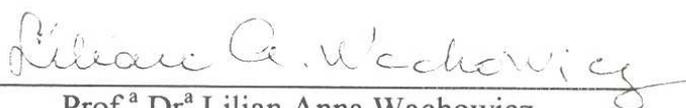




UMA PROPOSTA DE METODOLOGIA CIENTÍFICA PARA O ENSINO SUPERIOR NA ÁREA HUMANÍSTICA

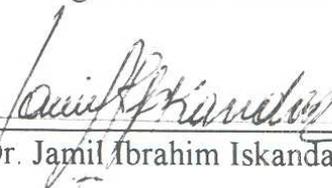
Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre, no curso de Pós Graduação em Educação, Área de Concentração em Pedagogia Universitária, da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, pela Banca Examinadora composta pelos professores:



Prof.^a Dr.^a Lilian Anna Wachowicz
Orientadora



Prof. Dr. Hugo Reuters Schelin



Prof. Dr. Jamil Ibrahim Iskandar

Curitiba, dezembro de 1997.

JOÃO ANGELO PUCCI TOSIN



**UMA PROPOSTA DE METODOLOGIA CIENTÍFICA PARA O ENSINO
SUPERIOR, NA ÁREA HUMANÍSTICA**

Dissertação apresentada como requisito parcial ao grau de Mestre ao Curso de Mestrado em Educação, Área de Concentração em Pedagogia Universitária da Pontifícia Universidade Católica do Paraná.

Orientadora: Professora Dr.^a Lílian
Anna Wachowicz

CURITIBA

1997

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, a chance de participar desta vida e aos exemplos de dedicação e amor ao trabalho.

A Ariclê, Ana Carolina e João Henrique, a paciência, a tolerância e a renúncia de parte dos seus sonhos para que eu pudesse realizar o meu sonho.

À Professora Dr.^a Lilian, por ter me mostrado o caminho para a aventura através da História da Ciência.

À Professora Dr.^a Zélia, por sua dedicação e estímulo.

Ao Professor Dr. Hugo, pelo incentivo.

Ao Professor Dr. Jamil, por sua motivação

A todos os colegas de trabalhos da PUC - PR, do CEFET - PR, do Curso Unificado, Curso Camões, Curso Anglo e Curso Apogeu por sua tolerância e pelas discussões e sugestões para este trabalho.

RESUMO

Este estudo se interessa principalmente por um problema pedagógico simples e, no entanto, difícil. Propõe-se examinar: de que maneira se pode, na universidade, oferecer uma melhor compreensão da Ciência aos graduados que se destinam a ser advogados, administradores, escritores, pedagogos, políticos e filósofos (formadores de opinião)? Na medida em que se revestir de novidade esta pesquisa, usar-se-á de ilustrações como exemplos. Entendemos que a Ciência pode ser compreendida pelos *leigos* mediante o estudo aprofundado de alguns casos relativamente fáceis, não resta outra escolha senão apresentar alguns fragmentos de história científica.

No trabalho apresentamos o perfil histórico de alguns cientistas e de como eles resolveram seus problemas e através do exame desses casos individuais da história da Ciência capacitar o *leigo* a visualizar o método científico em ação propiciando dessa maneira um novo entendimento de sua natureza e de sua transcendente importância na civilização contemporânea - civilização que, pelo seu caráter eminentemente tecnológico, torna-se incompreensível quando desvinculada de suas origens científicas.

RESUMO

Este estudo se interessa principalmente por um problema pedagógico simples e, no entanto, difícil. Propõe-se examinar: de que maneira se pode, na universidade, oferecer uma melhor compreensão da Ciência aos graduados que se destinam a ser advogados, administradores, escritores, pedagogos, políticos e filósofos (formadores de opinião)? Na medida em que se revestir de novidade esta pesquisa, usar-se-á de ilustrações como exemplos. Entendemos que a Ciência pode ser compreendida pelos *leigos* mediante o estudo aprofundado de alguns casos relativamente fáceis, não resta outra escolha senão apresentar alguns fragmentos de história científica.

No trabalho apresentamos o perfil histórico de alguns cientistas e de como eles resolveram seus problemas e através do exame desses casos individuais da história da Ciência capacitar o *leigo* a visualizar o método científico em ação propiciando dessa maneira um novo entendimento de sua natureza e de sua transcendente importância na civilização contemporânea - civilização que, pelo seu caráter eminentemente tecnológico, torna-se incompreensível quando desvinculada de suas origens científicas.

ABSTRACT

This paper concerns mainly about a simple pedagogic problem and however hard. It proposes to examine: how we can, in the university, offer a better comprehension of Science to the graduated people who intend to be lawyers, administrators, writers, pedagogues, politicians and philosophers (the ones who form opinions)? When we recover this research of news, we will use illustrations as examples. We understand that Science can be comprehended by the laymen through a deep study in some cases relatively easy; there isn't another choice, or else, to present some fragments or scientific history.

In this report we show the historic description of some sciences and how they resolved there problems and through the exam of these individual cases of Science history to enable the laymen to visualize the scientific method acting to give, this way, a new understanding of its nature and of its transcendent importance in the contemporaneous civilization – That for its eminently technological character, becomes incomprehensible when untied of its scientific origins.

ABSTRACT

This paper concerns mainly about a simple pedagogic problem and however hard. It proposes to examine: how we can, in the university, offer a better comprehension of Science to the graduated people who intend to be lawyers, administrators, writers, pedagogues, politicians and philosophers (the ones who form opinions)? When we recover this research of news, we will use illustrations as examples. We understand that Science can be comprehended by the laymen through a deep study in some cases relatively easy; there isn't another choice, or else, to present some fragments or scientific history.

In this report we show the historic description of some scientists and how they resolved their problems and through the exam of these individual cases of Science history to enable the laymen to visualize the scientific method acting to give, this way, a new understanding of its nature and of its transcendent importance in the contemporaneous civilization – That for its eminently technological character, becomes incomprehensible when untied of its scientific origins.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	01
1. SUBSÍDIOS PARA AS ANALOGIAS ENTRE HISTÓRIA DA CIÊNCIA E ENSINO DE CIÊNCIAS.....	08
1.1. AVALIAÇÃO DE TEORIAS.....	10
1.2. O PAPEL DA EXPERIÊNCIA.....	11
1.3. AVALIAÇÃO COMPARATIVA ENTRE TEORIAS.....	14
2. A EDUCAÇÃO CIENTÍFICA DO ESTUDANTE DA ÁREA HUMANÍSTICA.....	17
2.1. SOBRE OS MÉTODOS DA CIÊNCIA.....	17
2.2. SERÃO CIENTÍFICAS TODAS AS PESQUISAS RACIONAIS E IMPAR- CIAIS?	18
2.3. COMPREENSÃO DA CIÊNCIA.....	24
2.4. A TÁTICA E ESTRATÉGIA DA CIÊNCIA.....	28
2.5. CONHECIMENTO ACUMULATIVO, FILOSOFIA E POESIA.....	31
2.6. O PROGRESSO NO CONHECIMENTO TEÓRICO E NA PRÁTICA.....	33
2.7. UMA DEFINIÇÃO DA CIÊNCIA.....	35
3. ILUSTRAÇÕES TIRADAS DO <i>SOBRE A MOLLA DO AR DO SÉC. XVII</i>..	39
3.1. A ARTE DE BOMBEAR.....	41
3.2. A INFRUTÍFERA CONJECTURA DE GALILEU.....	42

3.3. A EXPERIÊNCIA DE TORRICELLI.....	43
3.4. PASCAL CONTINUA A OBRA DE TORRICELLI.....	46
3.5. A PRIMEIRA BOMBA DE AR PARA A PRODUÇÃO DE VÁCUOS.....	46
3.6. A BOMBA DE AR MELHORADA DE BOYLE.....	47
3.7. A MOLA DO AR.....	49
3.8. A CONTROVÉRSIA DE BOYLE COM HOBBS E OUTROS.....	51
3.9. MEDIDAS QUANTITATIVAS NA MOLA DO AR.....	52
3.10. A EXPERIÊNCIA CONTROLADA.....	53
3.11. DIFICULDADES DE EXPERIMENTAÇÃO.....	56
3.12. RECAPITULAÇÃO.....	58
3.13. A CIÊNCIA COMO ATIVIDADE SOCIAL ORGANIZADA.....	59
3.14. A CIÊNCIA E A SOCIEDADE DO SÉCULO XVII.....	60
4. ILUSTRAÇÕES DO SÉCULO XVIII RELATIVAS À ELETRICIDADE E A COMBUSTÃO.....	64
4.1. O PAPEL DO DESCOBRIMENTO ACIDENTAL.....	65
4.2. OS DESCOBRIMENTOS DE GALVANI.....	65
4.3. INVENÇÃO DA PILHA ELÉTRICA POR VOLTA.....	68
4.4. O EFEITO REVOLUCIONÁRIO DE NOVOS PROCESSOS.....	71
4.5. OUTROS DOIS PRINCÍPIOS NA HISTÓRIA DA CIÊNCIA.....	71
4.6. A QUEDA DA TEORIA DO FLOGÍSTICO.....	72
4.7. A CLÁSSICA EXPERIÊNCIA SOBRE O PAPEL DO OXIGÊNIO NA COM- BUSTÃO.....	74
4.8. O SIGNIFICADO DA TEORIA DO FLOGÍSTICO.....	76
4.9. O DESCOBRIMENTO CIENTÍFICO DEVE CORRESPONDER À ÉPOCA.....	79

4.10. DIFICULDADES EXPERIMENTAIS COM OS GASES.....	81
4.11. LAVOISIER E OS OBSTINADOS FATOS DE PRIESTLEY.....	83
4.12. CERTOS PRINCÍPIOS DA TÁTICA E ESTRATÉGIA DA CIÊNCIA.....	86
4.12.1. Novos Conceitos Evolvem das Experiências ou Observações e Produzem Novas Experiências ou Observações.....	86
4.12.2. As observações Significativas são Resultado de Experiências Controladas ou Observações; Não se Devem Descuidar as Dificuldades de Experimentação.....	89
4.12.3. Os Novos Processos são Resultado de Experimentação e Produzem Outra Experimentação.....	90
CONCLUSÃO.....	92
NOTAS.....	96
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	101

INTRODUÇÃO

1-Apresentação do tema

Nos primeiros dias do trabalho sobre a energia atômica, houve a possibilidade de serem tais as constantes da natureza que seria possível a energia atômica para a força, mas impossível o explosivo atômico. Todos esperavam que assim fosse, embora diminutas as probabilidades. Com efeito, muitas vezes naquele período incerto, pensava-se que aquilo seria demasiadamente bom para ser verdade. O universo, afinal, não é feito assim. E foi o que realmente se deu. A Ciência e as suas aplicações proporcionaram maravilhosas drogas e métodos de saúde, comunicações, transportes, luxos de toda espécie. A Ciência criou também a bomba atômica, cujo descobrimento foi, de certa maneira, inevitável numa época científica, sendo incerta apenas a hora.

Como escreveu EMERSON (ELLISON, 1984):

“Todo excesso provoca uma falta; toda falta acarreta um excesso... Toda faculdade que é recipiente de prazer recebe uma multa aplicada ao seu abuso... Com todo influxo de luz surge novo perigo... Há uma brecha em tudo quanto Deus fez. Parece até que essa circunstância vingativa se infiltra inconscientemente... Esse recuo, esse pontapé da arma de fogo, provando que é fatal a lei, que na Natureza nada pode ser dado, que tudo é vendido.”

Se, de acordo com EMERSON, se supõe que o potencial de destruição da bomba atômica é o preço que se paga pela saúde e pela comodidade, e contribui para o aprendizado nesta época científica, pode-se talvez mais friamente enfrentar a tarefa de tirar o melhor proveito de uma barganha inevitável, por mais dura que seja. Lembrando de que o referido autor admoestava, “a doutrina da compensação não é a doutrina da indiferença” (DELA NINA, 1947:11), pode-se começar a caminhar ousadamente pela corda esticada da era atômica e da informação.

É com tais pensamentos que, nas páginas seguintes, ousa-se discutir a Ciência como atividade humana e como processo de desvendamento de inúmeras coisas, todas elas apresentando fendas. Dependerá em parte da educação do ser humano ter coragem suficiente para enfrentar a prova mais recente dessa lei fatal, e inteligência suficiente para passar ao estágio seguinte no desenvolvimento da civilização. Tal fato em si constituiria justificativa suficiente para todos que passam a vida tentando explorar novos e melhores meios de perpetuar o ensino à posteridade.

Cabem aqui, talvez, algumas palavras de advertência para as pessoas que, na qualidade de *mestres*, possam interessar-se pelo ponto de vista apresentado. Nenhuma tentativa se fez para apresentar o material em forma de manual destinado a professores. Contenta-se este autor com sugestões gerais, de um lado, e de outro com algumas ilustrações incompletas. Não apresenta aqui um resumo para um curso superior nem sequer os pormenores de nenhum histórico isolado. Recorre à falta de tempo e à ignorância como desculpas gêmeas para os inúmeros defeitos deste trabalho. No entanto, mesmo se algum indivíduo muito mais avançado na história da Ciência devotasse todas as forças ao desenvolvimento de um curso do tipo aqui sugerido, o progresso seria lento. O maior obstáculo ao uso difundido de históricos de casos no ensino da Ciência é a falta de material conveniente. Neste ponto de vista, as limitações exigiriam virtualmente que o professor escolhesse os seus tópicos tanto por causa da disponibilidade de material impresso, como por causa do seu valor pedagógico intrínseco.

Acredita-se que se um número suficiente de professores se interessar pelo acesso sugerido nas páginas seguintes, será possível iniciar um empreendimento cooperativo capaz de sobrepujar as dificuldades agora apresentadas pela falta de

material impresso disponível para o uso dos discentes. Os estudantes profissionais da história da Ciência e os que se empenham no ensino da Ciência como parte de uma educação geral (em nível universitário) bem poderiam unir forças. Juntos poderiam planejar a tradução, edição e publicação, em forma adequada, de extratos da história da Ciência, o que seria de importância para o professor. Não é tarefa fácil, mas reveste-se de primeiríssima importância. Quando lembra-se que dois dos mais valiosos trabalhos na história da Física, o *De revolutionibus* de Copérnico e o *De fabrica* de Vesálio, nunca foram publicados em tradução portuguesa, para não falar da enorme quantidade de escritos, não traduzidos, de Kepler, Galileu, Lavoisier, Galvani e tantos outros, é evidente o quanto resta por fazer. Atualmente, é limitadíssima a escolha de tarefas de leitura em Português para os estudantes. Mesmo porém, dentro dos estreitos limites assim impostos, seria possível dar uma partida. E com esse começo, seria possível despertar suficiente interesse no mundo acadêmico para permitir o posterior trabalho acadêmico de traduzir e editar, o que proporcionaria um fundamento expansível para os empenhados no ensino superior de Ciência Geral.

