêndice 1, apresentamos as referidas lições que se iniciam com especulações sobre a possibilidade da existência do vácuo, e atinge seu clímax no século XVII, com a realização de vários experimentos, onde o de Torricelli, por ter representado um avanço experimental em relação aos demais e por seu autor atribuir seus efeitos a pressão atmosférica. No entanto, cabe ressaltar que, ele sozinho não conseguiu promover uma mudança de paradigma, além de ter se apoiado em idéias que já existiam, sua proposta exigiu novas provas experimentais, que coube principalmente a Boyle fazê-las.

Associadas as lições apresentamos uma ficha de orientação ao professor, para que ele possa usar o material em sala de aula. Aqui cada destacar que as estratégias sugeridas nessas orientações auxiliam o professor a utilizar esse material dentro das perspectivas dos referenciais teóricos freiriano e bachelariano, portanto, incentivamos o diálogo, a participação coletiva, assim como o mapeamento das concepções dos estudantes a respeito do tema estudado e os obstáculos epistemológicos apresentados.

Destaco que nesse trabalho não pretendíamos medir a eficácia desses casos históricos em sala de aula, pois partimos da hipótese que a história tem uma contribuição positiva no ensino, seja como elemento auxiliar ou como elemento constitutivo do próprio conhecimento científico. Acreditamos que o uso desse tipo de material melhorará a formação científica cultural dos alunos,

o que se caracterizou como desafio foi a construção de um material que contemplasse de forma mais equilibrada as dimensões constitutivas da cultura científica.

Acreditamos que o professor, tomando como base estudos de caso desse tipo, poderia elaborar materiais que mostraria melhor a dinâmica que é a construção da ciência, e como consequência melhoraria o nível de formação científico cultural de nossos alunos, ainda mais num momento que uma boa formação cultural tem se mostrado quase indispensável para os cidadãos que estão inseridos num mundo cuja ciência e suas aplicações estão cada dia mais presentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABD-EL-KHALICK, F.S., LERDERNAM, N.G.. The influence of history of science courses on students' views of nature of science. **Journal of Research in Science Teaching**, 37(10), 1057-1095. 2000.

ABRANTES, Paulo C. C. Influência da História da Ciência no Ensino de Física, in **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, 5 (número especial), junho, 1988.

BACHELARD, Gaston. **A formação do espírito científico, contribuição para uma psicanálise do conhecimento**. Tradução de Estela dos Santos Abreu. Rio de Janeiro: Contraponto. 1996.

BARROS, Anna Maria Pessoa de Carvalho. A história da ciência iluminando o ensino de visão. **Revista Ciência & Educação**, v.5, n. 1, p. 83-94, 1998.

BASTOS, Fernando. O Ensino de Conteúdos de História e Filosofia da Ciência. **Revista Ciência & Educação**, v. 5, n. 1, p. 55-72, 1998.

BELL, Randy; et al. The Nature of Science and Science Education: A Bibliography. **Science & education**, n.10, p. 187-204, 2001.

BOYER, Timothy. O infinitamente vazio não existe. **Scientific American Brasil**. São Paulo, edição especial, n.15, p.82-91, 2005.

BRASIL. Ministério da Educação e Cultura. Diretoria de Ensino Industrial. **Ciências Físicas e Naturais 700 experiências compiladas pela UNESCO**. Brasília, 1964.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **PNC+ Ensino Médio: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares nacionais**. Brasília, 2002.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. **Orientações Curriculares para o Ensino Médio**, vol.2. Brasília, 2006.

BRUSH, S. G. Should the history of science be rated. **Science**, 18(1):1164-1172, 1974.

BRUSH, S. G. History of science and science education. **Interchange**, 20(2):60, 1989.

Ciência e Cidadania: Seminário Internacional Ciência de Qualidade para Todos. Brasília: UNESCO, 2005.

CONANT, James B. **Como compreender a ciência**. 1ª edição. São Paulo: Cultrix, 1960.

DELIZOICOV, Demétrio. **Conhecimento, tensões e transições**. São Paulo, 1991. Tese de doutorado. Faculdade de Educação. Universidade de São Paulo.

DIAS, Penha Maria Cardoso. A (Im)Pertinência da História ao Aprendizado da Física (um estudo de caso). **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 23, n. 2, junho., 2001.

DICKINSON V., ABD-EL-KHALICK, F., and LEDERMAN, N.G. Large scale exploration of pupils' understanding of the nature of science. **Science Education**, 3(3):3 -11. Artigo apresentado na Reunião Anual da Associação Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências. Boston,MA, 1999.

DRIVER, Rosalind, et al. Construindo conhecimento científico na sala de aula. Tradução de Eduardo Mortimer. **Revista Química Nova na Escola**,n.9, p. 31-40, maio, 1999.

DURANT, John. O que é alfabetização científica?. In: **Terra Incógnita a interface entre ciência e público**. Rio de Janeiro: Vieira & Lent: UFRJ, Casa da Ciência: Fiocruz,. p.13-26, 2005

DUHEM, P. **The Aim and Structure of Physical Theory**. Princeton: Princeton University Press, 1906. (Traduzido para o Inglês do Original de 1906 por de P.P.Wiener).

FORINASH, Kule; RUMSEY, William D.. A first course in the history and philosophy of science. **Eur. J. Phys**, n. 21, p. 427-433, 2000.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia do Oprimido**. 6ª ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1978.

_____. **Ação Cultural para a Liberdade**. 7ª ed. Rio de Janeiro, Paz e Terra, 1982 a.

_____. **Extensão ou Comunicação**. 6ª ed. Rio de Janeiro:Paz e Terra, 1982 b.

GALILEI, Galileu. **Duas Novas Ciências**. Tradução de Letizio Mariconda e Pablo R. Mariconda. 2ª ed. Rio de Janeiro: Museu de Astronomia e Ciências Afins; São Paulo: Nova Stella, 1988. 315p.

GAMOW, George. **O incrível mundo da física moderna**. Tradução de e. Jacy Monteiro. São Paulo: Ibrasa, 1976.

GASPAR, Alberto. **Física Volume Único**. São Paulo: Editora Ática, 2001.

GIL PÉREZ, D. Contribución de la Historia y de la Filosofia de las Ciencias al Desarrollo de un Modelo de Enseñanza /aprendizaje como investigación. **Enseñanza de las Ciencia**, v.11, n.2, p. 197-212, 1993.

GRUPO DE REELABORAÇÃO DO ENSINO DE FÍSICA. **Física 2: Física Térmica/Óptica**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1991.

GUERRA, Andréia; et al. **Galileu e o Nascimento da Ciência Moderna**. 1 ed. São Paulo: Atual, 1997.

GUERRA, Andréia. et. al. A História da Ciência Ajuda no Aprendizado de Ciências. In: **Atas do VII Seminário Nacional de História da Ciência e da Tecnologia**, 1999.

HEWITT, Paul. **Física Conceitual**. 9ª ed. Traduzido por Trieste Freire Ricci. Porto Alegre: Bookman, 2002.

HOLTON, Gerald. **La imaginación científica**. México: Fundo de Cultura Econômica, 1985.

HÖTTECKE, Dietmar. How and What Can Learn From Replicating Historical Experiments? A Case Study. **Science & Education**, n. 9, p. 343-362, 2000.

IRWIN, A. Historical cases studies: Teaching the nature of science in context. **Science Education**, 84(1):5-26, 2000.

JONES, K.M. The attainment of understandings about the scientific enterprise, scientists, and the aims and methods of science by students in college physical science course. **Journal of Research in Science Teaching**, 6(1):47-49, 1969.

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

KUHN, T. S. **A função do dogma na investigação científica**. In Carrilho, M. M., editor, *História e Prática das Ciências*, pág. 48-70. Regra do Jogo, Lisboa. 1979.

LARAIA, Roque de Barros. **Cultura Um conceito antropológico**. 8ª ed. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 1993.

LARANJEIRAS, Cassio C.. **Redimensionando o ensino de Física numa perspectiva histórica**. Dissertação de mestrado. Instituto de Física e Faculdade de Educação da USP. São Paulo, 1994.

LANGEVIN, Paul. **O valor educativo da história da ciência**. In: Gama, R..*Ciência e técnica*. Antologia de textos Históricas. Rio de Janeiro: Ciência e Técnica. pag 9-16, 1992.

LEITE, L. S. **Teaching science through history: A comparative study in England and Portugal of the use of history of science in the teaching of physical science**. Master's thesis, University of London. Dissertação submetida como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciências, 1986.

LEODORO, Marcos P. **Pensamento, Cultura Científica e Educação**. Tese de Doutorado apresentada a Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, 2005. Não publicada.

LONGUINI, Marcos D., NARDI, Roberto. Origens históricas e considerações acerca do conceito de pressão atmosférica. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.19, n. 1: p. 67-68, abril, 2000.