2 - JUSTIFICATIVA.

- O profissional formado pela universidade, na área humanística, geralmente, não é preparado para o conhecimento científico de abordagem da realidade. A inclusão de uma disciplina destinada a formar a capacidade de pensar cientificamente e de adquirir um método de pesquisa de acordo com o paradigma da Ciência - parece ser uma proposta necessária para os cursos da área humanística, pois, os mesmos trabalham com pessoas e são formadores de opinião.

- Descrever a forma necessária para desenvolver essas capacidades, é o objetivo da nossa pesquisa. Até aqui nada de novo. O novo em nossa proposta é como ensinar o aluno universitário da área humanística, a pensar cientificamente. Para isso, vamos nos valer da nossa experiência nas aulas de Física no curso de Licenciatura em Matemática, em aproximadamente oito anos na PUC/PR, experiência essa durante a qual procuramos combinar Ciência e História. Esta, pelo concreto e aquela pela lógica. Poderíamos chamar a esta abordagem de um método de ensino de Ciência, ou seja: Metodologia Científica, não descrita somente pelos seus conteúdos, mas principalmente pela sua forma de abordagem.

3 - PROBLEMA

O conhecimento científico, enquanto abordagem da realidade e enquanto método de pensamento, é uma parte necessária na formação do profissional da área humanística, parte esta que não é contemplada na universidade.

4 - DELIMITAÇÃO

Essa pesquisa é restrita aos cursos da área humanística da PUC/Pr.

5 - METODOLOGIA

Inicialmente, procuraram-se estabelecer as analogias entre História da Ciência e Ensino de Ciências. Durante dois anos, coletaram-se artigos de revistas especializadas, (entre outras, o Caderno Catarinense de Ensino de Física, Revista Brasileira de Ensino de Física e o boletim SBF).

Uma pesquisa bibliográfica extensa nos levou a uma definição de Ciência na linha histórica, uma outra pesquisa bibliográfica leva à compreensão da Ciência através de ilustrações dos séculos XVII e XVIII.

Finalmente, chegamos à conclusão que é necessária a interação entre Ciência e Sociedade.

Partimos daí para verificar até que ponto esses conteúdos estão presentes nos cursos da área humanística da PUC/Pr. Para tanto fizemos uma análise documental dos currículos desses cursos, em vigência no ano de 1997 na PUC/Pr.

Nossa verificação foi que as disciplinas que constam dos currículos dos cursos da área humanística da PUC/Pr, não tratam da relação História da Ciência - Ensino de Ciências da forma necessária a uma abordagem científica.

Este trabalho se interessa principalmente por um problema pedagógico simples e, no entanto, difícil. Propõe-se examinar o seguinte problema: de que maneira se pode, na universidade, oferecer uma melhor compreensão da Ciência aos graduados que se destinam a ser advogados, administradores, escritores, pedagogos, políticos e filósofos (formadores de opinião)? Na medida em que se revestir de novidade esta pesquisa, usar-se-á de ilustrações como exemplos. Acreditando que a Ciência pode ser compreendida pelos leigos mediante o estudo aprofundado de alguns casos relativamente fáceis, não resta outra escolha senão apresentar alguns fragmentos de história científica. É o que se fará no terceiro e quarto capítulos que se destinam a dar certas idéias sobre a Tática e a Estratégia da Ciência. Mas, em primeiro lugar, gostaria de saber por que existe gente, afora um número relativamente reduzido de peritos, interessada em compreender a Ciência; depois, caberia explicar, com alguma extensão, o que significa compreender a Ciência. O argumento, portanto, é o seguinte: é preciso ampla compreensão da Ciência neste país, pois somente assim a mesma será capaz de ser absorvida pelo nosso padrão cultural secular. Feito isso, o povo brasileiro estará um passo mais próximo do objetivo

que agora tão ardentemente deseja, uma cultura unificada, coerente, adequada à nossa democracia nesta era de informação, máquinas e peritos.

Há mais uma razão, imediata, para se desejar uma compreensão mais ampla da Ciência. E se essa é forçosa, o interesse deve ser pelos problemas pedagógicos da educação adulta em geral, tanto quanto pelos de nível superior, uma vez que o argumento, fortemente prático, se relaciona a questões que a nação enfrenta atualmente.

Nas democracias, é amplamente difundido o poder político. A orientação nacional fica determinada pela interação de forças geradas e guiadas por centenas de milhares, se não de milhões, de líderes locais e homens de influência. Eventualmente, dentro dos limites impostos pela opinião pública, as decisões de extrema importância são tomadas por relativamente poucos indivíduos, acidentalmente elevados a posições de poder temporário pelas forças que agem através do nosso sistema benignamente caótico de democracia política. Pelo fato de as aplicações da Ciência desempenharem tão importante papel em nossa vida de todos os dias, as questões de orientação pública sofrem profunda influência de considerações científicas elevadamente técnicas. Certa compreensão da Ciência pelos que ocupam posições de autoridade e responsabilidade, bem como pelos que formam a opinião, não deixa, portanto, de ser de importância para o bem-estar nacional.

No primeiro capítulo fazemos um apanhado da orientação construtivista, onde predomina a ênfase na utilização da história da Ciência como fonte de analogias úteis para a estruturação do ensino de Ciências. Uma das mais significativas discussões da atualidade diz respeito ao ponto até o qual podem ser transferidos para outras atividades humanas os métodos da Ciência. No segundo capítulo insistimos que o melhoramento da educação científica do leigo repousa na necessidade de esclarecimento do

pensamento popular sobre os métodos da Ciência. Cabe aos educadores e formadores de opinião, assentar a base para melhor discussão dos modos pelos quais os métodos racionais podem ser aplicados ao estudo e à solução dos problemas humanos. Os capítulos três e quatro se destinam a fornecer certas idéias sobre a Tática e a Estratégia da Ciência.

Portanto a nossa proposta é um curso de metodologia científica para o ensino superior, na área humanística.

CAPÍTULO I

SUBSÍDIOS PARA AS ANALOGIAS ENTRE HISTÓRIA DA CIÊNCIA E ENSINO DE CIÊNCIAS

Entre as diversas concepções de orientação construtivista predomina a ênfase na utilização da história da Ciência como fonte de analogias úteis para a estruturação do ensino de Ciências. Em vista da importância que atribuiu a tais analogias, a escola psicogenética de Jean PIAGET impulsionou de forma decisiva as pesquisas nesse sentido. PIAGET, entretanto não deve ser visto como um precursor nesse campo. Outros antes dele haviam sugerido que a história da Ciência pode fornecer subsídios significativos para o ensino de Ciências. Entre eles destacam-se a tradição positivista do século dezenove (LAFITTE, MACH) e Pierre DUHEM¹. Mas, enquanto esses limitaram-se a traçar analogias gerais entre o desenvolvimento da Ciência e o desenvolvimento intelectual do indivíduo, Piaget precisou o alcance e os limites dessas analogias. Segundo ele, não se trata de “estabelecer correspondência entre as sucessões de natureza histórica com as que revelam as análises psicogenéticas, sublinhando os conteúdos, mas o que é completamente diferente, mostrar que os mecanismos de passagem de um estágio histórico ao seguinte são análogos aos da passagem de um estágio psicogenético ao seu sucessor” (NARDI, 1991:19).

Mesmo as novas concepções construtivistas, ainda que em sua maioria recusem a teoria dos estágios psicogenéticos, enfatizam que a “*dinâmica da mudança conceitual*” que o ensino pretende promover é análoga àquela observada na história da Ciência (BARRA, 1993:118). No enfoque das *concepções espontâneas*, por exemplo, a mudança conceitual tem como ponto de partida as concepções dos próprios alunos, entendidas como algo relativamente coerente com um conjunto de crenças e dotado de certa plausibilidade. As mudanças conceituais esperadas deverão ocorrer nas concepções dos alunos, na medida em que possam ser entendidas como rivais das teorias científicas que o ensino pretende veicular.

O objetivo deste capítulo é fornecer alguns subsídios teóricos para aqueles que pretendam recorrer a esse tipo de apropriação da história da Ciência². Inicialmente, vale lembrar que a história da Ciência como campo de investigação é uma disciplina absolutamente autônoma em relação às questões do ensino de Ciência, isto é, que seus resultados possuem um valor de conhecimento que independe de quaisquer uso que por ventura possam ter em outras disciplinas. Em segundo lugar, é necessário que se tenha sempre em vista que não existe uma única história da Ciência, unívoca e metodologicamente neutra, a qual estaria sempre disponível para que possamos nos referir - eis um equívoco que aqueles que não estão ainda familiarizados com essa disciplina geralmente cometem. (BARRA, 1993:119) O que de fato existe são maneiras diferentes de abordar os objetos da história da Ciência, a cada qual correspondendo um modelo filosófico que, por sua vez, tornará as diferentes análises históricas incompatíveis entre si. Principalmente quando estamos interessados na dinâmica das mudanças conceituais, a qual tem sido objeto de ampla divergência entre historiadores e filósofos da Ciência.

1.1. AVALIAÇÃO DE TEORIAS:

A presença de duas ou mais teorias rivais num mesmo campo científico é em geral a situação que antecede e desencadeia as mudanças científicas³. Os cientistas vêem-se diante de um novo sistema teórico alternativo e em grande medida incompatível com o tradicional, a partir do qual num passado mais ou menos remoto seus campos de pesquisa fundamentaram e desenvolveram-se. A escolha por algum destes implica que foram avaliados mediante determinados critérios.

Enquanto prevaleceu a concepção justificacionista, a possibilidade de escolher entre teorias rivais implicava que se estava apto para através dos mesmos critérios, decidir conclusivamente pela *verdade* (confirmação) e pela *falsidade* (refutação) das teorias científicas. Em sua vertente empirista, o justificacionismo sustentou que todo o conhecimento científico deveria fundamentar-se numa base empírica cujo valor de verdade fosse estabelecido pela experiência. (BARRA, 1993:119) Na medida em que a decidibilidade entre teorias rivais dependia então da possibilidade de estas serem confirmada empiricamente, a racionalidade da avaliação de teorias sofreu um grande impacto com a demonstração feita por HUME (séc.XVIII) de que enunciados universais (assim como as teorias) não são logicamente justificáveis por nenhum conjunto de observações, por maior que seja a sua extensão. Diante dessa dificuldade, os filósofos empiristas recuaram em suas pretensões sem, contudo, abrir mão da tese central de que apenas um critério que avaliasse a fundamentação empírica da teoria poderia justificar a escolha entre teorias rivais. A partir das décadas de 20 e 30 deste século, as idéias empiristas ampliaram consideravelmente seus argumentos com a reformulação e o desenvolvimento da filosofia positivista. Assimilando o problema de HUME, os

filósofos positivistas formularam um critério de *verificabilidade* que permitia selecionar teorias segundo seu *grau de confirmação*. Insatisfeito com essa solução, Karl POPPER(1985) propôs um critério de *falseamento* que preservasse tanto a tese central do empirismo, quanto a possibilidade de decidir conclusivamente pela falsidade (não mais pela verdade, visto o impedimento observado por HUME), excluída no critério positivista.

Esse debate foi longo e fecundo, e não se pode acompanhá-lo aqui senão em suas linhas gerais. Ao referir-se a seguir às concepções acima pelo termo genérico *positivismo*, entende-se que as teses sob análise podem ser encontradas em qualquer variante das filosofias justificacionistas/empiristas.

1.2. O PAPEL DA EXPERIÊNCIA:

“O critério para avaliar teorias proposto pelo positivismo fundamenta-se no seguinte: (i) o único contexto legítimo para avaliação de teorias é aquele que permite julgar a fundamentação empírica das teorias; (ii) essa avaliação consiste em confrontar apenas uma teoria com o experimento ou a observação. Bem entendido, esse teste pode também envolver mais de uma teoria (*experimentum crucis*), mas o principal é que o confronto envolve apenas duas instâncias: a teoria (ou as teorias), de um lado, e a experiência, de outro. Tratar-se-á apenas das críticas que os filósofos pós-positivistas dirigiram a (i) e na seguinte daquelas dirigidas a (ii).” (BARRA, 1993:120)

Uma das principais razões porque a avaliação de teorias deixou de ser vista como uma questão que envolve exclusivamente as suas relações com a evidência experimental foi uma nova compreensão sobre como são *construídas* tais evidências. Sobretudo, constatou-se que não existem observações neutras; ao contrário, todas são impregnadas teoricamente (*theory-laden*). Assim, KUHN (1975:162-164) adverte que as teorias não são elaboradas para acomodar fatos preexistentes, mas surgem juntos com os fatos que acomodam. A identificação dos fatos é sempre feita à luz de algum modelo

teórico anterior. Conseqüentemente, cientistas dentro de um mesmo campo científico, mas que trabalhem a partir de teorias diferentes, podem eventualmente não concordar totalmente sobre o que deve ser tomado como dado

Por outro lado, mesmo dentro de seus próprios quadros conceituais, a maioria das teorias defrontam-se com dificuldades empíricas - o que mostra que uma vez aceita, uma teoria não será abandonada exclusivamente em função dessas dificuldades.

Surge aqui um risco que é tão perverso em suas conseqüências quanto a rigidez dos critérios positivistas. Trata-se de afirmar que todos os pontos de vista são igualmente aceitáveis, pois não existem critérios pelos quais as teorias possam ser avaliadas. Definitivamente não se pretende tal coisa. O que essas críticas mostram é que precisamos de outros critérios que reflitam melhor a prática científica e de fato identifiquem os padrões de racionalidade requeridas para essa atividade⁴.

Nesse sentido, os filósofos pós-positivistas detectaram certos aspectos que são pontos de partida para qualquer conclusão a respeito de critérios; (i) que fatores extra-científicos (metafísicos, teológicos, etc) exercem em alguma medida influência nessas tomadas de decisão⁵; (ii) que a avaliação de teorias depende mais do seu potencial futuro que do registro de seu desempenho passado, e o primeiro não pode ser aferido apenas a partir do segundo; (iii) que teorias nunca são abandonadas a menos que exista uma outra disponível para substituí-la.(BARRA, 1993:120) Em seguida serão apresentadas algumas das teses desses filósofos, particularmente aquelas que constituem as partes principais de seus respectivos modelos de mudança científica. Antes é preciso esclarecer que nesses modelos as teorias não são tomadas isoladamente, mas inseridas

em estruturas conceituais abrangentes, duradouras, amplamente aplicadas e influentes numa variedade de áreas científicas⁶.

Segundo LAKATOS, (1979:142) as teorias seriam avaliadas levando-se em consideração a capacidade que demonstram para fazer novas predições. A precisão dessas predições não é relevante inicialmente. O importante é que as teorias não cessem de fazer novas predições, pois fundamentalmente um *programa de pesquisa*⁷ deve ser progressivo. E apenas será progressivo e, conseqüentemente, merecerá a aceitação por parte dos cientistas, se predisser todos os fenômenos que seu rival prediz e ainda outros não preditos pelo anterior. Entretanto, não precisará predizer todos os fenômenos dentro do seu campo científico para ser progressivo - de fato, como é conhecido, muitas teorias aceitáveis defrontam-se com dificuldades empíricas.

Da mesma forma, KUHN entende que os argumentos a favor de um paradigma⁸ são baseados na sua habilidade em resolver problemas fora de seu alcance inicial. A precisão, quando estão em disputa dois paradigmas opostos, é um fator decisivo (1975: 194). Mas KUHN adverte que este e outros critérios que por ventura venham a ser usados nunca são suficientemente explícitos, visto que existe uma *incomensurabilidade entre paradigmas* que impede a comunicação total entre os adeptos de *paradigmas* diferentes e assim a apresentação de provas que sejam univocamente avaliadas pelas partes em disputa (1975:190). Por isso, os motivos que levam os cientistas a aceitarem determinado paradigma dependem em geral de fatores extra-científicos.

Encerrando esta parte percebe-se que o papel da experiência deve ser relativizado e que nenhum outro critério pode ser tomado como critério absoluto para avaliar teorias. Mas, com essa conclusão, já se avançou bastante em direção ao tema da continuação, a saber, que as avaliações são sempre comparativas entre teorias rivais existentes - algo

bem distinto daquilo que pressupunha o critério positivista. A partir das idéias de LAKATOS e KUHN (BARRA, 1993:121) acima já é evidente a impossibilidade de que uma teoria venha a ser avaliada isoladamente.

1.3. A AVALIAÇÃO COMPARATIVA ENTRE TEORIAS

LAUDAN partilha a mesma opinião de LAKATOS acerca do papel das teorias rivais na aceitação ou rejeição de uma teoria particular. Resolver dificuldades empíricas com as quais se defrontam suas rivais, é um fator especialmente persuasivo para que os cientistas adotem uma teoria⁹. Isso implica justamente o ponto onde todos esses modelos estão de acordo: uma teoria não é julgada por avaliações absolutas sobre seus méritos ou deméritos, mas por avaliações comparativas entre rivais existentes. FEYRABEND, por exemplo, considera que alguma das evidências que refutariam uma teoria apenas podem ser conhecidas após o desenvolvimento de uma teoria rival (BARRA, 1993:122). O mesmo pode ser dito a respeito dos juízos sobre a imprecisão de uma teoria que, segundo LAUDAN, podem ser em geral formulados somente a partir da solução apresentada por sua rival.

Quando teorias são comparadas o que se pretende avaliar são os avanços que uma representa em relação às outras, isto é, o progresso que pode promover no seu campo científico. LAKATOS, segundo BARRA (1993:122) toma esse aspecto como um problema central na avaliação de teorias e procura caracterizar os *programas de pesquisa* progressivos como aqueles cujo crescimento teórico antecipa o crescimento empírico, isto é, que se mantêm predizendo novos fatos com algum sucesso (transferência progressiva de problemas); e os degenerativos, ao contrário, como

aqueles programas que apenas fornecem explicações para fatos ou descobertas antecipadas pelo programa rival (transferência degenerativa e problemas).

Da mesma forma LAUDAN admite que o progresso é um fator decisivo e o identifica com o sucesso das teorias na solução de problemas. Tais problemas podem ser ou empíricos (questões sobre o domínio empírico de uma teoria que demandam explicações)¹⁰ ou dificuldades conceituais relativas aos vínculos lógicos da teoria com princípios científicos, metodológicos ou metafísicos bem estabelecidos e aceitos. A taxa efetiva de solução de problemas é estimada pelo número e a importância dos problemas empíricos solucionados, subtraído do número e importância dos problemas conceituais gerados pela teoria. As teorias são avaliadas comparando-se as respectivas taxas de solução de problemas, aferidas num prazo suficientemente longo.

Esse último aspecto é especialmente importante. Os filósofos justificacionistas e positivistas insistiam numa *racionalidade instantânea* (LAKATOS, 1979:191 e 216) que possibilitasse confirmar ou refutar imediatamente uma teoria. Por sua vez, esses novos modelos mostraram que as teorias são avaliadas levando-se em consideração um período de tempo no qual já tenham apresentado resultados suficientes para que possam ser comparadas com outras anteriormente estabelecidas. Mas, quando e por que uma nova teoria é formulada e submetida à avaliação dos cientistas? Não se encontra respostas muito consensuais a esse respeito entre os autores dos modelos filosóficos aqui analisados. E essas discordâncias refletirão nas respostas a uma outra questão ainda mais fundamental, a saber, essas mudanças são abruptas gerando rupturas profundas com a tradição anterior ou são graduais? E, nesse caso, quanto da tradição anterior é recuperada pela sua sucessora? Vejam que se trata de definir aqui a própria natureza das mudanças científicas, se são revolucionárias ou não, se são cumulativas ou não. Essas

questões estão diretamente associadas às caracterizações do progresso da Ciência, aplicadas ao ensino da Ciência.

CAPÍTULO II

A EDUCAÇÃO CIENTÍFICA DO ESTUDANTE DA ÁREA HUMANÍSTICA

Até agora empregou-se o vocábulo Ciência como se fosse sinônimo dos campos de atividade humana freqüentemente descritos com o nome de Ciências Naturais: Física, Química, Astronomia, Geologia e Biologia. Para o cidadão médio, são os surpreendentes progressos nessas matérias que lhe acodem à mente, quando falamos de Ciência Pura. Semelhantemente, é a aplicação do novo conhecimento em tais setores à Tecnologia, à Medicina, à Agricultura e, infelizmente, à guerra, que se impõe à opinião pública, quando é mencionada a Ciência Aplicada. No entanto, um número cada vez maior de pessoas inteligentes acredita que, mais do que as Ciências Físicas ou Biológicas, quem detém as chaves do futuro são as Ciências Sociais. Outros divergem violentamente de tal parecer e põem em dúvida a própria correção da expressão Ciência Social.

2.1. SOBRE OS MÉTODOS DA CIÊNCIA:

Uma das mais significativas discussões da atualidade diz respeito ao ponto até o qual podem ser transferidos para outras atividades humanas os métodos pelos quais se obtiveram os surpreendentes resultados na ciência pura e na ciência aplicada. Entre as questões sobre as quais homens instruídos e sinceros divergem atualmente, figuram as seguintes: existirá algo como método científico de larga aplicabilidade à solução dos

problemas humanos? Haverá diferença significativa entre a pesquisa em ciência básica (ou ciência pura) e em ciência aplicada? Serão realmente ciências as Ciências Sociais? (Psicologia, Antropologia, Sociologia, Economia Política, Economia e História?) Se não, poderão vir a ser?

As respostas a essas perguntas e a muitas outras relacionadas se revestem de suprema importância para o futuro. Os processos educacionais, por um lado, e as ações coletivas relativas a uma variedade de problemas sociais, econômicos e políticos, por outro lado, se entrelaçam nesse presente debate sobre as Ciências Sociais. Ora, é claro que se um leigo deve possuir idéias nítidas sobre a relação de métodos de Física, Química e Biologia com a educação ou com as investigações de questões atuais, deve igualmente compreender os métodos de que se trata. Logo, a terceira razão, e última, para insistir no melhoramento da educação científica do leigo repousa na necessidade de esclarecimento do pensamento popular sobre os métodos da Ciência. Cabe aos educadores assentar a base para uma melhor discussão dos modos pelos quais os métodos racionais podem ser aplicados ao estudo e à solução dos problemas humanos.

2.2. SERÃO CIENTÍFICAS TODAS AS PESQUISAS RACIONAIS E IMPARCIAIS ?

Uma posição extrema, mantida com certa insistência, nos últimos cem anos, tenta igualar o método científico a todas as pesquisas relativamente imparciais e racionais. Por exemplo, há pouco mais de cem anos, Karl PEARSON¹¹, em sua *Grammar of Science*, proclamava: “A ciência moderna, exercitando o espírito na análise exata e imparcial dos fatos, é uma educação especialmente adequada à promoção de uma sã cidadania.” (DELA NINA, 1947:21). Ao leigo ocupado recomendava:

“O que é necessário é o conhecimento completo de certo pequeno grupo de fatos, o reconhecimento das relações existentes entre um e outro, e das fórmulas ou leis que exprimam cientificamente as suas seqüências. É dessa maneira que o espírito se imbui de método científico e se liberta da tendência individual na formação dos seus juízos, uma das condições, como vimos, da cidadania idealmente boa. A primeira reivindicação da educação científica, a sua educação no método, parece-me a sua mais poderosa reivindicação para afirmar o apoio”. (PEARSON, 1895)

Mais tarde se voltará à exposição feita por Pearson do método científico. Por enquanto, é necessário concentrar a atenção apenas em duas implicações que permeiam os capítulos introdutórios; a primeira é que a análise exata e imparcial dos fatos só é possível no reino da Ciência; a segunda é que a exposição a essa disciplina produzirá uma estrutura mental capaz de análise imparcial em todas as questões.

Naturalmente, não há dúvida de que uma das condições necessárias para investigação científica é a análise exata e imparcial dos fatos. Mas essa atitude não foi inventada pelos primeiros que se interessaram por indagações científicas, nem tampouco foi reconhecida de imediato a sua enorme importância. À medida que é remexida a história das Ciências Naturais, fica claro que nas fases embriônicas de cada uma das disciplinas modernas, na maioria das vezes brotaram com mais facilidade violentas polêmicas, e não opiniões arrazoadas.

Mas lendo corretamente a história da Ciência nos séculos dezessete e dezoito pode-se ver que foi apenas aos poucos que nela evoluiu a idéia de que o investigador científico deve impor-se rigorosa autodisciplina no momento em que penetra no seu laboratório. À medida que cada uma das novas gerações via de que modo o preconceito e a vaidade dos predecessores constituíam obstáculos ao progresso, iam criando padrões de exatidão e imparcialidade. Enquanto a Ciência foi em grande parte campo de amadores - como foi até o século dezenove - todos podiam considerar como *peixes os*

seus descobrimentos. Se lhes defendiam o tamanho contra os detratores e, assim fazendo, o tamanho deles crescia, o oponente bem era igualmente um notório mentiroso.

A formação das sociedades científicas, a sua crescente importância e a gradativa constituição de um sentimento profissional em torno da Ciência foi mudando lentamente esse quadro. O exemplo dos poucos gigantes que, começando com GALILEU¹², tinham reconhecido bem a necessidade de autocontrole, tornou-se padrão aceito. O homem propenso a usar as mesmas armas no debate filosófico, assim como no político e teológico, cedeu lugar ao cientista moderno que não confia muito em persuadir o oponente pela retórica, ou em repelir, pela invectiva, do campo de luta. O seu júri, hoje, é um grande grupo de pares muito bem informados, aos quais lhe cabe apenas apresentar fatos exatos e imparciais com o mínimo de emoção. Refere-se aqui aos cientistas que falam a cientistas, naturalmente. É deixado de lado os grandes popularizadores da Ciência, como HUXLEY, os quais são verdadeiros educadores. Por enquanto, não discute-se os escritos que dizem respeito à Ciência, mas que são de natureza metafísica, nem os que visam à aceitação de uma cosmologia nova ou modificada.

Seria demais dizer que hoje, nas Ciências Naturais, o ambiente social dado tornou fácilimo, até para uma pessoa emocionalmente instável, ser exata e imparcial no seu laboratório? As tradições que esse homem herda, os seus instrumentos, o elevado grau de especialização, a multidão de testemunhas que o rodeia, por assim dizer (se publica os seus resultados), tudo isso exerce uma pressão que torna quase automática a imparcialidade nas questões da *sua* ciência. Ele que se desvie, por sua conta, do rigoroso papel do experimentador ou observador imparcial; sabe demasiadamente bem em que ridículo caiu tal pessoa pelo fato de se apegar cegamente a um grupo de

observações, ou a uma teoria que por fim se reconhece inteiramente errada. Uma vez, porém, que fecha o laboratório, pode confiar à fantasia o que lhe apraz e talvez com menos inibição ainda, por estar livre da disciplina imposta pela sua profissão. Por conseguinte, não é surpresa se, no tocante aos problemas que ultrapassam a sua competência profissional, os trabalhadores de laboratório fossem algo menos imparciais e contidos do que outros indivíduos, apesar das observações levarem a concluir que, na qualidade de seres humanos, os investigadores científicos se distribuem estatisticamente por todo o espectro da loucura e da prudência humanas, como os outros homens.

Quais foram os precursores dos primeiros investigadores que nos séculos dezesseis e dezessete estabeleceram os padrões das pesquisas científicas exatas e imparciais? Quais foram os antepassados espirituais de COPÉRNICO, GALILEU¹³ E VESÁLIO? Certamente não o experimentador fortuito nem o hábil excogitador de novos dispositivos mecânicos que, aos poucos, foram aumentando o nosso conhecimento empírico de Física e Química durante a Idade Média. Esses homens transmitiram às gerações subseqüentes numerosos fatos e valiosos métodos de obtenção de fins práticos, mas não o espírito da pesquisa científica. Para o aparecimento de um novo ardor na pesquisa intelectual disciplinada, é preciso voltar-se para alguns espíritos criados na tradição socrática, e para os primeiros estudiosos que se apoderaram da cultura da Grécia e de Roma por primitivos métodos de Arqueologia. No primeiro período da Renascença, o amor à busca desapaixonada da verdade foi obra dos que se interessavam pelo homem e pelos seus trabalhos, mais do que pela natureza inanimada ou animada. Durante a Idade Média, o interesse por tentativas de uso da razão humana criticamente e sem preconceito, por investigar profundamente, sem medo e sem favor, foi mantido vivo mais pelos que escreveram sobre problemas humanos do que sobre

fenômenos naturais. Nos primeiros dias do Renascimento da Cultura foi a exploração da antigüidade pelo humanista que mais se aproximou dos modernos conceitos de pesquisa imparcial. Até o dia em que começou a crescer a onda de curiosidade científica, as pesquisas daquilo que se chama atualmente de Ciência Natural despertaram pouco interesse até em indivíduos instruídos. As conclusões científicas, a não ser que exercessem profunda influência na cosmologia da época, tendiam a perder-se como um seixo lançado ao mar.