LONSBURY, J. G.; ELLIS, James D.. Science History as a Means to Teach Nature of Science Concepts: Using the Development of Understanding Related to Mechanism of Inheritance. **Electronic Journal of Science Education** Vol. 7, No. 2, Dec. 2002;

LOPES, Alice R. Casimiro. Bachelard: o filósofo da desilusão. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**. v.13, n. 3, p. 248-274, dez. de 1996;

_____. **Conhecimento escolar: ciência e cotidiano**. Rio de Janeiro: Editora da UERJ, 1999;

MACH, Ernst. **Popular Scientific Lectures**. 4ª edição. New York: Open Court Publishing, 1910.

MACH, E. **The Principles of Physical Optics: An Historical and Philosophical Treatment**. New York: Dover, 1953.

MACH, E. **The Science of Mechanics: A Critical and Historical Account of Its Development**. New York :Open Court Publishing, 1960.

MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira. História da Ciência: objetivos, métodos e problemas. **Ciência & Educação**, v.11, n.2, p. 305-317, 2005.

MARTINS, Roberto A.. **Sobre o Papel da História da Ciência no Ensino**. Disponível em: <<http://ghc.ifci.unicamp.br/pdf/ram-42.pdf>>. Acesso em: 02 de Fevereiro de 2004;

_____. **Abordagens, Métodos e Historiografia na História da Ciência**. Disponível em: <<http://ghc.ifci.unicamp.br/pdf/ram-42.pdf>>. Acesso em: 05 de junho de 2005;

_____. **Tratados Físicos de Blaise Pascal. Caderno de História e Filosofia da Ciência**. v.1, n. especial, dez., 1989.

_____. Em busca do nada: considerações sobre os argumentos a favor do vácuo ou do éter. **Trans/Form/Ação**. São Paulo, n.16, p. 7-27, 1993.

_____. Como Não Escrever sobre História da Física- um Manifesto Historiográfico. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 23, n.1, março, 2001.

MATTHEWS, Michael R. History, Philosophy and Science Teaching: A Rapprochement. **Science Education**, 1(18):25-51, 1990.

_____. História, Filosofia e Ensino de Ciências: A tendência atual de Reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v12. n.3:pág 164-214;

_____. A Role for History and Philosophy in Science Teaching. **Educational Philosophy and Theory**, vol 12, n. 2, pp. 67-81, 1988.

_____, Michael R. Science Teaching. The Role of History and Philosophy of Science. New York: Routledge , , 1994.

MENEZES, Luis Carlos de. **A materia uma aventura do espírito: fundamentos e fronteiras do conhecimento**. 1ª ed. São Paulo: Livraria da Física, 2005;

MÁXIMO, Antônio; ALVARENGA, Beatriz. **Curso de Física 1**. São Paulo: Editora Scipione, 1997.

NEVES, Marcos C. Danhoni. A História da Ciência no Ensino de Física. **Revista Ciência & Educação**, 5(1), p. 73-81, 1998.

OFÍCIO DE PROFESSOR APRENDER MAIS PARA ENSINAR MELHOR. **Impactos da ciência de da tecnologia da sociedade atual**. São Paulo: Fundação Victor Civita, v.4, 2004. Suplemento.

PEDUZZI, Luiz O. Q. Física Aristotélica: Por que não considerá-la no ensino da mecânica?. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**. Vol. 13 n.1: p. 48-63, abril, 1996.

PEDUZZI, Luiz.O.Q. **Sobre a utilização didática da história da ciência**. In Pietrocola, M., editor, Ensino de Física, conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora. Editora UFSC, Florianópolis, 2001.

PIETROCOLA, Maurício. Concepções Alternativas & História e Epistemologia da Ciência. In: **Atas do X Simpósio Nacional de Ensino de Física “Tempo de Avaliação”**, pág 276-280. 1993.

RUTHERFORD, F., Holton, G., and FLETCHER, G. **Projeto Física**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1980.

SEROGLOU, Fanny; KOUMARAS, Panagiotis. The Contribution of the History of Physics in Physics Education: A Review. **Science & Education**, n.10, p.153-172, 2001.

SHERRAT, W.J.M. **History of Science in Science Education**, Ph.D. Thesis, Leicester University , 1980.

_____, W.J.M.: History of Science in the Science Curriculum: An Historical Perspective. Part I: Early Interest and Roles Avocated. **School Science Review**, 64, 225-236, 1982.

SOLOMON, J., SCOTT, L., and DUVEEN, J. Large scale exploration of pupils' understanding of the nature of science. **Science Education**, 80(1):493-508, 1996.

SOUZA, Laurinda Leite. **Teaching Science Throught History: A Comparative Study in England and Portugal of the History of Science in Teaching of Physical Sciences**. Dissertation (MS, Science Education). University of London.

STANNARD, Russell. Communicating physics throught story. **Physics Education**, special feature, p. 30-34, 2001

STINNER, Arthur; et al. _The Renewal of Case Studies in Science Education . **Science & Education** 12: pag. 617-643, 2003

TEIXEIRA, Elder S; EL-HANI, Charbel N; JUNIOR, Olival F. Concepções de estudantes de Física sobre a natureza da ciências e sua transformação por uma abordagem conceitual do Ensino de Ciências. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, 1(3), 2001.

THUILLIER, Pierre. **El Saber Ventrílocuo. Cómo habla la cultura a través de la ciencia**. Fondo de Cultura Económica, Mexico, 1990.

WHITAKER, M. History and quasi-history in physics education - part 2. **Physics Education**, 14(2):239-242, 1979.

WHITELEY, P. The History of Physics –Its Use in Caribbean Physics Syllabus. **School Science Review**, 75(1), 123-127, 1993.

WITAKER, M.A.B. History and Quasi-History in Physics Education. **Physics Education**, n. 14, pp.108-112.

ZANETIC, João. **Física e arte: uma ponte entre duas culturas**. Palestra de abertura do XIV SNEF, 2001.

_____. **Física também é cultura**. São Paulo, 1989. Tese de doutorado. Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo.

APÊNDICE 1 – MAPEANDO O CONTEXTO

Para a elaboração de materiais abordando algum caso histórico, é necessário o mapeamento do contexto em torno do qual se dá esse caso. Tomando como base as diretrizes definidas por Stinner, et al (2003), mapeamos o contexto em torno do surgimento da noção de pressão atmosférica. Aqui cabe lembrar que esse mesmo procedimento pode ser utilizado para o estudo de outros casos históricos.

1) Principais idéias relacionadas e questões científicas que permeavam o contexto:

- É possível existir o vazio?;
- A natureza tem horror ao vácuo?;
- O ar tem peso?;
- O ar atmosférico exerce uma pressão sobre os corpos?;
- É possível existir vácuo?;
- O experimento de Torricelli produzia um vácuo na parte superior do tubo?
- O que sustenta a coluna de mercúrio no experimento de Torricelli? Essa causa é interna ou externa?
- Porque as bombas de sucção não conseguiam elevar água a uma altura maior que 10,33 metros?;

3) Controvérsias marcantes:

- Estaria correta a teoria do horror ao vácuo, uma vez que explica, de forma razoável, muitos fenômenos. Ou estariam certos os experimentadores italianos e franceses que atribuíram a uma causa externa os fenômenos observados?

4) Personagens principais relacionados ao caso histórico:

- Aristóteles; Galileu; Torricelli; Pascal e Boyle

5) Contexto sócio econômico da época:

- Igreja Católica forte e embasada nas idéias de Aristóteles;
- A Itália, como uma das principais potências, tem algumas comunidades de cabeças pensantes;
- Demonstrações experimentais sobre os “efeitos mágicos da ciência” ganhavam terreno;
- Valorização do conhecimento que tem aplicações práticas;
- Mudanças das formas de produção e comercialização, prenunciando a revolução industrial que ocorreria no século seguinte;
- Mudanças na forma de pensar em função da Renascença..

APÊNDICE 2 – AS LIÇÕES DE FÍSICA

LIÇÕES DE FÍSICA

Imersos em um oceano de ar.

Você sabia que vivemos no fundo de um oceano? Não!!! Mas não se preocupe porque esse oceano é de ar. Isso mesmo, estamos imersos na massa de ar que compõe a atmosfera da Terra. Esse ar, que exerce uma enorme força sobre os corpos em todas as direções, causa uma pressão semelhante a que a água exerce num corpo em seu interior. Estamos tão adaptados ao ar, totalmente invisível, que não atentamos para o fato de que ele exerce um peso sobre nós. Um peixe talvez tenha a mesma sensação com relação a água...



Autor: Sebastião I. C. Portela
Ilustração: Daniel Carvalho

LIÇÃO 01

SOB PRESSÃO...

Em muitos momentos de nossa vida nos deparamos com situações que, embora pareçam muito simples, são bastante desafiadoras.