PETRARCA, BOCCACCIO, MAQUIAVEL e ERASMO¹⁴, muito mais que os alquimistas, devem ser considerados precursores do moderno investigador científico. Semelhantemente, RABELAIS e MONTAIGNE, que desenvolveram o espírito filosófico¹⁵ crítico, devem figurar entre os precursores dos modernos cientistas. Mas não somente alguns cétricos obstinados e os antiquários; também honestos exploradores e tenazes estadistas e comandantes militares foram antepassados de todos os que se esforçaram por penetrar o âmago, desejosos de novas respostas a velhas perguntas, desejosos de reduzir ao mínimo o preconceito e examinar imparcialmente os fatos. A Ciência representa hoje os frutos acumulados de uma linha de descendência que entrou, por assim dizer, em certos campos amadurecidos para o cultivo. Transformada a Ciência em fenômeno social autopropagativo, os que lavraram tais campos tem tido um trabalho relativamente fácil, acumulando a tradição dos ancestrais.

Logo, colocar o cientista num pedestal por ser investigador imparcial, é compreender de forma incorreta a situação. Se o desejo é divulgar mais amplamente, entre a população, a vontade de procurar os fatos sem preconceito, é importante colher os modernos exemplos nos campos não científicos. Deve-se examinar e admirar o procedimento dos relativamente poucos que, no meio dos problemas humanos, são

capazes de corajosa, honesta e inteligentemente, chegar a conclusões baseadas na razão, sem respeito a lealdades e interesses seus ou de outras pessoas e, chegando a tais conclusões, as apresentam bem, a elas se apegam e agem em conformidade com elas.

Dizer que todas as análises imparciais e acuradas dos fatos constituem exemplos do método científico é acrescentar desmedida confusão aos problemas de compreensão da Ciência. Afirmar que o estudo da Ciência é a melhor educação para os jovens que aspiram tornar-se analistas imparciais das questões humanas é apresentar, no melhor dos casos, uma hipótese educacional muito duvidosa. Realmente, os que argumentam que os hábitos de pensamento e o ponto de vista do cientista, como cientista, podem ser transferidos com vantagem para outras atividades humanas tem grande trabalho para documentar o que afirmam. Hoje em dia só um ou outro indivíduo corajoso é capaz de asseverar que o chamado método científico se aplica à solução de quase todos os problemas da vida quotidiana no mundo moderno. Entretanto, alguns proponentes de tal doutrina chegaram, por vezes, até mais longe e sustentaram que apenas pela ampla aplicação do método científico aos problemas da sociedade em todos os níveis é que podemos esperar paz e sanidade. Mas essas afirmações extremas são menos prováveis de união com uma insistência no valor disciplinar das Ciências Físicas. É mais provável ouvir que: o que o leigo mais necessita é mais educação nas Ciências Sociais.

Esse autor confessa que pouco simpatiza com qualquer idolatria da Ciência. No entanto, uma melhor compreensão da Ciência Natural entre os leigos não estaria despida de valor no desenvolvimento da atitude de que falava Karl PEARSON. Uma vez que as investigações científicas proporcionam exemplos amplos, e às vezes dramáticos, de um modo efetivo de lidar com problemas, um maior conhecimento da gênese dos métodos

científicos reforçaria, provavelmente, certos hábitos de espírito. Embora as restrições artificiais sob as quais o experimentalista opera hoje tornem inconscientemente a análise fatural fria - quase uma operação rotineira, a demonstração, dia após dia, do êxito de tais métodos se destina a exercer profunda influência na opinião pública. Bem compreendida, a demonstração fortalece os elementos racionais da vida civil, que proporcionam o aventuroso mas ordenado desenvolvimento desta sociedade livre. Tudo isso quer dizer que um maior grau de compreensão da Ciência se afigura da maior importância para o bem estar da nação. Mas já é tempo de entrar na tarefa de sugerir como, de fato, é possível realizar tal coisa.

2.3. COMPREENSÃO DA CIÊNCIA:

O homem que foi investigador feliz em qualquer campo da ciência experimental se aproxima de um problema de ciência pura ou aplicada com um ponto de vista especial, mesmo em setor que ele ignore inteiramente. A esse ponto de vista chama-se compreensão da Ciência. Observe-se cuidadosamente que ele independe do conhecimento dos fatos ou processos científicos no novo setor a que assoma o indivíduo. Mesmo o cidadão de cultura superior e inteligente, sem experiência de pesquisa, quase sempre deixará de apreender o essencial numa discussão que se verifique entre cientistas interessados por uma indagação projetada. E não será pelo fato de o leigo carecer de conhecimento científico, nem pela sua incapacidade de compreender a linguagem técnica do cientista; será, em grande parte, por causa da sua ignorância fundamental do que a ciência pode ou não pode realizar, e da sua conseqüente perplexidade numa discussão que esboce um plano de futura investigação. Ele não sente a tática nem a estratégia da Ciência.

Nos últimos dois anos, foram vistos repetidos exemplos de tal confusão dos leigos. Se é certo este diagnóstico (o que constitui a premissa fundamental deste trabalho), o remédio não se encontra numa disseminação maior de informação científica entre não cientistas. *Estar bem informado sobre a Ciência não é o mesmo que compreender a Ciência*, embora não sejam antitéticas essas duas proposições. O que é preciso são métodos para proporcionar certo conhecimento da Tática e Estratégia da Ciência aos que não são cientistas. 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 é inerente à sua profissão e os que só estudaram os resultados da indagação científica, ou seja, os leigos.

Mesmo, porém, que se concorde que o exigido pelo público geral não é *mais conhecimento* sobre a Ciência (mais fatos e princípios) e sim certa *compreensão* da Ciência, o problema não fica resolvido. E isso porque há dois modos de pesquisar as complexas atividades humanas e os seus produtos: um deles é refazer o caminho pelo qual se produziram certos resultados finais, sendo o outro a dissecação do resultado na esperança de revelar a sua estrutura e expor as relações lógicas entre as partes componentes, e, de passagem, expor igualmente as incoerências e imperfeições. Os espíritos filosóficos e matemáticos preferem o acesso lógico; mas crê-se que para nove entre dez pessoas o método histórico proporcionará maior compreensão real de um assunto complexo.

Para ilustrar, permita-se voltar à *Gramática da Ciência*. Em todo o volume, Karl PEARSON refere-se à Ciência como a classificação de fatos, e no sumário do

primeiro capítulo escreve o seguinte: “O método científico caracteriza-se pelo seguinte: (a) cuidadosa e acurada classificação de fatos e observação da sua correlação e seqüência; (b) descobrimento das leis científicas com o auxílio da imaginação criadora; (c) auto-crítica e pedra de toque final de validade igual para todos os espíritos normalmente constituídos”. (PEARSON, 1895) Com (b) e (c) pouco se pode discutir, uma vez que todas as afirmações condensadas disso são necessariamente incompletas. Mas discorde-se inteiramente de (a). E é o ponto de vista expresso nessa sentença que domina toda a discussão de PEARSON. Parece, realmente, que quem teve apenas pouca experiência, ou não teve experiência direta com as investigações científicas¹⁶, poderia ser inteiramente desencaminhado no tocante à natureza do método científico, ao estudar esse famoso livro. (DELA NINA, 1947:25)

Se a Ciência fosse tão simples como pretende fazer crer esse relato bastante legível, por que foi importante tão longo período de sondagens antes de os cientistas adquirirem uma visão clara de algumas coisas familiaríssimas? A famosa obra de NEWTON estava terminada pelo fim do século dezessete. Os homens cultos da França e da Inglaterra, nas primeiras décadas do século dezoito, falavam em termos de um sistema solar quase idêntico ao ensinado nas escolas de hoje. As leis do movimento e a sua aplicação à Mecânica eram amplamente compreendidas. No entanto, só na década de 1770 a 1780 foi que se formulou o comum fenômeno da combustão em termos de clareza comparável; e só muito mais tarde se aceitou o conceito do calor como espécie de movimento. A geração espontânea da vida foi questão aberta até a década de 1870 e 1880. Há noventa e cinco anos, o professor de Filosofia Natural de Harvard dizia aos alunos que “podemos agora aceitar a teoria ondulatória da luz porque todos os que, antes, aceitavam a teoria corpuscular, estão mortos”. (HALLIDAY, 1988:195) A

profecia implicada nesse pedaço de ceticismo revelou-se bem chegada ao alvo. Somente nos limites da vida de muitos é que foi possível desenvolver conceitos que se encarregam de fatos relativamente simples concernentes à emissão e absorção da energia radiante. DARWIN convenceu a si próprio, depois o mundo científico e mais tarde ainda o público culto, da correção da idéia geral da evolução por causa de uma teoria sobre o mecanismo pelo qual poderia ter ocorrido a evolução. Hoje, a idéia básica do desenvolvimento evolutivo de plantas e animais superiores não se discute mais; porém, o mecanismo de DARWIN foi de tal maneira posto em dúvida que quase caiu. E não estamos mais perto de uma solução do problema sobre o modo pelo qual a vida surgiu neste planeta do que estávamos no tempo de Darwin.

A maneira vacilante pela qual até os mais hábeis dentre os primeiros cientistas tiveram de abrir caminho através de emaranhada massa de observações errôneas, generalizações ilusórias, formulações inadequadas e um preconceito inconsciente, constitui a história que tem de ser contada. Não a narram os cursos de Física, de Química, de Biologia ou qualquer outra das Ciências Naturais, pelo que me é dado saber. Pegue-se um texto de qualquer dessas matérias, e verifique-se como tudo se afigura simples no que diz respeito ao método, e como se torna, em pouco tempo, complicadíssima a estrutura de fatos e princípios. Na verdade, antes do avanço num curso de principiantes, vê-se o mestre atarantado para manter-se em dia na apresentação de assuntos que não podem ser adequadamente analisados pela classe. Dispondo de insuficiente conhecimento de outras matérias, e sobretudo de Matemática, os estudantes são obrigados a acreditar em afirmações sobre leis científicas e estrutura da matéria, tão dogmáticas como se as apresentasse um sumo sacerdote. Acrescente-se que não cabe aqui a censura aos professores. Sim, porque não existe outro método de apresentação do

conhecimento de fatos em tais matérias, nesta época de vasta estrutura interligada e profundamente complicada de Física, Química e Biologia.

2.4. A TÁTICA E ESTRATÉGIA DA CIÊNCIA:

Torna-se necessário sermos mais específicos agora quanto à proposta de reforma da educação científica do leigo. O que se propõe é o estabelecimento de um ou mais cursos de nível universitário sobre a Tática e Estratégia da Ciência. O objetivo seria o de proporcionar um grau mais elevado de compreensão da Ciência pelo estudo acurado de um número relativamente diminuto de exemplos históricos do desenvolvimento da Ciência. Sugere-se cursos de nível superior, por não acreditar que poderiam ser introduzidos antes na educação dos estudantes; mas não há motivo por que não possam tornar-se partes importantes de programas de educação de adultos. Realmente, esses cursos poderiam demonstrar-se particularmente adequados a grupos mais idosos de homens e mulheres.

É evidente a analogia com o ensino de estratégia e tática de guerra por exemplos tirados da história militar. E o êxito desse processo educacional constitui uma das razões pelas quais é imprescindível ter esperança neste novo acesso à compreensão da Ciência. O curso não visaria ao ensino da Ciência - nem sequer os princípios básicos ou fatos mais simples - embora, naturalmente - e na qualidade de subproduto - se verificasse um considerável conhecimento de certas ciências. É claro que um dos requisitos seria um conhecimento elementar da Física, mas com o melhoramento do ensino da Ciência nos cursos secundários, o que certamente virá, isso não constituiria obstáculo sério.

Os exemplos seriam, quase todos, tirados dos primeiros dias da evolução da moderna matéria. Certos aspectos da Física nos séculos dezessete e dezoito; a Química dos séculos dezoito e dezenove; a Geologia do começo do século dezenove; certas fases da Biologia no século dezoito, outras no século dezenove. As vantagens desse método de acesso são duplas: em primeiro lugar, a exigência relativamente reduzida do conhecimento fatural, tanto no que diz respeito à ciência em apreço como no que diz respeito a outras ciências, e relativamente pouca matemática; em segundo lugar, nos primeiros dias, vêm-se, sob uma luz mais clara, as necessárias vacilações até de gigantes da inteligência, quando são pioneiros; e chega-se a compreender o que vem a ser a Ciência, ao se reconhecer a dificuldade de efetuação de volúveis preceitos científicos.

Não estarão fora de lugar algumas palavras sobre os princípios que guiarão a escolha de exemplos para este curso de Tática e Estratégia da Ciência. É desejável mostrar as dificuldades que acompanham cada novo impulso no progresso da Ciência, e a importância de novos processos; como surgem, melhoram, e muitas vezes revolucionam um campo de pesquisa. É necessário ilustrar a intrincada interação entre o experimento, ou observação, e o desenvolvimento de novos conceitos e novas generalizações; enfim, de que maneira nascem novos conceitos a partir dos experimentos, de que maneira um esquema conceitual é adequado para um determinado tempo, sendo em seguida modificado ou substituído por outro. É louvável, por outro lado, ilustrar a interligação existente entre a Ciência e a sociedade, sobre a qual tanto se falou recentemente entre os marxistas. Pouco teria que se dizer sobre a classificação de fatos, a não ser para usar essa expressão como espantalho. Mas esperava-se que quase todos os exemplos escolhidos mostrassem os perigos antepostos pela Natureza aos que

desejassem examinar os fatos imparcialmente e classificá-los com exatidão. A experiência controlada e a observação planejada estariam na frente de qualquer discussão. Seria frisada a diferença de métodos entre a ciência de observação - Astronomia, Geologia, Biologia Sistemática - de um lado, e do outro as ciências experimentais - Física, Química e Biologia Experimental.

Até que ponto um curso de Tática e Estratégia da Ciência deveria tomar conhecimento da existência de problemas de Metafísica e Epistemologia é coisa que dependeria da visão do professor e da maturidade e interesse do aluno. Evidentemente, o curso não seria sobre os fundamentos metafísicos da ciência moderna; entretanto, o professor mal pode ignorar completamente a influência de novos conceitos científicos nas idéias contemporâneas sobre a estrutura do universo ou a natureza e o destino do homem. Não se pode, tão pouco, honestamente, deixar de identificar pelo menos vagamente os problemas filosóficos nascidos quando o homem procurou examinar criticamente a base do seu saber em torno do mundo exterior. Talvez, em colaboração com um colega do Departamento de Filosofia, pudesse o professor querer sugerir a leitura de extratos dos escritos de alguns filósofos. Nesse caso, seria importante frisar a existência de mais de uma escola de pensamento.

Como será explanado em capítulos seguintes, a discussão da evolução de novos esquemas conceituais, como resultado da experimentação, ocuparia lugar central na exposição. Sendo assim, não haveria jeito de escapar da consideração das dificuldades que historicamente acompanharam o desenvolvimento de novos conceitos. O vácuo é verdadeiramente vazio? Se é, como podemos ver através dele? É imaginável a ação à distância? Essas perguntas, outrora à testa da discussão científica, merecem uma cuidadosa revisão. A teoria newtoniana da gravitação perturbou¹⁷ “quase todos os

investigadores da Natureza, por estar fundada numa ininteligibilidade fora do comum” (CONANT, 1947:37) Já não perturba, porque “se tornou uma ininteligibilidade comum”. Até que ponto se pode fazer a mesma afirmação em torno de outros conceitos que desempenharam papel de importância na evolução da ciência moderna? Quando dizemos que os químicos *estabeleceram* ser a clorofila essencial à fotossíntese e que, igualmente, *estabeleceram* os arranjos espaciais dos átomos de carbono, hidrogênio e oxigênio no açúcar de cana, se estaria empregando a palavra *estabelecer* em dois sentidos diversos? Essas e outras perguntas semelhantes deveriam ser exploradas em grau suficiente para tornar o aluno consciente de algumas das complexidades ocultas por trás da nossa habitual exposição simplificada das idéias básicas da ciência moderna num curso elementar.

Todavia, não se pode frisar em demasia que o curso em apreço *não* deveria interessar-se pelos frutos das pesquisas científicas, nem incorporadas em leis científicas ou teorias ou cosmologias, nem nas aplicações da Ciência à Indústria, Agricultura ou Medicina. Pelo contrário, o professor focalizaria a atenção nos modos pelos quais foram conseguidos tais frutos. Poderia se chamar tal curso com o nome de **método científico**, ilustrado por exemplos tirados da História, mas reluta-se em usar essa expressão ambígua. É preferível falar dos métodos pelos quais a ciência progrediu, ou talvez deva-se dizer, o conhecimento progrediu, tornando a ouvir a famosa expressão de BACON, tão usada por todos os profissionais de Ciência: *o progresso do conhecimento*.

2.5. CONHECIMENTO ACUMULATIVO, FILOSOFIA E POESIA:

É possível atingir certo grau de unidade ressaltando o fato de o conhecimento ter realmente avançado em numerosos setores nos últimos trezentos anos. Desse ponto

de vista apenas, haveria grandes vantagens em escolher os exemplos no maior número possível de campos. É possível se agruparem sob a denominação **conhecimento acumulativo** matérias tão diversas como a Matemática, a Física, Química, Biologia, Antropologia, Filologia e Arqueologia. Pode-se asseverar, com segurança, que grandes progressos se realizaram nessas matérias, nos últimos três séculos. Não se pode fazer igual asseveração com respeito à Filosofia, Poesia e Belas Artes. Se o mestre estiver inclinado a duvidar disso e suscitar a questão de como se pode definir o progresso também nas questões acadêmicas, a resposta seria pedir-lhe que realize uma operação imaginária. Ressuscite os grandes vultos do passado, identificados aos assuntos em apreço. Peça-lhes que contemplem a cena atual e respondam se, a seu ver, houve progresso ou não. Ninguém poderá duvidar de como responderiam GALILEU, NEWTON ou os pioneiros da Antropologia e Arqueologia. É muito diferente o caso com MIGUEL ANGELO, REMBRANDT, DANTE ou MILTON. Seria outro com TOMÁS DE AQUINO, ESPINOSA, LOCKE ou KANT. Poderia se discutir o dia inteiro se o particular artista, poeta ou filósofo, sentiria o estado atual da Arte, da Poesia ou da Filosofia como progresso ou retrocesso dos dias em que ele foi um espírito criador. Não haveria unanimidade entre nós; e mais significativamente ainda, não haveria acordo entre a opinião prevalecente da maioria e a que teria prevalecido cinquenta anos antes.

É reconhecido todo o perigo existente em introduzir o conceito de progresso como método de definir um setor de atividade intelectual. Portanto, é necessário dizer que não cabe aqui nenhuma implicação quanto à hierarquia nesta classificação. Não aureola-se as palavras avanço ou progresso; muito pelo contrário. Em termos de sua importância para cada um dos seres humanos, crê-se que os próprios assuntos que caem

fora da definição de conhecimento acumulativo ultrapassam, de longe, os demais. Ampliar esse ponto seria divagar em demasia. É preciso formular apenas duas perguntas: quantas vezes, na vida cotidiana, o homem sofre em decisões importantes, a influência dos resultados das pesquisas científicas dos tempos modernos? Quantas vezes age sem refletir a influência da filosofia e da poesia de que, por longos anos, foi agregada consciente e inconscientemente? O ditador que desejasse moldar as idéias e os atos de um povo letrado poderia deixar em paz cientistas e eruditos, mas teria de conquistar ou destruir os filósofos, escritores e artistas.

2.6. O PROGRESSO NO CONHECIMENTO TEÓRICO E NA PRÁTICA:

Voltando à questão do conhecimento acumulativo, se os limites desse campo de esforço humano devem ser medidos em termos de progresso¹⁸ ou da falta deste, não teremos de incluir grande soma de conhecimento prático bem como de conhecimento teórico? Indubitavelmente. Com efeito, ao espírito não acadêmico a palavra progresso, aplicada às atividades humanas, evoca imediatamente idéias de drogas sintéticas, automóveis e computadores, não as três leis do movimento de NEWTON, nem a teoria dos quanta, nem a equação de EINSTEIN. A distinção entre o melhoramento nas artes práticas e os avanços nas ciências constituiria uma das recorrências num curso de Tática e Estratégia da Ciência. A diferença entre a invenção e o descobrimento científico poderá, em alguns casos, afigurar-se leve, mas a confusão entre a história das artes práticas e o desenvolvimento da Ciência é uma fértil fonte de má compreensão da Ciência. Logo, um dos objetivos até de um curso limitado seria o de mostrar, por exemplos, a distinção entre os progressos em dispositivos mecânicos ou primitivos processos químicos (como a metalurgia ou saponificação) e os progressos na Ciência.

Assim fazendo, tentar-se-ia evitar toda e qualquer falsa pretensão em torno da superioridade de uma atividade sobre outra. Com efeito, as interligações, freqüentes, mesmo há três séculos, e que agora formam uma espessa teia, bastariam para frisar a natureza simbiótica da relação existente entre a Ciência e a Indústria.

Nas Ciências Biológicas não é a indústria, mas sim o Comércio e a Agricultura, de um lado e a Medicina do outro, que se relacionam intimamente ao progresso científico. E, mais, a ligação é uma via de mão dupla. As artes práticas, a princípio, precederam a Ciência; só recentemente foi que os descobrimentos científicos afetaram a prática em média superior aquela em que a prática afetou a Ciência. Voltando um momento às Ciências Físicas, é bom observar que até antes de 1850 a máquina de vapor fez mais pela Ciência do que esta pela máquina de vapor. Não há dúvida, naturalmente, de que o conhecimento tem sido acumulado, classificado e digerido para servir a fins práticos, desde a aurora da civilização. No entanto, pouquíssimo se pode aprender da Tática e Estratégia da Ciência mediante o estudo da história de tais progressos¹⁹, porque estes não foram uma parte da Ciência. Semelhantemente, pode-se argüir que o progresso realizado em séculos recentes, em determinadas nações, na arte do governo, no tratamento de criminosos, na divulgação da educação, na mitigação de oportunidades desiguais e na reforma social em geral, não é parte das Ciências Sociais. Tais mudanças possuem, com a ciência do homem, as mesmas relações que os melhoramentos nos processos de fabricação e os métodos de transporte com as Ciências Físicas (embora pareça haver menos unanimidade hoje quanto à conveniência de certas mudanças sociais)

2.7. UMA DEFINIÇÃO DA CIÊNCIA:

Portanto, que vem a ser a Ciência? Em resultado de uma análise lógica, esboçam-se os limites de uma porção do conhecimento acumulativo em termos de desenvolvimento histórico e dá-se o nome de Ciência. Assim, bem pode ser explícita esta suposição.

Como primeira aproximação, pode-se dizer que a Ciência emerge do meio de outras atividades progressistas do homem a ponto de novos conceitos surgirem de experimentos e observações, e de os novos conceitos, por sua vez, conduzirem a outras experiências e observações. Os exemplos tirados dos últimos trezentos anos apresentam casos de conceitos frutíferos e infrutíferos. O tecido da ciência moderna é o resultado do entrelaçamento dos conceitos frutíferos. Por conseguinte, a prova de uma nova idéia não é apenas o seu êxito em correlacionar os fatos então conhecidos e sim muito mais o seu êxito ou malogro na estimulação de mais experiências ou observações por sua vez frutíferas. Essa qualidade dinâmica da Ciência, encarada não como empreendimento prático, mas como desenvolvimento de esquemas conceituais, parece estar bem perto do âmago da melhor definição. E essa qualidade só pode ser demonstrada pelo acesso histórico, ou então aprendida por experiência profissional direta.

Para ilustrar esse pensamento, imagine-se uma época futura em que todo o interesse pela investigação científica haja cessado, mas tenham sido aceitos e amplamente divulgados os esquemas conceituais relativamente simples sobre a matéria e a energia, o sistema solar e os fatos fundamentais da Química do século dezenove. A gente dessa época compreenderia a Ciência como a compreenderam os vitorianos? Acho que não. Pouca diferença haveria em sua visão intelectual da visão da gente que aceita a sua cosmologia como parte de uma religião revelada. Se é assim, o

característico da época científica em que vivemos não está nas relativas adequações dos nossos esquemas conceituais quanto ao universo e sim no caráter dinâmico de tais conceitos interpretados tanto pelos cientistas profissionais como pelos leigos. Poderia se dizer que a Ciência progride por definição.

Com tudo isso em mente, a escolha dos exemplos para o planejado curso se daria no maior número possível de setores em todo o campo do conhecimento acumulativo, insistindo apenas na obediência a três critérios: (1) O campo considerado deve ser tal que nele tenha havido, sem dúvida, um progresso substancial no último século mais ou menos (e a prova seria a operação imaginária de invocar o julgamento do passado); (2) Esse progresso não deve ser em termos de realizações práticas ou mera coleta de dados, e sim em termos de mudança de conceito e evolução de esquemas conceituais, resultado de experiência ou observação, produzindo, por sua vez, novas experiências e observações; (3) Um ou mais dos princípios comuns à Tática e Estratégia da Ciência devem ser convenientemente ilustrados por um estudo do caso.

Esses critérios eliminariam do curso qualquer consideração de Arqueologia, Filologia, bem como dos métodos de progresso do conhecimento histórico. Mas valeria a pena indicar os grandes avanços nesses campos de estudo e o grau limitado em que os métodos usados eram semelhantes aos métodos da Ciência. Naturalmente o progresso da Matemática seria incluído no curso, na medida em que os alunos fossem capazes de lidar com esse material. Talvez se argumente o fato de se frisar a relação entre novos conceitos e novas experiências, ou novas observações, o que eliminaria a Matemática das Ciências. Mas, visto que o desenvolvimento da Matemática é também o desenvolvimento da linguagem da Ciência, duvida-se que alguém se incline a discutir tal ponto. Seja como for, visto que o relevo é sobre a Tática e Estratégia da Ciência,

sugiro sejam os progressos na Matemática ilustrados por exemplos intimamente relacionados com a Física e a Astronomia.

À vista do vigor da atual discussão sobre a natureza e o escopo das Ciências Sociais²⁰, seria interessante tentar tirar pelo menos alguns exemplos dessas matérias. Assim fazendo, conviria a consulta aos cientistas sociais. A Psicologia apresentaria relativamente pouca dificuldade, embora se debatesse, talvez, se os casos poderiam ser proveitosamente tirados da psicologia humana tão bem como da experimentação animal. Com experiências de visão e audição não haveria trabalho, mas nos campos tão importantes de investigação como o processo de aprendizagem e os métodos de avaliação de diferenças individuais de personalidade, seria dificultoso arranjar casos da Tática e Estratégia da Ciência (segundo os padrões apresentados). E se um ousado professor no curso em apreço penetrasse mais na Sociologia, Antropologia e Economia, as seleções possíveis passariam a ser realmente pouquíssimas. Essa afirmação não reflete, em sentido nenhum, a importância de tais assuntos. Para expor a Tática e Estratégia da Ciência, seja permitido lembrar que é tão importante distinguir entre os melhoramentos nas questões práticas da vida e nos avanços da ciência do comportamento humano (coletivo e individual) quanto é estabelecer a diferença entre a evolução da arte prática de bombear água e o progresso da Física. Os que confiam em que o homem encontra-se no limiar de grandes progressos nas Ciências Sociais talvez admitissem livremente que agora, fora do campo da Psicologia, só se encontram poucos exemplos correspondentes às especificações. Mas diriam que é grandíssima a probabilidade das gerações subseqüentes serem capazes de estudar tais casos em grande número!

Com as esperanças dos cientistas sociais na mente, conclui-se este capítulo, mostrando que o malogro em concordar sobre uma definição satisfatória da Ciência é em parte responsável por um pouco de confusão reinante no conflito verbal sobre o estudo do homem. As disputas em torno de palavras não se revestem, em geral, de muita importância, mas neste caso surge um ponto significativo. Na medida em que as atividades dos cientistas sociais são realmente análogas às do cientista físico ou biológico, é possível tirar importantes lições de experiências passadas. Por outro lado, na medida em que são análogas aos trabalhos do arqueólogo ou filólogo, pareceria conveniente o estudo dos êxitos mais espetaculares em tais campos. E se, como é suspeito, as atividades são, em grande parte, de natureza prática, devem relacionar-se à história do desenvolvimento das artes práticas tanto antes como depois do advento da ciência moderna.

Um pouco do amargor no debate provém, não há dúvida, do velho pecado do orgulho; a idéia de que, de certo modo, o cientista é superior ao homem prático, se entrelaça no argumento. Inteiramente à parte da disposição do curso proposto, crê-se que seria valioso fazer a diferença entre os progressos na invenção social e os progressos da Ciência Social. Além disso é sugerido que muitos, se não a maioria, dos eminentes cientistas sociais da atualidade, grandemente interessados por problemas atuais, são de fato *filósofos* sociais. Ninguém objetaria ao uso desse vocábulo, pois os filósofos, como os matemáticos, sempre estiveram no topo, ou perto do topo do sistema de castas intelectuais das nossas universidades. Se esta terminologia se tornasse corrente, talvez pudessem ser neutralizados alguns dos *supertons* emocionais da palavra ciência.