Desentupir uma pia, embora seja uma tarefa um pouco chata, fica bem mais fácil quando utilizamos um desentupidor. Mas por quê? Como poderíamos explicar essa facilidade do desentupidor?



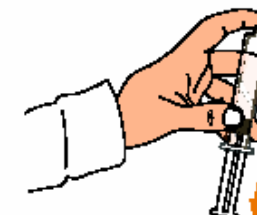
Tomar um bom refresco utilizando um simples canudinho plástico pode envolver processos físicos bastante interessantes. Afinal de contas, como podemos explicar a subida do líquido através do canudo?



As bombas d'água, ainda muito utilizadas nas zonas rurais, facilitam muito a extração de água de cisternas. Quais mecanismos permitem seu funcionamento? Será possível, utilizando uma bomba aspirante, extrair água de qualquer profundidade?



Um bom mestre de obras sabe bem o valor de uma mangueira transparente para "bater o nível" em uma construção. Afinal de contas, um piso desnívelado, pode ser bastante desagradável. Que princípios científicos envolvem o funcionamento desse instrumento tão simples e popular entre os mestres de obra?



Ao soltar o êmbolo dessa seringa ele volta a posição inicial. Será que existe uma força interna que o puxa ou uma força externa que o empurra?

Por incrível que pareça, todas essas situações envolvem a presença do ar atmosférico. Reconhecer o seu efeito nos exemplos apresentados anteriormente não foi nada fácil e exigiu muita discussão, remontando mesmo as idéias do filósofo grego Aristóteles que viveu no século III a.C., bem como de importantes investigadores do século XVII.

O diálogo, que teremos ao longo dessas lições de física nos permitirá a construção do conceito de pressão atmosférica e o entendimento do por quê para os antigos, a natureza era considerada como tendo **horror ao vazio**.

LIÇÃO 02

HORROR VACUI?

O século XVII foi marcado por uma série de inovações técnicas que proporcionaram grandes mudanças na forma de vida das pessoas. Com o fim da era feudal, no século anterior, novas necessidades e oportunidades foram surgindo a ponto de provocarem mudanças nas artes, na forma de pensar, no mundo do trabalho, nos hábitos de produção, no modo de transportar cargas assim como nas formas de aproveitamento da energia eólica e hidráulica. Nesse período, conhecido com Renascença, as artes mecânicas - nome dado a ciência da construção de máquinas - ganhou importância crucial, uma vez que o crescimento das trocas comerciais exigia novos mecanismos para mover máquinas, moinhos, bombear água, dentre outros. Portanto, o conhecimento que tivesse viabilidade prática era incentivado e valorizado, fato que influenciou muitos estudiosos da época a se debruçarem sobre esses problemas.

Dentre os problemas que as artes mecânicas

daquela época enfrentavam estavam aqueles relacionados ao bombeamento de água. Era comum a utilização de bombas aspirantes para irrigação, retirada de água de minas ou abastecimento de pequenas cidades. A explicação de seu funcionamento era baseado numa reinterpretação da idéia aristotélica da impossibilidade do vazio.

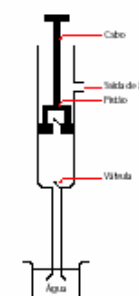
Aristóteles, que viveu por volta do século III a. C., via como impossível a existência de espaços vazios, ou seja, o vácuo. Suas idéias, construída dentro de uma lógica quase irrefutável, foram usadas para rebater argumentos dos que acreditavam na necessidade da existência de espaços vazios. Os adeptos a idéias do vácuo, defendiam que ele era necessário, dentre outras coisas, para que houvesse movimento, pois só assim os corpos teriam por onde passar. Outra prova utilizada a favor do vácuo era que se não existissem espaços vazios, nem luz, nem calor, ou qualquer outra força material poderia penetrar através da água, do ar ou de outros corpos. Contrário a essa concepção, Aristóteles categoricamente afirmava que o fato da luz e o som atravessarem os corpos não significa que existem espaços vazios no interior destes, pois, sendo a luz e o som imateriais, não necessitam de espaços vazios para atravessar qualquer material. No caso do movimento de um corpo de um local para outro, ele argumentava que não era necessário a existência de espaços vazios, já que os corpos podem ceder espaços um ao outro simultaneamente. Na água, um peixe ao iniciar um movimento, passa a ocupar um local onde havia água que, por sua vez, passa a

ocupar o local onde estava o peixe.

A filosofia de Aristóteles tornou-se referência, a partir da reinterpretação de suas idéias pelos escolásticos* com o objetivo de adaptá-las aos dogmas da igreja, que na Idade Média estava em franco crescimento. Desse modo foi necessário reinterpretar a idéia da impossibilidade do vazio, pois a lógica do vazio implicava a negação da onipotência divina.

Assim os Escolásticos passaram a afirmar que o vazio, embora possível para a vontade divina, não poderia ser produzido naturalmente. Foi assim que surgiu na Idade Média a teoria de que a natureza tem “**horror ao vácuo**”, ou seja, a natureza atua para evitar que se forme o vácuo.

O “Horror Vacui?”, expressão interrogativa escrita em latim, se refere a essa idéia criada na Idade Média de que a natureza tem horror ao vácuo, mas em se tratando de ciência, nenhuma idéia se mantém que em algum nível apresente resposta para alguns problemas. Vejamos como essa idéia explicava o funcionamento das bombas aspirantes:



Quando o pistão é elevado, existe uma tendência de se criar um vácuo no interior do tubo. Como a natureza tem horror ao vácuo, a água do poço sobe tentando evitá-lo. Parece absurda essa idéia, mas explicava satisfatoriamente muitos outros fenômenos.

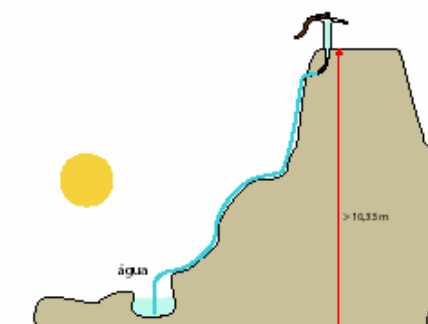
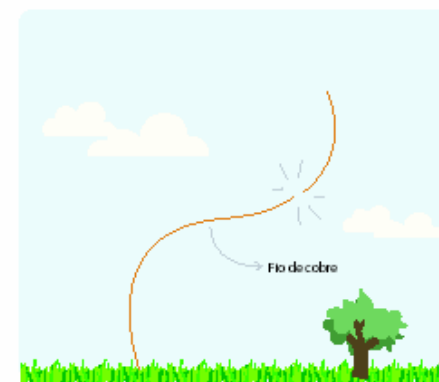
* Doutrina teológica-filosófica dominante na Idade Média e caracterizada sobretudo pelo problema da relação entre a fé e a razão.

O PROBLEMA DAS BOMBAS ASPIRANTES

Um problema proposto a Galileu por volta de 1600, gerou certa desconfiança a respeito da explicação de funcionamento das bombas, que era baseado no horror ao vácuo. O problema, já conhecido dos habilitados nas artes práticas, era o seguinte: porque as bombas aspirantes não possibilitavam a elevação da água a uma altura superior a 34 pés (em torno de 10,33 metros)?

Galileu, como uma das autoridades científicas da época e inicialmente também um defensor do horror ao vácuo, tentou explicar o problema comparando a coluna de água com um fio de cobre, em que há um comprimento onde seu próprio peso o rompe. Segundo Galileu, o mesmo deve ocorrer com a coluna de água num cano, a partir de 10,33m ela se romperia.

A resposta ao problema, dada por Galileu, não foi suficientemente convincente. Muitos estudiosos desconfiavam de outra causa para explicação do funcionamento das bombas. Eles acreditavam que o problema estava relacionado a uma força externa que guardava relação com o peso do ar atmosférico. O próprio proponente da questão das bombas a Galileu, Giovanni Batista Baliani (1582-1666), acrescenta em uma carta escrita a Galileu, que estamos inseridos num mar de ar, que exerce um peso sobre os corpos e sobre as pessoas. Essa controvérsia, fez com que as questões relacionadas ao peso do ar e ao vácuo se tornassem obrigatórias nas discussões filosóficas, o que fez proliferar uma quantidade enorme de experiências a favor e contrárias ao vácuo.



Segundo Galileu, um fio de cobre se romperia devido a seu próprio peso se fosse esticado até uma altura muito grande. Sua explicação para a impossibilidade das bombas não permitirem a elevação da água a uma altura superior a 10,33 metros também está relacionada ao rompimento da coluna d'água num tubo, analogamente como ocorre no fio de cobre.

Dialogando...

1. Utilizando a teoria do “horror da natureza ao vácuo”, formulada pelos escolásticos, como você explicaria os fenômenos listados anteriormente: a subida do líquido pelo canudo, o uso do desentupidor de pia, o bombeamento de água e o uso de mangueiras para “bater o nível”.

2. O argumento do horror da natureza ao vácuo era respaldado pela explicação de algumas situações muito comuns na época. Por exemplo, havia sido observado que se duas placas de mármore molhadas fossem unidas uma a outra, somente se separavam mediante uma força muito grande. Um outro exemplo, era o uso de foles em fornalhas. Quando todos seus orifícios estiverem fechados, de modo a não permitir a passagem de ar, apresenta grande resistência para separar as duas superfícies que o compõe. Como a teoria do horror ao vácuo poderia explicar esses fenômenos?

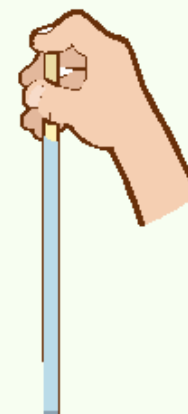
3. Na lição “horror ao vácuo” em que momento você identifica vínculos entre o desenvolvimento científico e as necessidades socioeconômicas de uma época.



Um fole, desses usados em fornalhas, com todos seus orifícios fechados, de modo que não possa entrar ar, apresenta grande resistência para separar as duas superfícies que o compõe.



Naquela época havia sido observado que se duas placas de mármore molhadas forem unidas uma a outra, somente se separavam mediante uma força muito grande.



4. O funcionamento de um “tubo retentor” também era utilizados pelos defensores do horror a vácuo. Quando o orifício superior do tubo é tapado, a água não cai. Como a idéia do horror ao vácuo pode explicar esse fenômeno?

Coisas leves... mas nem tanto!

O ar atmosférico, como se especulava no século XVII, tem peso. Não percebemos os efeitos de seu peso, porque estamos totalmente adaptados a ele.

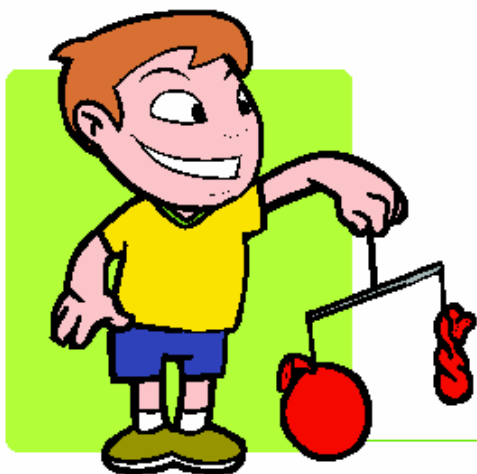
Vamos construir um pequeno experimento para verificar o peso do ar.

O que vamos precisar:

- 1 pedaço de barbante de 30 cm;
- 1 vareta de 30 cm de madeira ou outro material;
- 2 balões de festinhas infantis.

Procedimentos:

Amarre o barbante no meio da vareta formando uma balança. Suspenda inicialmente o balão de borracha murcho numa das pontas e na outra suspenda um balão cheio de ar.



E aí, o que você observou!? O balão cheio pesa o mesmo que o vazio? Será que o ar tem peso mesmo? Discuta com seu professor e com seus colegas a conclusão que você chegou.

Para se ter uma idéia ao nível do mar 1 metro cúbico de ar possui aproximadamente 1,25 kg. Quando nos referimos a grandes massas de ar o seu peso não é desprezível, por exemplo, para pressurizar um avião de grande porte é necessário em torno de 1000 Kg de ar. Se o ar tem peso, qual a massa de ar que possui a sua sala? Faça essa estimativa e compare o valor encontrado por você com o de seus colegas..

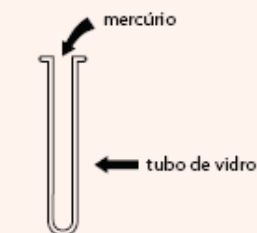
LIÇÃO 03

DESVENDANDO O PROBLEMA DAS BOMBAS

O experimento de Torricelli

Em 1644, dois discípulos de Galileu, Torricelli e Viviane intrigados com o fato das bombas não permitirem a elevação da água a mais de 10,33 metros, acharam o caminho que viria desvendar esse problema. Baseando-se num experimento realizado por Gasparo Berti por volta de 1641 em que um cano de chumbo de 40 palmos com água em seu interior foi colocado na vertical e inserido num tonel contendo água, Torricelli e Viviane, utilizaram um tubo de vidro de aproximadamente um dedo de largura e três pés de comprimento (em torno de 80cm), tamparam-lhe uma das extremidades e encheram-no completamente de mercúrio. Em seguida, tamparam a outra extremidade com o dedo e inseriram-na num recipiente aberto cheio de mercúrio. Ao retirar o dedo da extremidade inserida no recipiente, a coluna de mercúrio no interior do tubo desceu até uma altura de 760 mm acima do nível de mercúrio do recipiente aberto. Na parte superior do tubo observou-se um vazio. Assim viu-se, pela primeira vez, uma região praticamente evacuada, a não ser por um pouco de vapor de mercúrio evaporado. O experimento de Torricelli representou um avanço significativo em relação ao de Gasparo Berti, primeiro por ser mais simples de executar em função da alta densidade do mercúrio com relação à água, o que exigia um tubo menor. Segundo, era possível ver o que ocorria no interior do tubo, que era de vidro, no de Berti era de chumbo; e por último, a interpretação que Torricelli deu ao fenômeno, atribuído a sustentação do mercúrio a uma causa externa.

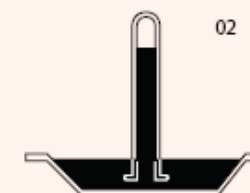
Torricelli
1608-1647



01



02



03

O experimento de Torricelli sugeria uma questão polêmica: **o que segura a coluna de mercúrio impedindo-a de cair?** Alguns chegaram a especular sobre um filamento invisível, o “funiculos”, agindo entre o mercúrio e o vidro. Outros, imaginavam que o vácuo exercia uma força que segurava a coluna de mercúrio. Torricelli foi mais audacioso em sua interpretação, fugindo das aparências imediatas. Atribuiu a causa do fenômeno a uma força externa ao tubo. Como defendia que estamos submersos num oceano de ar, afirmava que sobre a superfície do líquido na bacia existe uma coluna de ar de vários quilômetros que exerce força vertical sobre o mercúrio que está no recipiente aberto, impedindo que a coluna no interior do tubo caia.

Diante das controvérsias, para provar que a força que segura o tubo não é interna e sim externa, Torricelli realiza a mesma experiência utilizando-se de vários tubos diferentes. Nessa experiência, que tem os mesmos procedimentos da anterior, dois tubos A e B, sendo A maior e com maior capacidade para



Nessa experiência os dois tubos A e B, sendo A maior e com maior capacidade para conter mercúrio, foi observado que o mercúrio parava sempre na mesma horizontal AB, o que caracterizava uma contradição pela teoria do horror ao vácuo.

cabem mercúrio, foi observado que o mercúrio parava sempre na mesma horizontal AB, o que caracterizava uma contradição pela teoria do horror ao vácuo. Se no topo do tubo AE havia mais matéria rarefeita e atrativa, a coluna de mercúrio deveria ficar acima da coluna do tubo B, o que não ocorreu. Isso sinalizava que a força era realmente externa e não interna.

Esses experimentos e a sua interpretação, contrárias ao horror da natureza ao vácuo, eram perigosas demais para serem realizadas na Itália que ainda estava sobre as sombras da inquisição, no entanto, muitas réplicas foram realizadas em outros países.

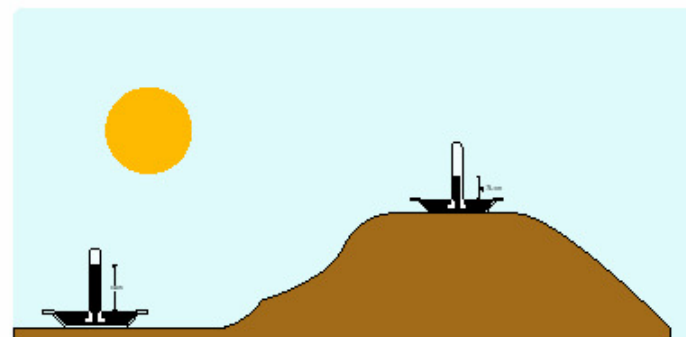
Na França, Blaise Pascal, excitado pelo assunto, realiza essa experiência diante de

grades públicas e, ainda duvidoso da real causa da força que sustentava a coluna de líquido no interior do tubo no experimento de Torricelli, pede por volta de 1648 que seu cunhado execute esse experimento na base e no topo do monte Puy-de-Dôme. Como resultado dessa investida, verificou-se que a altura da coluna de mercúrio é menor no alto da montanha, o que fez Pascal confirmar que a causa dos fenômenos, antes atribuídos ao vácuo, era realmente devido aos efeitos externos, ou seja, era resultado da ação da pressão atmosférica.