CAPÍTULO III

ILUSTRAÇÕES TIRADAS DO *SOBRE A MOLLA DO AR DO SÉCULO XVII*

Neste capítulo, e no seguinte, se fará a tentativa, por exemplos específicos, de ilustrar o modo pelo qual é possível transmitir algum conhecimento da Tática e Estratégia da Ciência. Evidentemente, em algumas páginas não é possível fazer mais do que esboçar os contornos do que bem poderia ocupar uma turma durante um mês ou mais. Os exemplos aqui apresentados não possuem nenhum mérito especial. Com efeito, os exemplos clássicos mais habituais ficaram, propositadamente, de lado, por serem tão conhecidos que mal asseguram outro tratamento. Refere-se particularmente ao estudo feito por GALILEU da queda dos corpos e do pêndulo, ao desenvolvimento da teoria copernicana, e ao que, algumas vezes, recebe o nome de síntese newtoniana. Indubitavelmente, o professor em qualquer curso do tipo proposto teria de empregar longo tempo no primeiro, e colocar na perspectiva exata o segundo e o terceiro; isto é, cada histórico deveria ser estudado apenas na medida em que ilustrasse os princípios da Tática e Estratégia da Ciência.

Existe o perigo real de, em qualquer consideração do material histórico, se exagerar o papel das poucas brilhantes generalizações que, de tempos a tempos, nos últimos trezentos anos, desempenharam papel tão importante no avanço da Ciência. As

contribuições que associamos ao nome de COPÉRNICO, NEWTON, JOULE e MAYER, CARNOT, DARWIN, PLANCK e EINSTEIN, estudadas por si, dão uma impressão erradíssima da natureza da Ciência. Tem sido demasiadamente proeminentes no espírito de muitos que escreveram sobre a Ciência em termos gerais. Logo, é para a observação, a experiência, e para os progressos menos espetaculares e menos conhecidos das Ciências, é que se dedicaria atenção mais direta. Mais se pode aprender do seu estudo do que das poucas e famosas generalizações que, na época, reuniram tanto do passado e iluminaram tão brilhantemente o futuro.

A história relatada neste capítulo abrange um período de menos de duzentos anos, e gira em torno da obra de ROBERT BOYLE com a bomba de ar e as investigações quantitativas que produziram a **Lei de Boyle**. Mas estão incluídos muitos outros indivíduos, inclusive GALILEU. O fim proposto ao estudo não se liga à importância ou à falta dos primeiros estudos sobre bombas de ar, barômetros e a *mola do ar*.

O fim que se teria em vista ao conduzir uma turma através de um grupo de históricos intimamente relacionados seria o de ilustrar os seguintes pontos de grande aplicabilidade:

1. A influência de novos processos de experimentação e sua ligação com as artes práticas (o caso em questão é o desenvolvimento da bomba de ar);
2. A evolução de novos conceitos a partir da experiência (substituição da idéia de que *a natureza tem horror ao vácuo*, ainda em vigor em 1600, pelo conceito de uma atmosfera de ar material pesável, variando a pressão dessa atmosfera com a altura acima do fundo do

- oceano de ar; começo do frutífero conceito do gás como algo que possui uma *mola* definida, capaz de ser medida quantitativamente);
3. As dificuldades de experimentação e o significado da experiência controlada (serão frisadas, bem como a necessidade de eterna vigilância na interpretação das experiências). Enquanto a inerente *obstinação* da natureza inanimada é algo que somente compreende bem quem passou anos em experimentação, uma certa apreciação das armadilhas que circundam o experimentador pode ser adquirida pelo estudo correto da história da Ciência;
 4. O desenvolvimento da Ciência como atividade social organizada (o que é bem ilustrado por qualquer histórico tirado do século dezessete; assim também é a interligação entre a Ciência e a cultura geral dos tempos. Resta aberta a questão de saber que parte de tão interessante material deveria ser introduzida no tipo de curso proposto. Creio que um mínimo dele é essencial à compreensão da Ciência; como subproduto o estudante mal deixaria de apreender alguma coisa sobre a história geral da cultura).

3.1. A ARTE DE BOMBEAR:

O estudo da arte de bombear teve início por volta de 1600. Na Inglaterra e no continente europeu dispunha-se de uma variedade de máquinas engenhosas para movimentar o ar e a água. O fole produzia ar artificial para inúmeros fins, particularmente para os órgãos, e para avivar os fogos usados na arte metalúrgica. A água era transportada para fora das minas; e para os serviços de água de cidades e

aldeias por bombas de força do tipo de pistão simples (gigantescas seringas, por assim dizer) e também por multiformes rodas e parafusos que aqui não interessam, e por bombas de elevação. Estas constituem o começo desta narrativa. Operavam pelo que hoje chama-se sucção. Em 1600 a explicação para o seu funcionamento seria basicamente assim:

A elevação de um pistão bem ajustado a um tubo tende a criar o vácuo; a natureza tem horror ao vácuo, como disse ARISTÓTELES, há muito tempo; portanto, a água sobe se o tubo considerado está corretamente ligado a uma cisterna, a um poço ou a uma entrada de mina cheia de água. Válvulas de espécie primitiva mas eficientes permitiam que, numa subida subsequente do pistão, a água fosse elevada ao nível de uma saída adequada. O ponto focal da discussão é a precipitação do líquido no vácuo, sem pormenorizar as complicações de válvulas e dispositivos mecânicos e o movimento da água acima do pistão.

3.2. A INFRUTÍFERA CONJECTURA DE GALILEU:

GALILEU, em sua obra *Diálogos Sobre Duas Novas Ciências*, publicada em 1638, relata que, certa vez, lhe chamaram a atenção para uma bomba de elevação que não funcionava. A máquina se encontrava em perfeita ordem, mas dela haviam pretendido que fizesse o que um operário familiarizado com bombas dizia ser tarefa impossível, isto é, elevar água de uma cisterna por uma distância superior a aproximadamente 10 metros. É provável que os práticos muito antes tivessem reconhecido que haviam limites ao que uma bomba de sucção ou elevação podia fazer. Por exemplo, numa das ilustrações da famosa obra de AGRÍCOLA sobre a mineração,

publicada em 1556, vêm-se diversas bombas de elevação, uma acima da outra, disposição necessária por causa da limitação submetida ao estudo de GALILEU.

Evidentemente o conceito aristotélico do horror da Natureza ao vácuo exigia uma explicação do fato pelo qual esse sentimento se estendia apenas a uma limitada distância. Mas GALILEU, embora reconhecesse a implicação de um princípio geral, não percebeu o passo seguinte, e acreditou que a água não se erguia acima dos 10 metros numa bomba de elevação porque a coluna se partia pelo seu próprio peso. Tinha em mente uma analogia errada, comparando o comportamento de uma coluna de água ao ponto de ruptura de um fio de cobre. Aqui está um exemplo de cuidadosa observação (em certo sentido experimentação), supondo que GALILEU tenha experimentado diversas bombas de água a várias altitudes acima do nível do mar. No entanto, nasce um conceito infrutífero até de um dos maiores cientistas de todos os tempos.

A respeito desse episódio escreve Martha ORNSTEIN²¹:

“GALILEU era extraordinariamente conservador em alguns pontos. Por exemplo, aceitava, à guisa aristotélica, a *resistenza del vacuo*, um *horror vacui* modificado, como explicação do porque as bombas só conseguiam elevar a água a 10 metros. Nos *Discorsi e dimostrazioni matematiche*, diz GALILEU que, como no caso de um fio de cobre suspenso, há um comprimento em que o próprio peso o rompe, devendo dar-se o mesmo com a coluna de água elevada pela bomba. Mais ainda, sabendo GALILEU que o ar tinha peso, e havendo até excogitado um meio para o pesar, tudo isso é mais estranho ainda, e de certo modo estimula o interesse histórico do homem” (CREW & SALVIO, 1914:16)

3.3. A EXPERIÊNCIA DE TORRICELLI :

TORRICELLI e VIVIANI, discípulos de GALILEU, descobriram o veio frutífero. Mas antes de narrar a história deles, é preciso lembrar que o esquema conceitual implicado pela frase “a Natureza tem horror ao vácuo” (ibid, 16) não era absolutamente a tolice que hoje, às vezes, dá-se a entender. De maneira limitada, essa idéia explicava adequadamente certo número de fenômenos aparentemente não

relacionados, o que constitui uma das provas de qualquer esquema conceitual. Por exemplo, explicava a ação das bombas de elevação em uso comum, a adesão de um pedaço de mármore molhado a outro, a ação do fole, a impossibilidade de se fazer um *buraco* num líquido como se faz num sólido, e assim por diante. O fato de que a água não pode ser elevada por sucção a mais de dez metros parecia exigir uma extensão do conceito então corrente, e não necessariamente um novo conceito revolucionário. Em geral, os nossos esquemas conceituais crescem por processo evolutivo, pela gradativa incorporação de uma série de emendas, por assim dizer. Nesse caso, uma idéia completamente nova tornava obsoleta a antiga. O mesmo fenômeno ocorrerá no capítulo seguinte, quando o assunto for a queda da teoria do flogístico.

Um dos princípios aprendidos na história da Ciência é o de que uma teoria só é abatida por outra melhor, e nunca simplesmente por fatos contraditórios. Em primeiro lugar, tenta-se conciliar os fatos contraditórios com o esquema conceitual existente mediante uma modificação do conceito. Somente a combinação de um novo conceito com fatos que contradizem as antigas idéias é que finalmente produz uma revolução científica. E quando esta ocorre, em pouquíssimos anos ao descobrimento se segue outro, e o ramo de Ciência em consideração progride por saltos e ricochetes.

Com esse princípio em mente, volte-se à Itália da quinta década do século dezessete. GALILEU²² e seus discípulos, em Florença, ruminam várias explicações para impor um limite brusco e definido ao horror da Natureza ao vácuo. Um belo dia, e de maneira que a história não registra, um deles, TORRICELLI, une esse fato a outro geralmente aceito na época, isto é, o do peso do ar. Se o ar tinha peso, por que não poderia exercer pressão sobre a superfície da água um poço e assim forçar a água para cima pela bomba de elevação, à medida que o pistão se erguia, produzindo sucção? A

altura de dez metros de água representaria, o peso da água que tal pressão do ar sobre a superfície da Terra podia manter. Assim, aparentemente raciocinando, TORRICELLI, jovem de 35 anos em 1643, e VIVIANI de 21 anos, tentaram algumas experiências com outro líquido, o mercúrio, cerca de 14 vezes mais denso que a água. No caso de ser correta a idéia que estavam amadurecendo, a pressão de ar que envolvia a Terra seria capaz de equilibrar uma coluna de mercúrio de $1/14$ da altura da coluna de água, ou seja, 76 cm. Lá estava uma coluna que se poderia manejar com facilidade. Pegando um tubo de vidro de mais ou menos um dedo de largura e de um metro de comprimento, taparam-no numa das extremidades, encheram-no completamente de mercúrio e, tapando a extremidade aberta com um dos dedos, inverteram-no num recipiente aberto de mercúrio.

Verificou-se o esperado, como sucede às vezes nesse tipo de experimentação, quando pessoas capazes a planejam de antemão. O mercúrio caiu a uma altura de aproximadamente 76 cm acima do nível do mercúrio do recipiente aberto. O espaço superior do tubo ficou vazio. Pela primeira vez, o mundo via um vácuo, falando em termos gerais; ou, para exprimir o resultado da experiência em palavras mais exatas, fora criado um vácuo na extremidade superior do tubo, porque a pressão da atmosfera podia suportar uma coluna de mercúrio de apenas uns 76 cm de comprimento. Esse vácuo tornou-se imediatamente conhecido como vácuo de TORRICELLI. Haviam sido introduzidos na Ciência três novos processos, ainda hoje inestimáveis. O primeiro era o uso do mercúrio líquido em recipientes abertos e tubos, como meio de experimentação (que hoje chamamos de gases); o segundo, intimamente relacionado, era um método de produzir o vácuo; o terceiro era o invento do barômetro, pois o tubo de TORRICELLI e

VIVIANI constituía, naturalmente, um barômetro de mercúrio muito semelhante aos usados atualmente.

3.4. PASCAL CONTINUA A OBRA DE TORRICELLI;

Os resultados de TORRICELLI vieram à luz em 1644, dois anos após a morte de GALILEU. TORRICELLI sobreviveu às suas brilhantes experiências apenas alguns anos, falecendo em 1647. Mas VIVIANI continuou-as com novos dispositivos, cujo conhecimento se divulgou rapidamente. PASCAL, ao saber das experiências de TORRICELLI repetiu-as e, em 1648 obteve êxito com um barômetro de mercúrio, levado ao topo do Puy-de-Dome na cadeia central de montanhas da França. A experiência, realizada por seu cunhado PÉRIER, mostrou, conclusivamente, que a altura da coluna barométrica decrescia progressivamente à medida que o barômetro se elevava cada vez mais acima do vale. Aquela demonstração constituiu mais uma prova da fertilidade do conceito original de TORRICELLI. Mas as idéias do jovem florentino não tardariam em receber apoio de uma linha inteiramente diversa de experimentação que também parece dever a sua origem ao interesse por bombas de água do tipo de sucção.

3.5. A PRIMEIRA BOMBA DE AR PARA A PRODUÇÃO DE VÁCUOS:

As bombas de água tinham séculos de existência. Mas devem ter-se alastrado no século dezessete, evidentemente melhoradas. Assim, impuseram-se aos indivíduos observadores e reflexivos. Foi daí que nasceu a primeira especulação errônea de GALILEU, a qual, não obstante, levou dois dos seus discípulos ao caminho certo. Outro cavalheiro do século dezessete também começou a estudar as bombas e o seu funcionamento. Foi o burgomestre de Magdeburgo, Otto VON GUERICKE²³, o qual

verificou que uma bomba do tipo de elevação ou sucção, por ele construída, funcionava no terceiro andar de sua casa, mas não no quarto andar.

Entre 1635 e 1654, o interesse de VON GUERICKE pelas bombas de sucção para elevar a água parece tê-lo levado a inventar a primeira bomba de ar para a produção do vácuo. Saber se houve, ou não, ligação entre esse invento e o trabalho de TORRICELLI e VIVIANI, constitui uma dessas questões históricas intrigantes que provavelmente jamais serão resolvidas. Só se pode ter certeza de que pelo fim da década de 1650, tanto os italianos como o burgomestre de Magdeburgo produziam vácuos, embora por métodos diferentes, e estudavam o que nunca foi estudado antes.