Blaise Pascal
1623-1662

Com essas evidências, a idéia que a natureza tem horror ao vácuo começou a ruir, pois não era possível que ela tivesse mais horror na base do que em cima do monte. Assim, um novo conceito surge com mais força, o de que a Terra está rodeada por um oceano de ar, e que por ter peso, exerce pressão sobre os corpos. Essa pressão é maior no fundo desse oceano, isto é, na superfície da Terra, do que numa região mais alta.



No experimento proposto por Pascal, verificou-se que a coluna de mercúrio na base do monte Puy-de-Dôme era maior que no topo. Como a quantidade de ar no topo é menor, a força que o ar exerce sobre o mercúrio que está no recipiente aberto é menor, conseqüentemente, sustentará uma quantidade menor de mercúrio no interior do tubo. Esse experimental, conhecido como barômetro, foi utilizado por muito tempo para medir altitude, em função da pressão atmosférica do local.

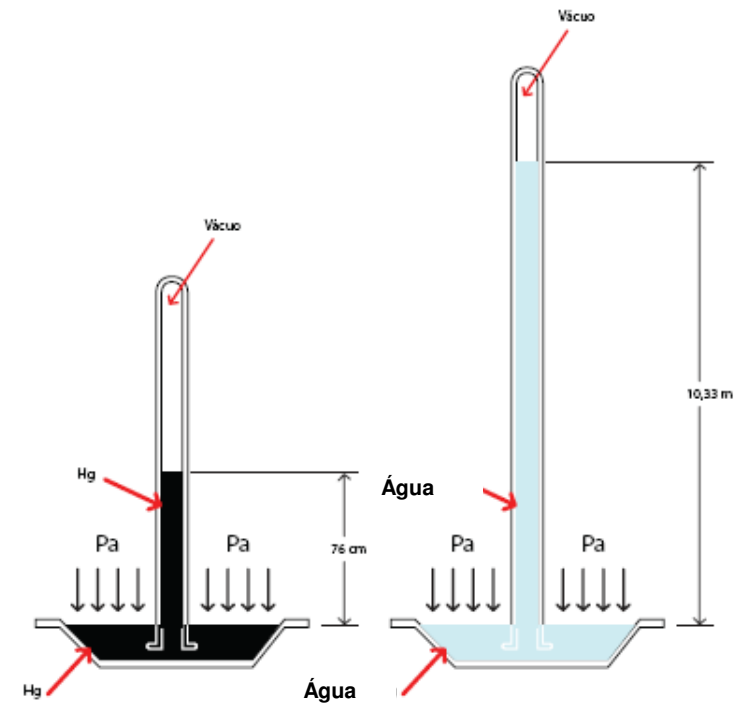
PORQUE 10,33 METROS?

Os argumentos utilizados para explicar o experimento de Torricelli se aplica ao caso das bombas aspirantes e explicam o motivos dessas terem uma altura limite de bombeamento. Vejamos!

No experimento de Torricelli a coluna de mercúrio é equilibrada pela pressão atmosférica que atua na superfície aberta do líquido contido no recipiente. Essa pressão, como vimos, tem uma relação com a massa de ar que está sobre nós.

Ao nível do mar, o peso da massa de ar que atua na superfície do líquido que está no recipiente aberto, consegue sustentar uma coluna de 760mm de mercúrio, ou seja, a pressão do ar atmosférico é igual a 760 mmHg, por esse motivo, afirmamos que esse valor é igual a 1 atmosfera. Num local mais alto, onde existe uma coluna de ar menor acima dos objetos, a pressão atmosférica é menor, conseqüentemente, a coluna de mercúrio que ela sustenta será menor do que 760mm. Vejamos, como o isso pode ser melhor entendido utilizando o formalismo matemático.

No século XVII, Simon Stevin (1548-1620), demonstrou que a diferença de pressão entre dois pontos no interior de um líquido em repouso é igual ao produto da densidade desse líquido pela aceleração da gravidade e pelo à diferença de nível entre eles, ou seja: $\Delta p = \rho g \Delta h$.



Se a experiência de Torricelli fosse realizada utilizando água ao invés de mercúrio, a coluna que a pressão atmosférica conseguiria sustentar seria de aproximadamente 10,3 metros.

PORQUE 10,33 METROS?

Os argumentos utilizados para explicar o experimento de Torricelli se aplica ao caso das bombas aspirantes e explicam o motivos dessas terem uma altura limite de bombeamento.



Segundo Stevin, como não existe desnível entre os pontos p_1 e p_2 indicados na figura, a pressão no ponto p_1 é igual a pressão no ponto p_2 , logo $p_1 = p_2$.

A pressão no ponto 1 é igual a pressão atmosférica. No ponto 2, a pressão será a exercida pelo peso do mercúrio logo acima do ponto, acrescido da pressão do espaço vazio acima da coluna de mercúrio (que é praticamente zero, portanto vamos desconsiderá-la). Então:

$$p_1 = p_{hg}$$

A pressão exercida por um líquido de densidade d sobre a base de um recipiente a uma profundidade h , num local onde a aceleração da gravidade é dada por g é dada por $p = dgh$. Assim podemos concluir que $p_1 = d_{hg}gh$.

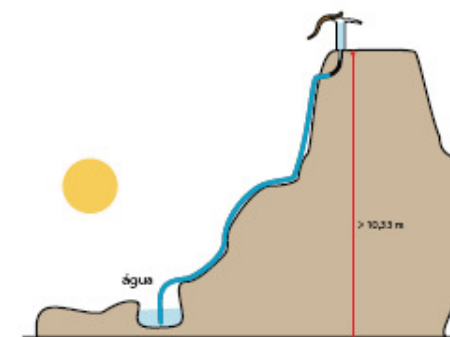
Sendo a densidade do mercúrio de $13,6 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, $g=9,8\text{m/s}^2$ e a altura da coluna de mercúrio igual a $0,76\text{m}$, temos em Pascal (unidade do S.I.) o valor da pressão exercida pelo mercúrio, que é igual a pressão atmosférica:

$$p_1 = p_2 = 13,6 \cdot 10^3 \cdot 9,8 \cdot 0,76 = 1,01 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

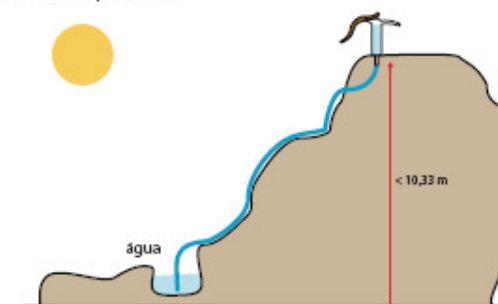
Agora imaginemos que a experiência de Torricelli fosse realizada utilizando água. Seria possível? A resposta é sim, o experimento

de Gasparo Berti, realizado alguns anos antes do experimento de Torricelli, foi realizado com água, no entanto, as dificuldades foram enormes, pois a água sendo 13,6 vezes menos densa que o mercúrio, acarreta uma coluna líquida de altura muito grande. O ar atmosférico consegue sustentar uma coluna de água muito maior que a coluna de mercúrio, em torno de 13,6 vezes maior, o que resulta numa coluna em torno de 10,3m. Use o mesmo raciocínio utilizado para o mercúrio e determine esse valor.

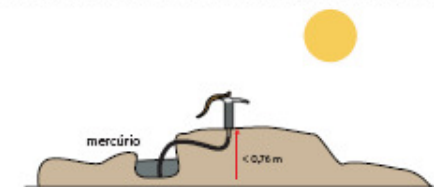
Agora vamos analisar as bombas aspirantes. Quando o êmbolo da bomba é acionando, a pressão no interior do tubo se reduz. Como a pressão da atmosfera, que atua na superfície do líquido, é maior que a pressão no interior do tubo, o líquido é empurrado pela pressão atmosférica através do cano até atingir a parte interna da bomba. Assim sendo, o que faz com que a água suba pelo cano é a pressão exercida pela massa de ar da atmosfera sobre o espelho d'água que está no poço. Acontece que, se a altura for superior a 10,33 metros, a pressão atmosférica não é suficiente para empurrar a coluna de água pois, a pressão exercida pela coluna de água, em função de seu peso, excederá a pressão atmosférica. Se essa mesma bomba fosse utilizada para bombear mercúrio, ela não conseguiria superar a altura de 0,76m que é o valor máximo da coluna de mercúrio que a pressão atmosférica consegue sustentar.



Quando a coluna d'água for maior que 10,3 metros a pressão exercida por ela será maior que a pressão exercida pelo ar atmosférico, conseqüentemente a água não subirá pelo cano.



Quando a altura a ser vendida é menor que 10,3 metros, a pressão exercida pelo ar atmosférico é maior que a pressão exercida pela coluna d'água. Nesse caso, a água subirá pelo cano empurrada pela pressão atmosférica.



Uma bomba aspirante utilizada para bombear mercúrio somente funcionará se a diferença de altura entre a bomba e a superfície do líquido for menor que 0,76 metros.

Dialogando ...

1. O experimento de Torricelli é comumente apresentado como o único trabalho realizado que possibilitou a determinação da pressão atmosférica. Faça um comentário a favor ou contrário a essa afirmação.

2. Identifique no texto e faça um comentário, de trechos que evidenciam que o conhecimento científico também é um empreendimento coletivo.

3. Considerando a densidade da água igual a $1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, e o valor da pressão atmosférica determinado anteriormente, calcule algebricamente a altura da coluna de água que a pressão atmosférica consegue equilibrar!

4. Utilizando qualquer líquido é possível realizar o experimento de Torricelli? Quais seriam as dificuldades?

5. Se o experimento de Torricelli fosse realizado na Lua, qual seria a altura da coluna de mercúrio? Explique.

6. Por que o experimento de Torricelli representou um avanço em relação ao experimento de Garparo Bertí?

7. O resultado da experiência proposta por Pascal de realizar o experimento de Torricelli na base e no topo de um monte, coloca em xeque a idéia que a natureza tem horror ao vácuo. Justifique essa afirmativa. Como você explicaria os resultados obtidos nessa situação.

O ar exerce pressão em todas as direções!

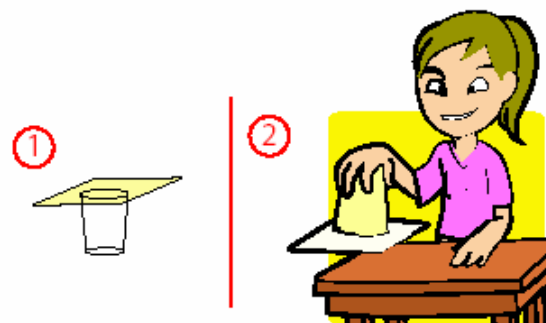
O ar atmosférico, assim como os líquidos, exerce pressão em todas as direções. A pressão atmosférica não atua somente de cima para baixo, mas atua, ao mesmo tempo, em todas as partes de um corpo. Vamos realizar algumas experiências e comprovar isso!

O que vamos precisar:

- 1 copo com água;
- 1 prato fundo;
- $\frac{1}{2}$ folha de papel;
- 1 latinha de refrigerante vazia;
- 1 vela;
- fósforo;
- Uma garrafa.

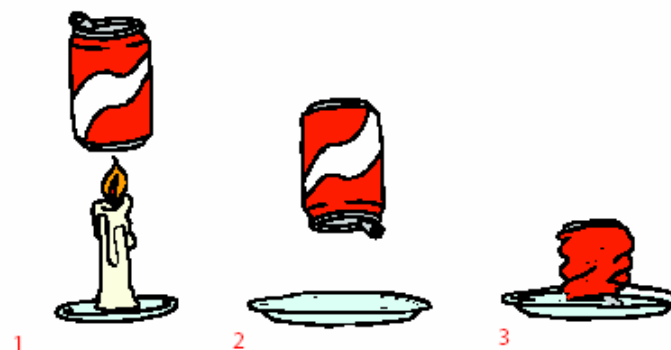
1. A ação da pressão atmosférica num copo d'água!

Pegue o copo e encha-o de água. Em seguida cubra-o com um folha de papel perfeitamente adaptada a sua borda. Sustente a folha com a mão e inverta o copo. Agora retire a mão. Que tal? O que sustenta a água para que ela não caia? A pressão atmosférica também atua no fundo e nas laterais do copo?



2. Amassando latas

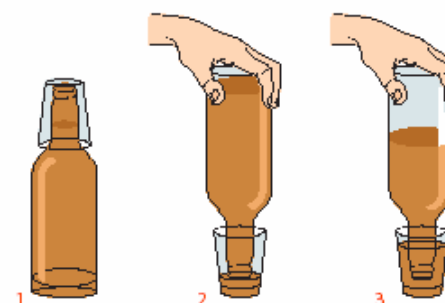
Utilize a vela para aquecer a latinha de alumínio. Quanto ela tiver bem quente, mergulhe-a com a parte da abertura para baixo, num prato contendo água, como ilustra a figura. O que ocorre? Qual força amassa a lata? Porque isso acontece?



3. Os bebedouros de pássaros

Você já deve ter observado os bebedouros de pássaros, em geral, são formados por uma garrafinha emborcada dentro de uma tigela. A água vai baixando na garrafinha, à medida que é consumida. Será que esses bebedouros tem alguma coisa a ver com a pressão atmosférica? Parece que sim, vamos construir um para analisar melhor esse fenômeno!

Encha completamente uma garrafa com água. Ponha um copo sobre o gargalo da garrafa, e inverta a garrafa e o copo ao mesmo tempo, mantendo-os juntos. Suspenda um pouco a garrafa e observe. Porque a água não desce?



LIÇÃO 04

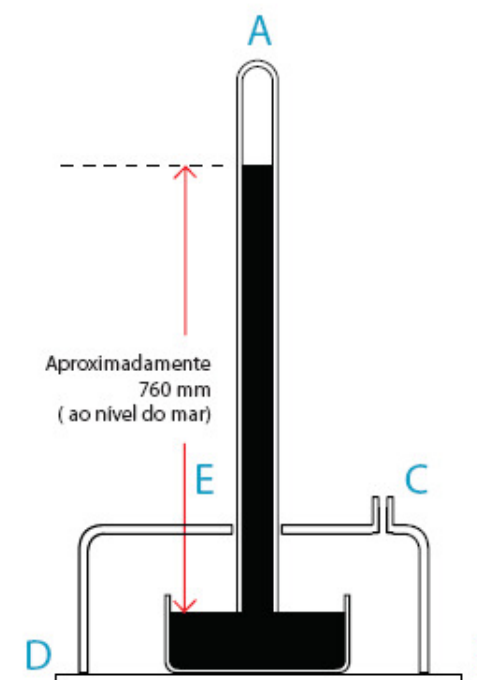
MAIS EVIDÊNCIAS SOBRE OS EFEITOS DA PRESSÃO ATMOSFÉRICA E ALGUMAS CONSIDERAÇÕES SOBRE O VÁCUO

Após os trabalhos de Torricelli, outros foram realizados para provar os efeitos da pressão atmosférica. Otto Von Guericke que ficou famoso com suas atividades envolvendo o vácuo, em 1654 ajustou dois hemisférios de bronze, ocios, cujo ar em seu interior foi retirado por uma bomba. As duas metades permaneciam fortemente unidas devido à pressão externa da atmosfera. Segundo ele, essa pressão externa era tão intensa que oito cavalos de cada lado não conseguia separá-las. A figura ao lado ilustra o experimento realizado por Otto von Guericke perante o Imperador Fernando II em Magdurg. Esse experimento ficou conhecido como os Hemisfério de Magdurg.

Um outro experimentador que tinha interesse pela produção de vácuo foi Robert Boyle, que realizou uma variedade de atividades sobre a produção de vácuo. Ele melhorou de forma significativa algumas bombas propostas por von Guericke e produziu mais evidências dos efeitos da pressão atmosférica. Dentre os experimentos realizados por Boyle, um de 1647 que ficou conhecido de “vácuo no vácuo”, permitia a realização do experimento de Torricelli no vácuo como indica a figura ao lado:



Gaspar Schott, *Mechanica hydraulico pneumatica*, Würzburg
1657



Nesse experimento, a medida que se retirava ar pelo orifício C utilizando uma de suas bombas, observou-se que o mercúrio descia a coluna do tubo, quando foi retirado o máximo de ar possível, todo o mercúrio baixou. Ao retornar o ar para o recipiente a coluna tornou a subir. Isso garantiu que realmente a pressão do ar é que sustenta a coluna de mercúrio.

Se a comprovação experimental da existência de um oceano de ar que nos envolve e que exerce pressão estava resolvido no século XVII, o mesmo não podemos afirmar sobre a existência do vácuo.

Em 1647 um experimento realizado por Roberval, então membro da Academia del Cimento na Itália, coloca em cheque a existência de vácuo no espaço vazio no topo de um tubo de Torricelli. Ele tinha observado que uma pequena bolha de ar pode dilatar-se de forma a preencher todo o espaço. Para comprovar isso ele usou uma bexiga de carpa, totalmente vazia e seca e a colocou no topo de um tubo de Torricelli. Observou-se que quando o mercúrio descia, durante a realização do experimento de Torricelli a bexiga se inflava, como se tivesse soprado ar em seu interior. A pequena quantidade de ar dentro da bexiga dilatou-se a ponto de inflar a bexiga.