3.6. A BOMBA DE AR MELHORADA DE BOYLE:

Robert BOYLE²⁴, sétimo e último filho do grande Duque de Cork, é o ilustre personagem desta história. BOYLE, proponente da nova filosofia experimental, ouvindo falar da bomba de ar de VON GUERICKE num livro publicado em 1657 por um professor jesuíta em Würzburg, cuidou imediatamente de mandar construir uma bomba de ar. É difícil dizer quanto aprendeu com GUERICKE, pois escreve que o “projeto estivera por longo tempo em seu espírito¹⁵”. (FERRACINI, 1995:20) Os seus melhoramentos foram muito significativos por incluírem o uso de um recipiente de vidro cujo ar seria retirado *e um dispositivo para introdução de objetos no recipiente*. Assim, as experiências podiam ser realizadas no vácuo, sob constante observação e em escala muito maior que com o tubo de TORRICELLI.

BOYLE descreveu a **máquina pneumática**, nome que deu à bomba, e as experiências com ela, em seu *New Experiments Physico-Mechanicall Touching the Spring of the Air*, (Novas experiências Físico - Mecânicas Sobre a Mola de Ar), publicado em 1660. A partir de então o interesse pelas bombas de ar cresceu entre os

virtuosi, como gostavam de chamar-se os cientistas amadores da época. HUYGENS, filósofo experimental holandês, viu a máquina de BOYLE em 1661, e voltando ao continente mandou fazer uma com a qual realizou experiências. Nas décadas seguintes, caiu sobre o mundo culto um sem-número de observações experimentais, o que constitui notável ilustração de um princípio de ampla aplicabilidade no crescimento da Ciência. Um novo processo, neste caso um novo instrumento, passa repentinamente a ser disponível, e a experimentação adquire outro aspecto.

Não é preciso estender-se mais neste ponto ou no modo pelo qual o desenvolvimento de uma arte prática, isto é, a de bombear a água, atingiu certo ponto, para depois influir na evolução científica. O desenvolvimento da arte não representava a Ciência, mas influía na evolução da Ciência. Esse aspecto da interligação de ciência e sociedade tem sido tema favorito de alguns escritores nos últimos cinquenta anos. Mais uma vez, o professor poderia querer divagar ao estabelecer um ou dois paralelos, e nessa ocasião, ou mais tarde, com outros históricos, considerar a posição marxista²⁶ extrema quanto à influência das considerações econômicas no curso da história científica, não deixando, todavia, de mostrar o reverso da moeda.

As novas experiências de BOYLE complementaram de maneira elegante o trabalho dos investigadores italianos e franceses sobre o vácuo de TORRICELLI, pois ele provou que quando um barômetro de mercúrio era montado de tal modo que o ar acima da superfície de mercúrio inferior pudesse ser retirado, a coluna caía como se presumia. Readmitindo-se o ar, ela subia ao nível original.

Comparados os escritos da década de 1660 a 1670 aos de GALILEU em 1638 sobre o mesmo assunto, vê-se imediatamente que surgira um novo conceito em resultado de várias experiências bem planejadas. E esse conceito fora aceito pelos mais

ilustres investigadores da época. Assim, o segundo ponto do esboço de abertura deste capítulo, a evolução de conceito novo tirado da experiência, fica bem ilustrado pela história da pneumática de 1638 a 1660. O novo conceito era o de que a Terra estava rodeada por um *oceano de ar* e que, visto como o ar tinha peso, a pressão exercida por esse oceano era maior no fundo, isto é, na superfície da Terra, enquanto, à medida que se ascendia uma montanha, ela diminuía.

A analogia com a pressão de água do oceano era clara e fazia-se repetidamente. O vácuo podia ser criado pela retirada do ar por meio de uma bomba de um recipiente fechado, ou valendo-se da altura limitada de uma coluna de líquido (água ou mercúrio) equilibrada pela pressão atmosférica.

3.7. A MOLA DO AR:

O conceito da elasticidade do ar de BOYLE, intimamente ligado à idéia de uma atmosfera que exercia uma determinada pressão mensurável pelos barômetros, é coisa tão comum hoje em dia, que é difícil imaginar que novos fatos se faziam importantes para conduzir ao desenvolvimento de tão simples conceito. Para compreender os processos mentais de BOYLE, é necessário estudar o diagrama da sua bomba de ar e ler a sua descrição da operação da máquina transcrita abaixo. O ponto significativo é que o ar, no recipiente, se expande no vácuo existente no cilindro causado pelo curso para baixo do pistão. Assim faz porque o ar é um meio elástico ou, como diz BOYLE, “existe uma mola ou força elástica no ar em que vivemos!” (FERRACINI, 1995:10) Nenhum fenômeno equivalente ocorre no bombeamento de água.

Modernamente diz-se que o ar é muito compressível, se comparado a um líquido como a água ou o mercúrio. A **mola do ar** é uma expressão feliz, porque

BOYLE sentiu essa mola quando o pistão era impelido pelo ar externo para o fim da evacuação. A mesma mola é sentida no curso para baixo de uma bomba de bicicleta hoje, quando o pneu está quase inteiramente cheio.

Assim, da experiência surgiu outro conceito, o de ser o ar um meio elástico. É interessante que BOYLE, ao apresentar tal ponto de vista e mostrar finalmente como ele *explicava* as suas experiências não decidiu entre duas possíveis explicações do motivo por que o ar tinha uma mola. Escreveu ele:

“Essa noção poderá ser, talvez, um pouco mais explicada imaginando-se que o ar nas proximidades da Terra é um amontoado de pequeninos corpos, um sobre o outro, semelhante a um velocino... há, ainda, outra maneira de explicar a mola do ar, isto é, supor com o genial cavalheiro, senhor *Des Cartes*, que o ar não passa de um amontoado de partículas pequeninas e (na maior parte) flexíveis, de vários tamanhos, e de toda espécie de figuras, as quais são erguidas pelo calor (especialmente o do Sol) ao corpo etéreo fluido e sutil que circunda a Terra; e pela incessante agitação desse corpo celeste, onde as partículas nadam, são de tal modo turbilhonadas, que cada corpúsculo tenta impedir venham os demais para dentro da pequena esfera necessária ao seu movimento em torno do seu próprio centro; ... de acordo com essa doutrina, pouco importa se as partículas do ar possuem a estrutura necessária às molas, ou se são dotadas de outra forma (por mais irregular que seja), uma vez que a sua força elástica não é feita para depender do formato ou da estrutura, e sim da veemente agitação... Dessas duas maneiras diversas... pode explicar-se a mola do ar... (contudo), não desejo declarar-me a favor de uma delas contra a outra... Não quero imiscuir-me num assunto que é mais difícil de explicar do que necessário, por aquele cujo interesse não é, neste trabalho, apresentar a causa adequada da mola do ar, mas simplesmente declarar que o ar tem uma mola, e relatar alguns dos seus efeitos”. (LIAND, 1934:20, 38)

Essa citação poderia servir de texto útil no curso proposto. BOYLE distingue claramente entre o seu conceito do ar como fluido elástico e a *explicação* de tal elasticidade em termos de imagens ou modelos. A distinção é valiosa no estudo de Tática e Estratégia da Ciência. As explicações oferecidas para o comportamento dos gases foram, a princípio, pouco mais do que desenfreadas especulações, úteis como dispositivos pedagógicos (como BOYLE usou a analogia com o velocino para mostrar a compressibilidade), mas não parte necessária de um esquema conceitual.

É preciso lembrar que as palavras *teoria* e *hipótese* são freqüentemente empregadas para descrever tantos esquemas conceituais e modelos como imagens,

explicando tais esquemas. Muitas vezes, em textos elementares, dá-se uma discussão da definição de teoria e hipótese, mas isso possui um valor duvidoso. Em virtude da ambigüidade convém evitar o máximo possível ambas as palavras, ao se discutir a evolução da Ciência.

Somente neste século foi que se tornou parte da filosofia aceita da Ciência insistir na necessidade de distinguir entre uma asserção experimentalmente verificável e uma proposta de representação de fatos observáveis por certas palavras ou certos diagramas. Poderia ser o ponto adequado, no curso, para fazer referência ao ponto de vista operacional claramente apresentado pelo Professor BRIDGMAN em sua *Logic of Modern Physics* (Lógica da Física Moderna).

3.8. A CONTROVÉRSIA DE BOYLE COM HOBBS E OUTROS:

A publicação da descrição de BOYLE da sua bomba de ar, as suas experiências e a explicação delas produziram imediatamente uma controvérsia, fenômeno comum na Ciência. Entre os seus oponentes figura, nada mais nada menos, que Thomas HOBBS. As dificuldades que os eruditos do século dezessete tiveram com novas idéias científicas baseadas na experiência podem ser vistas por um estudo da controvérsia. Os adversários não atacaram apenas a afirmação de BOYLE sobre a **mola do ar**, senão também, e ainda mais, a existência do vácuo. Por volta de 1660, os sábios se alinhavam em dois lados opostos, os vacuístas e os plenistas, os que acreditavam na realidade do vácuo e os que a negavam. Se os vácuos produzidos por TORRICELLI e BOYLE eram *realmente* vácuos (espaço realmente vazio) como podiam atravessá-los a luz e o magnetismo? Vemos imediatamente como se entrelaçavam na discussão a Metafísica e a Física. Os que negavam o vácuo em *princípios gerais* tinham explicações ingênuas para as

experiências de BOYLE e TORRICELLI. Um deles chegou a postular a existência de um filamento invisível, o *funiculus*, que conservava no lugar o mercúrio de um barômetro, agindo como espécie de fio entre o topo da coluna de mercúrio e a superfície interna do topo do tubo de vidro.

A controvérsia teve um bom efeito, como aliás quase todas as controvérsias: o de estimular outras experiências. No seu segundo livro sobre a mola e o peso do ar (1662), BOYLE descreve as experiências clássicas que mostravam a relação quantitativa entre o volume e a pressão de um gás (hoje chamada **Lei de BOYLE**). Quantitativamente, o que ele estabeleceu foi o inverso do efeito notado no Puy-de-Dôme, ou nas experiências com a sua máquina pneumática onde diminuía a pressão de ar acima do mercúrio inferior do barômetro. Tais experiências mostravam que *menos* do que a pressão atmosférica normal suportaria uma coluna de mercúrio *menor* do que 76 cm. BOYLE provou que o ar submetido a uma pressão *maior* do que a habitual pressão atmosférica suportaria *muito mais* do que 76 cm de mercúrio, e o fez para enfrentar o adversário que havia introduzido o *funiculus* na qualidade de fio esticado sustentando o mercúrio no vácuo de TORRICELLI. Como poderia qualquer fixação invisível da coluna de mercúrio explicar os novos fatos?, perguntava ele.

3.9. MEDIDAS QUANTITATIVAS NA MOLA DO AR:

Mas para o futuro, muito mais importante que essas observações qualitativas foi a relação por ele descoberta entre o volume de ar comprimido e a altura da coluna de mercúrio que estabelecia a pressão sobre ele. Para citar suas próprias palavras, as medições mostraram que:

“o ar comum, reduzido à metade da sua extensão habitual, produzia uma mola quase duas vezes mais energética que a anterior; assim, esse ar comprimido, reduzido à metade do estreito recipiente, produzia uma mola quase tão forte como a que tinha por último, e conseqüentemente quatro vezes mais forte que a do ar comum. E não há motivo para duvidar que se tivéssemos disposto de uma quantidade maior de mercúrio e de um tubo fortíssimo, poderíamos, comprimindo ainda mais o ar encerrado, tê-lo feito contrabalançar a pressão de um cilindro de mercúrio muito mais alto e pesado. Ninguém sabe ainda, talvez, como é capaz o ar de estar perto de uma infinita compressão, se a força compressora for competentemente aumentada”. (LIAND, 1934:115-117)

O papel da medição na evolução de novos conceitos através da experiência seria naturalmente tema recorrente no curso proposto e seria também o significado da precisão aumentada em questões de medição. A última frase transcrita de BOYLE indica um dia muito posterior, quando um cuidadoso estudo da compressão dos gases apresentou desvios da lei simples de BOYLE que diz que “o volume é inversamente proporcional à pressão” (BONJORNO & CLINTON, 1992:74), particularmente sob elevada pressão. Prevê o estudo da liquefação dos gases sob elevada pressão e o descobrimento do fenômeno conhecido como estado crítico. Dependendo de que outros históricos seriam considerados mais tarde, o professor poderia querer seguir o curso dessas investigações, por duzentos anos ou mais, depois de BOYLE. Nesse caso, poderia mostrar de que modo os novos graus de exatidão na medição muitas vezes, mas nem sempre, iluminam fatos insuspeitos.

3.10. A EXPERIÊNCIA CONTROLADA:

Neste tópico se dará a discussão do terceiro dos quatro pontos mencionados no início deste capítulo: as dificuldades de experimentação e o significado da experiência controlada. Através da história aqui contada se encontrará ilustrações da dificuldade

inerente da experimentação. É necessário destacar a grandíssima importância de o leigo compreender mais dessa questão, através de dois exemplos, ambos tirados do trabalho de BOYLE. Primeiro, as experiências quantitativas que foram citadas, as quais demonstraram pela primeira vez a **Lei de BOYLE**. O aparelho usado por BOYLE era muito simples: um tubo em formato de U, de vidro, com dois braços paralelos, um curto, tapado, o outro aberto. Derramando-se nele mercúrio e agitando-se o tubo é possível obrigar o mercúrio a entrar no braço fechado por um breve espaço, enquanto o ar sai, e fazer que o líquido, nos dois tubos, fique no mesmo nível. Inicia-se, então, a experiência. Derrama-se mercúrio na extremidade aberta e, à medida que a pressão aumenta, diminui o volume do gás encerrado na extremidade curta. A altura da coluna de mercúrio na extremidade aberta, medida verticalmente para cima, a partir do nível de mercúrio na extremidade fechada acrescentada à pressão atmosférica determinada por um barômetro (e medida em cm de mercúrio), dá a pressão total; a mudança de altura do mercúrio na extremidade fechada mede a mudança de volume do ar encerrado.

A experiência de BOYLE, em sua forma bem aproximada do original, constitui, hoje, um comum exercício de laboratório na disciplina de Física Geral.

Houve uma variável importante, incontrolada, na experiência de BOYLE, a qual poderia ter introduzido erros muito grandes nas suas medições. BOYLE, sabendo da existência dessa variável, realizou algumas experiências grosseiras para mostrar a ordem do seu efeito. Refere-se, naturalmente, à influência da temperatura. Todos os novos filósofos experimentais da época de BOYLE sabiam que a aplicação de calor surtia um efeito expansivo no ar; na realidade, dessa maneira é que GALILEU, muito antes, pensara em pesar o ar. Depois de pesar um recipiente, aquecera-o, eliminando desse modo um pouco de ar, fechara-o e pesara-o de novo. Além disso, realizaram-se

avaliações grosseiras de temperatura nesse período, com um termoscópio cuja ação dependia da mudança de volume de ar com a mudança de temperatura.