Na verdade, o vácuo que se produzia no interior de um tubo de Torricelli, não significava o mesmo que o nada ou ausência de matéria. Primeiro, que qualquer pequena porção de ar no interior do tubo pode se expandir de forma a ocupar todo esse espaço, como confirmado na experiência de Roberval e, segundo, que mesmo não havendo ar no interior do tubo, esse não ficaria vazio, pois o mercúrio, evapora-se a temperatura e pressão ambiente, e esse processo se acentua quando ele é submetido a uma pressão muito baixa, como a observada ao se realizar a experiência da Torricelli. Portanto, na parte “vazia” do tubo na verdade tem vapor de mercúrio, mesmo que não seja visível a nossos olhos.

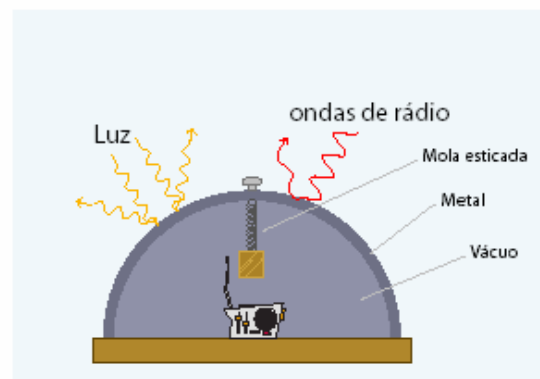
Mais tarde, no século XIX, surgiram vários questionamentos sobre a possibilidade de um vácuo puro, ou seja uma região sem nada. Neste período, as interpretações estatísticas de algumas propriedades térmicas dos materiais estavam sendo consolidadas, assim como as questões que deram origem a física quântica e a física das radiações estavam em pauta no meio acadêmico. Isso teve implicações importantes sobre a noção de vácuo. Imagine que fosse possível retirar toda a matéria visível de um recipiente. Mesmo

assim, o espaço ainda não estaria vazio, pois restaria a radiação eletromagnética de origem térmica, resultado da emissão das paredes do recipiente. Essa radiação poderia ser suprimida hipoteticamente colocando o recipiente em que se produziu vácuo a temperatura de zero absoluto. No entanto, ainda assim, o espaço não estaria vazio, pois, restaria uma radiação residual, conhecida como radiação de ponto zero, impossível de eliminar.

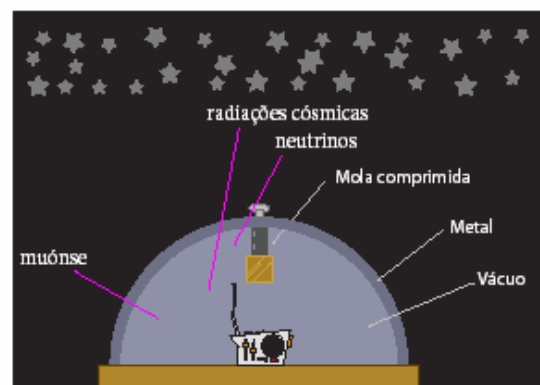
Mas não é somente essa radiação residual que ainda nos resta a eliminar para que houvesse um espaço sem nada. Se o recipiente fosse de vidro, a luz penetraria em seu interior, assim como as ondas de rádio, portanto, isso já não caracterizaria um espaço vazio. Se o recipiente fosse de metal, essas radiações poderiam ser eliminadas, mas não poderíamos evitar a presença em seu interior do campo gravitacional. No entanto, poderíamos reduzi-lo se a experiência fosse realizada numa região do espaço interestelar muito distante dos grandes campos gravitacionais. Mesmo assim, o interior do recipiente não estaria livre de invasores, pois poderia ter radiação cósmica como os raios gama, múons e neutrinos.



Um rádio no interior de um recipiente de vidro evacuado, continuaria funcionando, apesar de não ser possível ouvir o som produzido, pois esse não se propaga no vácuo. Também o fato de ser possível ver o que está no interior do recipiente indica que a luz pode entrar e sair. Isso comprova que, mesmo evacuado, o recipiente contém "algo".

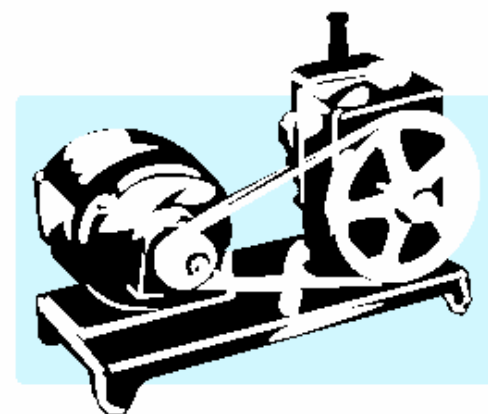


Se o recipiente for de metal, ficaria livre das ondas de rádio e da luz, no entanto, no interior estaria presente o campo gravitacional. Um dinamômetro com um corpo suspenso ficaria com sua mola esticada, em função da ação do campo gravitacional sobre o corpo.



Se a experiência anterior fosse realizada numa região do espaço longe de grandes campos gravitacionais, ainda assim, não significa que ali existe um vazio. Restariam as radiações cósmicas como raios gama, múons e neutrinos e a radiação térmica emitida pela parede interna do recipiente.

Seguindo essa linha de raciocínio, vácuo não é sinônimo de nada. Primeiro, por não existir equipamentos capazes de retirar toda a matéria de um recipiente, por exemplo no espaço interestelar, onde temos um vácuo quase perfeito no que tange a ausência de matéria, existe aproximadamente 1 molécula por centímetro cúbico. Caso fosse possível, retirar toda a matéria de uma região, não teria como eliminar toda a radiação, tanto a de origem térmica como a de origem cósmica, assim como a ação do campo gravitacional. Portanto, o vácuo ideal da física clássica é uma construção teórica e atualmente é definido como aquilo que resta quando se elimina tudo que é experimentalmente possível numa região do espaço. Talvez, Aristóteles e seus seguidores tivessem razão quando afirmavam sobre a impossibilidade de espaços vazios.



Hoje em dia, existem máquinas aperfeiçoadas que permitem fazer vácuos parciais, são chamadas de bombas de vácuo e possuem inúmeras aplicações na vida moderna. Num tubo de imagem de televisão, por exemplo, os elétrons somente bombardeiam a tela em função do vácuo existente no interior do tubo. Uma lâmpada fluorescente, para funcionar, também deve ter seu interior parcialmente evacuado.

Dialogando ...

1. Por que o experimento realizado por Boyle “o vácuo no vácuo” foi decisivo na confirmação da existência da pressão atmosférica?

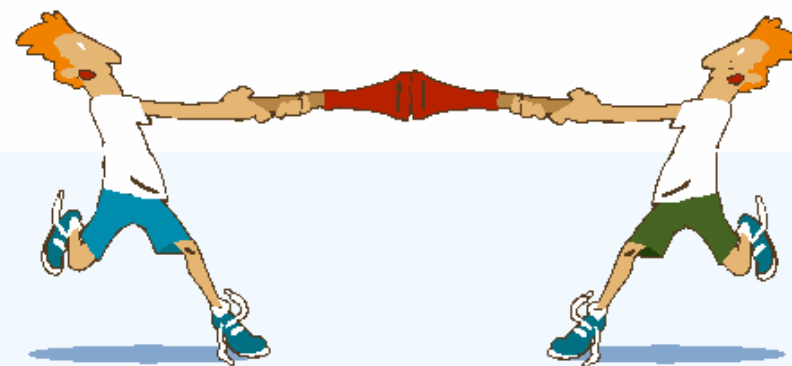
2. É possível produzir um vácuo perfeito? Justifique.

3. Um radinho dentro de uma campânula de vidro evacuada continua captando as ondas eletromagnéticas emitidas pelas várias estações de rádio. No entanto, seria possível ouvir o som que sai de seu alto-falante? Justifique sua resposta.

4. Vimos que o tubo de imagem de uma TV e uma lâmpada fluorescente precisa que seus interiores sejam evacuados. Quais outras aplicações necessitam de vácuos parciais?

Os efeitos da pressão atmosférica no desentupidor de pia!

Ajuste dois desentupidor de pia, um contra o outro, umedecendo antes suas superfícies. Agora experimente separá-los. É fácil? O que impede os dois desentupidos de separar-se? Repita o mesmo procedimento com um colega, e experimentem os dois separar os hemisférios. Como podemos explicar essa situação baseada na existência da pressão atmosférica?



APÊNDICE 3- FICHA DE ORIENTAÇÃO AO PROFESSOR

1) Apresentação

A formação de uma cultura científica, do ponto de vista da educação formal, exige do professor um trabalho integrado de duas dimensões dinamicamente complementares: a natureza dos **conceitos científicos** e a **natureza da ciência**. A primeira refere-se aos conceitos, leis, formalismos matemáticos e modelos que utilizamos na ciência para descrever interpretar e modelar a natureza. A dimensão natureza da ciência, que reivindica uma abordagem filosófica e histórica da ciência, diz respeito à dinâmica de construção do conhecimento científico. Contudo, devido a uma tradição dos livros didáticos, a falta de tempo e em função da formação dos professores, os conteúdos abordados no ensino médio tem apontado numa direção que privilegia demasiadamente os produtos do conhecimento científico. A dimensão “**natureza da ciência**”, que é parte integrante do arcabouço cultural construído pela sociedade, tem sido relegada a um plano secundário. Em geral os alunos não são apresentados à dinâmica de construção do conhecimento, às suas controvérsias, às explicações polêmicas, aos erros e acertos pelos quais a ciência atravessa. Nesta direção, abre-se mão de uma dimensão que é fundamental na formação do cidadão.

A falta de materiais didáticos destinados a abordagem da dimensão natureza da ciência tem sido apontado como um dos maiores problemas enfrentados pelos professores. Neste sentido, as 04 “*Lições de Física*” apresentadas aqui representam um ensaio de como essa dimensão pode ser incorporada em sala de aula. Nelas, para apresentar o contexto de surgimento da noção de pressão atmosférica, resgatamos as idéias de Aristóteles sobre a impossibilidade do vazio e sua reinterpretação feita pelos escolásticos na idade média, que resultou na teoria de que a natureza tem horror ao vácuo. Discutimos também, como no século XVII um problema relacionado ao funcionamento das bombas aspirantes, que na época tinha função importante no abastecimento de água de pequenas cidades e na irrigação, serviu de mola mestre para estudiosos e experimentadores colocarem em xeque a idéia do horror da natureza ao vácuo.

As Lições têm como referencial pedagógico as idéias de Paulo Freire e como referencial epistemológico as de Gaston Bachelard. A associação dessas linhas de pensamentos faz com que o diálogo, no processo de aprendizado, assuma um papel central na promoção de rupturas entre o

conhecimento pré-estabelecido e o novo conhecimento. Esse diálogo, do ponto de vista educacional, é maximizado quando se valoriza mais o aprender e menos o ensinar. Nesse sentido, procuramos estruturar as Lições retirando o foco do professor e transferindo-o ao processo de aprendizagem, onde educando e educador passam a interagir, mediados pelos objetos de conhecimento.

Dentro dessa linha, propomos atividades que valorizam as expressões orais, escritas e manuais. Cada lição, com exceção da primeira, tem a seguinte estrutura:

a) Texto: esse é o momento em que o aluno é apresentado ao contexto histórico, aos fatos, aos experimentos, situações e estudiosos envolvidos no desenrolar do caso histórico. Espera-se do aluno a leitura, análise e interpretação do texto.

b) Diálogo: nessa seção, que se chama “Dialogando...”, é apresentado ao aluno uma série de questões baseadas no texto. Essas questões são essenciais para alimentar o processo dialógico, pois permitirá a reflexão e o questionamento”.

c) Experiências: após a leitura, há sempre a proposta de situações experimentais simples. Esses experimentos enriquecem a discussão, facilitam a compreensão e permite que o aluno seja um sujeito no processo, uma vez que são eles que irão construir os experimentos.

2) Público alvo

Esse material foi produzido para atender aos alunos da 1ª série do Ensino Médio e poderá ser utilizado pelo professor quando estiver abordando o conteúdo de Hidrostática. Essas lições poderão ser utilizadas também no início de um curso para o 1º ou 2º ano para mostrar como é a dinâmica de construção do conhecimento científico.

3) Sugestões metodológicas para o trabalho com as lições

Lição 1: é apresentada uma seqüência de situações cotidianas associadas com questões que tem como objetivo de desafiar o aluno, inseri-lo dentro da temática, assim dá início ao processo dialógico. O debate em torno das situações permitirá também, ao professor, o mapeamento das concepções pré-existentes dos alunos.

Sugerimos para o trabalho pedagógico a divisão da turma em grupos. Cada grupo deve elaborar uma resposta para cada situação e apresentá-las para a turma. Durante o processo de apresentação é importante que o professor atue para tirar a obviedade dos exemplos apresentados, pois parece simples, por exemplo, a utilização de um canudo para tomar um líquido, no entanto, muitas questões estão envolvidas aí. Será que o líquido é puxado pelo vácuo que se forma no interior do

canudo ou é empurrado por alguma força externa? É importante que o professor instigue os alunos através desse tipo de questionamentos. Seguindo essa linha, será necessário 1 aula para estudar essa lição.

Lição 2: nessa lição, iniciamos o desenvolvimento do contexto de surgimento da noção de pressão atmosférica resgatando as idéias de Aristóteles sobre o vazio e sua reinterpretação através da teoria do horror da natureza ao vácuo. Apresentamos, também, como o contexto socioeconômico influenciou no desenvolvimento das bombas aspirantes, o que exigiu uma mudança na explicação de seu funcionamento baseado no horror ao vácuo.

O estudo dessa lição pode ser realizado num círculo (roda de leitura), onde cada aluno fica responsável pela leitura de um trecho do texto. Na seção “Dialogando...” onde são propostas algumas questões, o professor deve debater com os alunos as possíveis respostas às situações apresentadas, antes, porém, é importante que os alunos elaborem suas próprias respostas em grupo ou individualmente.

Ainda nessa lição, é proposta uma experiência simples para comprovar o peso do ar. Sugira que os alunos realizem-na e responda as questões que vem em seguida sobre a estimativa do peso do ar existente numa sala de aula. É importante que seja

definido, na aula anterior, o grupo que ficará responsável pela experiência, esse procedimento se aplica a todas as lições.

Sugerimos 1 aula para a realização dessa lição, mas caso não seja suficiente, proponha que as últimas partes da lição (estimativa da massa de ar numa sala de aula) fiquem como atividade para casa.

Lição 3: Aqui apresentamos os principais fatos, experimentos e estudos que estiveram envolvidos nas primeiras concepções sobre a existência da pressão atmosférica, destacando a importância dos trabalhos de Torricelli e Pascal na ruína da idéia que a natureza tem horror ao vácuo e na explicação dos motivos das bombas aspirantes terem limitação de altura para bombeamento de água. Ainda nesta lição, objetivando frisar também a importância da dimensão conceitual, apresentamos uma abordagem formal sobre a pressão no interior dos líquidos, desenvolvido baseado nas idéias de Simon Stevin.

A roda de leitura será um bom método para estudo da parte textual dessa lição. Na seção “Dialogando...”, apresentamos sete questões que devem ser debatidas e respondidas em sala.

Finalizando a lição, apresentamos uma seqüência de experimentos comprobatórios da ação da pressão atmosférica. Divida a turma em três grupos e proponha para a aula seguinte as demonstrações, debates e explicações das experiências propostas. Não é demais lembrar que o professor deve atuar apresentando questionamentos que procurem evitar a obviedade das respostas apresentadas pelos alunos nas explicações dos experimentos.

Sugerimos que essa lição seja trabalhada em 1 ou 2 aulas.

Lição 4: nessa lição, é apresentado como um dos trabalhos de Boyle evidenciou que no experimento de Torricelli a força que sustenta a coluna de mercúrio é exercida pela pressão atmosférica. Focaliza-se também, o problema da possibilidade da existência do vazio através de um apanhado sobre as concepções modernas sobre o vácuo.

Como nas lições anteriores, sugerimos que a parte textual seja realizada em rodas de leituras. A seção “Dialogando...” deve ser realizada em grupo, sendo a resposta do grupo apresentada e debatida pela turma. Já a parte experimental, deve ser apresentada e discutida por um grupo de alunos.

Em 1 aula é possível o estudo dessa lição.

OBS: Chamamos a atenção do professor para que defina com antecedência as experiências que cada grupo realizará, pois, parte

do diálogo se dará em função da apresentação e do resultado obtidos nessas atividades.

4) Sugestões de leituras

CONANT, James B.. **Como compreender a ciência.** 1ª edição. São Paulo: Cultrix, 1960.

MARTINS, Roberto A. **Tratados Físicos de Blaise Pascal.** Caderno de História e Filosofia da Ciência. v.1, n. especial, dez., 1989.

_____. **Em busca do nada: considerações sobre os argumentos a favor do vácuo ou do éter.** Trans/Form/Ação. São Paulo, n.16, p. 7-27, 1993.

MENEZES, Luis Carlos de. **A material uma aventura do espírito: fundamentos e fronteiras do conhecimento.** 1ª ed. São Paulo: Livraria da Física, 2005;

LONGUINI, Marcos D., NARDI, Roberto. **Origens históricas e considerações acerca do conceito de pressão atmosférica.** Caderno Catarinense de Ensino de Física, v.19, n. 1: p. 67-68, abril, 2000.