BOYLE resfriou o seu ar comprimido com um pano molhado e aqueceu-o à luz de uma vela, notando uma leve mudança. Não tirou conclusões de tais mudanças, a não ser para dizer que não tinha dúvida de que “a expansão do ar, não obstante o peso que o oprime, houvera sido bastante, se o medo de partir inoportunamente o vidro não nos tivesse impedido de aumentar o calor”. (KLEIBER, 1953:255). Entretanto, a um experimentador tão seguro quanto BOYLE essa experiência serviu para eliminar qualquer dúvida existente, por acaso, em seu espírito, de que as mudanças de temperatura do ambiente, durante a experiência, teriam prejudicado o resultado. Foi mais de cem anos depois (1787) que CHARLES estabeleceu a exata relação entre temperatura e volume de gases. Com efeito, na época de BOYLE, o próprio conceito de temperatura era de uma espécie em grande parte qualitativa.

A essência da experiência controlada é, naturalmente, o controle das variáveis importantes, como por exemplo a temperatura, a pressão, a luz e a presença de outros materiais, particularmente pequenas quantidades de ar e água, o que constitui sempre uma questão de grau, sendo de primeira importância os modos de avaliação do efeito da falta de controle. O progresso em determinado setor depende muitas vezes, de reconhecer quais são realmente as variáveis importantes e determinar métodos para as medir e controlar. Os erros nascem frequentemente do descaso de importantes fatores variáveis. O estudo das experiências de BOYLE com a água, no seu recipiente desprovido de ar, poderia ser empregado com grande vantagem neste ponto. BOYLE interessou-se por determinar a expansão de água, uma vez eliminada a pressão atmosférica, mas não soube avaliar plenamente as dificuldades devidas ao ar dissolvido

na água e não compreendeu que a água ferverá à temperatura ambiente se a pressão acima do líquido for suficientemente reduzida. Antes de se poder controlar as variáveis, eram necessários novos conceitos, como *ar dissolvido*, *pressão de vapor*, *ponto de ebulição como função da pressão*. Mais uma vez, tais exemplos mostraram, com evidência, a inter-relação entre os progressos na experimentação e o desenvolvimento dos novos conceitos.

3.11. DIFICULDADES DE EXPERIMENTAÇÃO:

Além de chamar a atenção às dificuldades que acozzam todos os que efetuam medições quantitativas, sugere-se o uso, de outro modo, da primeira história da pneumática. Poderia ser estudada toda uma série de experiências tratando da questão de saber se o som era, ou não, conduzido através do vácuo. A controvérsia jamais atingiu um nível superior, pois todos pareciam concordar em que, provavelmente, o ar era o meio pelo qual se transmitia o som. Mas para os interessados na tática da Ciência, esse trabalho interessa por mostrar as grandes dificuldades de se acertar uma questão pela experiência. Parece fácil ajustar uma campainha num recipiente de vidro, retirar deste o ar, depois acionar a campainha e verificar se ouve, ou não. As dificuldades foram estas: (1) de que modo acionar a campainha por controle à distância, antes do advento da eletricidade; (2) os vácuos proporcionados tanto pelo método de TORRICELLI como pela bomba de ar estavam longe de serem perfeitos; (3) a campainha tinha de ser suportada, de um jeito ou de outro. E, como se sabe, os meios sólidos conduzem o som.

Usaram-se métodos engenhosos para vencer tais dificuldades, mas silenciar a campainha revelou-se coisa muito difícil. As experiências de BOYLE, como sempre, são dignas de estudadas. BOYLE pendurou um relógio num recipiente, por um fio, e

teve a satisfação de não ouvir som nenhum do seu tique-taque, uma vez retirado o ar do recipiente; admitindo um pouquinho de ar, ouvia-se o som. Mas quando apoiou uma campainha a um suporte sólido, verificou pouca mudança, ao retirar o ar, nas primeiras experiências. Mais tarde, conseguiu montar uma campainha de tal modo que o som não pudesse facilmente viajar ao longo do suporte. Pendurou também um relógio “com um bom alarme” a um fio “pois era possível suspeitar que se o relógio pendesse da sua própria corrente de prata, o movimento trêmulo da sua campainha de som podia ser propagado pela corrente à parte superior do vidro...” (KLEIBER, 1953:226). Em ambos os casos, não se ouviu som nenhum, após a retirada do ar do recipiente.

Esses estudos de campainhas no vácuo podem afigurar-se demasiadamente triviais para merecer atenção. Mas o devido estudo desses casos tão simples, cheios de armadilhas, deixará no espírito do estudante uma compreensão mais clara da ciência experimental do que a que se consegue, na maioria das vezes, num curso de introdução à Física ou à Química. Existem, indubitavelmente, exemplos melhores. Foi mencionado este em particular, porque é parte da história geral do estudo do ar realizado no século dezessete. À mesma categoria pertencem as tentativas de pesar o ar. A história do gradativo acesso a algo que fosse uma avaliação acurada do seu peso é outro caso digno de atenção. Somente compreendendo as dificuldades encontradas quando se tenta fazer o que agora parece simples, é que o estudante pode apreciar as barreiras que devem ser superadas nas modernas experiências das quais nós, na maioria, só conhecemos as conclusões.

3.12. RECAPITULAÇÃO:

É necessário recapitular brevemente os três pontos que o estudo da mola do ar ilustrará. Primeiro, a importância de novos processos ilustrados pelo uso do mercúrio para criar um vácuo de TORRICELLI (e o barômetro), e o invento da bomba de ar; como subtópico, a influência de uma arte prática bem desenvolvida, como a de bombear, e que no progresso científico fica frisada duas vezes (por referência à infrutífera especulação de GALILEU e ao invento, grandemente aproveitável, da bomba de ar por VON GUERICKE). Segundo, a evolução de novos conceitos a partir de experiências foi apresentada em dois casos: a substituição do *horror vacui* aristotélico pela idéia de uma atmosfera exercendo pressão, e o conceito do ar como fluido elástico. Na qualidade de subtópicos, nota-se que fatos novos podem modificar um esquema conceitual ou, combinados com um conceito novo, podem abater uma idéia mais antiga; nota-se, outrossim, no trabalho de Boyle sobre a mola do ar, a diferença existente entre um esquema conceitual intimamente ligado à experiência e explicações do esquema que, na época, não são susceptíveis de prova experimental. (As palavras teoria e hipótese, pelo fato de serem muitas vezes aplicadas tanto a um esquema conceitual como à explicação do esquema em termos de analogia ou modelo mecânico, acabaram, talvez, por terem aplicação tanto demasiadamente limitada como demasiadamente ampla.) Terceiro, os históricos em questão ilustram quase continuamente as dificuldades de experimentação, e o estudo da transmissão do som no ar e no vácuo se recomenda especialmente como revestido de extraordinário valor pedagógico. Em particular, tem sido chamada a atenção à importância da experiência controlada, o que fica ilustrado pela consideração do efeito da temperatura nas medições quantitativas que foram as primeiras em provar as relações existentes entre o volume e a pressão de um gás. Outro

subtópico, o da exatidão necessária para estabelecer uma nova relação, pode ser apresentado pela discussão das fontes de erro na experiência de BOYLE.

3.13. A CIÊNCIA COMO ATIVIDADE SOCIAL ORGANIZADA:

O quarto e último ponto inicialmente esboçado foi a evolução de Ciência como atividade social organizada, o que pode ser ilustrado pelos históricos já vistos neste capítulo. Com efeito, qualquer histórico tirado da segunda metade do século dezessete é ideal para esse fim, uma vez que tal século foi aquele no qual se fundaram as famosas sociedades científicas, e durante o qual elas desempenharam, talvez, o papel mais significativo. Para os que pretendem compreender a Ciência, tanto os modernos métodos de publicação de resultados científicos como o modo pelo qual se originam tais métodos, são coisas de grande importância. Os históricos tirados do século dezessete ilustrarão a última; relativamente a esse estudo, não estaria mal um breve vislumbre da enorme literatura da Ciência existente no século vinte. O leigo deveria conhecer algo dos métodos de catalogação e compilação dessa literatura e adquirir certa compreensão do modo pelo qual, a despeito do volume de material, as notícias científicas viajam, atualmente, muito mais depressa do que nunca. Alguns ardorosos defensores de um grau maior de planejamento nacional falam como se inestimáveis jóias da Ciência fossem todos os dias ocultadas sob um monte de papéis não lidos, implicando não estarem sendo os descobrimentos acompanhados como deveriam, e ficarem sem exploração férteis campos. Um dos objetivos da compreensão da Ciência deveria ser a correção dessa imagem, quase totalmente falsa, do cenário atual.

3.14. A CIÊNCIA E A SOCIEDADE NO SÉCULO DEZESSETE:

O exame da vida de Robert BOYLE é quase ideal para quem deseja discutir a Ciência e a Sociedade do século dezessete. Economia, política, religião, sociedades científicas, universidades, tudo isso pode ser visto tão extensamente como se queira, uma vez introduzido o assunto de Robert BOYLE, sua vida e sua época. BOYLE era filho do grande Duque de Cork, um inglês feito por si mesmo, do duro período isabelino de exploração e investigação. Muitos dos seus parentes mais chegados foram atores principais no grande drama das Lutas Civis as quais abriram o levante irlandês de 1640 que devastou as grandes propriedades de seu pai. Demasiadamente moço para tomar parte ativa na guerra entre o rei e o parlamento, BOYLE, não obstante, pode ser classificado como membro do lado moderado puritano. A sua estada em Oxford, 1649-1658, coincidiu com a supremacia desse mesmo elemento puritano naquela universidade, então purgada de realistas e anglicanos por uma comissão parlamentar. Embora não desempenhasse nenhum cargo oficial na universidade, foi íntimo associado de muitos componentes do famoso grupo de jovens guiados pelo Guardião de Wadhan College, John Wilkins, cunhado de Cromwell. Da reunião daqueles cientistas e filósofos amadores nasceu a Royal Society, fundada logo após a Restauração. É interessante saber como tais homens apareceram em Oxford e não em Cambridge, o que fizeram para reformar a universidade, por um lado, e proteger as faculdades dos puritanos extremos, por outro lado. Bem poderiam ser introduzidas partes da história para ilustrar as inter-relações entre forças sociais, religiosas e políticas nos primeiros dias da Ciência²⁷.

Uma excursão dessas pela história da Inglaterra do período de Cromwell e do primeiro período da Restauração permitiria também ao professor chamar a atenção à complexa interação das influências culturais que determinam o clima de opinião. É a essa altura, por exemplo, que se deveria introduzir uma discussão da filosofia de BACON e de DESCARTES. Os escritos de historiadores nos últimos cem anos ressaltaram o fato de que, dos primeiros membros da Royal Society considerável maioria era de simpatizantes puritanos ou tinha laços puritanos. O exame do possível significado de tal fato conduz a outro exame ao longo dos caminhos que Max WEBER e outros tornaram famosos, e que ligam a ética protestante, o nascimento do capitalismo e o crescimento fenomenal da atividade científica no século dezessete.

Depois, para não haver demasiado estudo de um único país e nos efeitos culturais da Reforma, não ficaria mal um pulo à Florença Católica, onde, na mesma época, encontra-se outro grupo de moços seriamente dedicados a experiências. Sob a guia pessoal de dois MÉDICIS, irmãos, Ferdinando II e Leopoldo, alguns dos discípulos de GALILEU, entre eles VIVIANI (colaborador de TORRICELLI), se uniram para o trabalho experimental, de 1651 a 1657. Em seguida, por dez anos, 1657-1667, tornaram-se a famosa Academia del Cimento que, muito mais que a British Royal Society, constituiu um verdadeiro esforço experimental cooperativo. Os membros trabalhavam juntos e juntos publicavam, desenvolvendo muitas idéias implícitas na obra posterior de GALILEU e na de TORRICELLI. Um dia o protetor Leopoldo de MÉDICIS tornou-se cardeal e a academia dissolveu-se. Pode fazer-se uma interessante comparação entre a história dos dois grupos contemporâneos, o inglês e o italiano, com proveito para a compreensão geral das correntes cruzadas da história moderna por parte dos alunos.

Mas o perigo no tipo de curso que é sugerido não será o de descuidar a colocação dos históricos na exata moldura histórica, mas sim de que o exame da moldura é capaz de exigir demasiado tempo. Afinal, está se sugerindo um curso de Tática e Estratégia da Ciência, não um curso de história cultural européia ilustrada por episódios da Ciência, embora estes pudessem ser valiosos na educação de futuros cientistas e engenheiros. Portanto, o papel das sociedades científicas para o progresso da nova filosofia e o patrocínio da publicação de livros e jornais, como as *Philosophical Transactions* (iniciadas em 1665) seria questão primacial. É notável o contraste entre o que foi feito por intermédio dessas atividades sociais organizadas e o que não pôde ser feito por intermédio das universidades. Mais uma vez, a estada de BOYLE em Oxford, no efêmero momento em que talvez as duas *fontes de saber* da Inglaterra poderiam ter sido postas em movimento em novos canais, constitui adequada introdução a uma história importante. Também, cabe ressaltar o contraste entre a Inglaterra e a Itália. Relanceando o olhar para trás do período do histórico de que se trata neste trabalho, vê-se no século dezesseis e na primeira metade do século dezessete o primeiro despontar da ciência experimental e observacional nas universidades italianas. Nem Oxford, nem Cambridge, no mesmo período imersas na controvérsia religiosa, mostraram o menor sinal dessa aurora. Mais tarde, houve um breve período de excitação em Oxford, relativamente à nova filosofia experimental. Entretanto, nos séculos dezessete e dezoito, não se tornaram lar da Ciência as universidades nem de um país nem do outro.

Tais fatos tornam mais importante um estudo das sociedades científicas e do papel dos amadores por cujo mérito exclusivo a Ciência avançou durante mais de duzentos anos. E é parte da mesma história a maneira pela qual esses amadores

ganhavam a vida ou herdavam os recursos necessários para viver. Na Inglaterra, no século dezessete, a riqueza hereditária de uma nova aristocracia ou as posições, não demasiadamente onerosas, na igreja estabelecida, ou alguns poucos cargos educacionais sustentavam os *virtuosi*; na França, os membros da nova academia científica recebiam pensões do rei. Cem anos depois, nos dois países, veremos nascer uma revolução química durante as horas de lazer de um clérigo dissidente e de um dignitário do agonizante governo dos Bourbons. Fazendo-se referência a esses fatos, é possível conseguir que, no espírito do aluno, não paire dúvida nenhuma de a ciência constituir, realmente, um processo social. Lembrará, outrossim, que a sociedade ocidental, no desenvolvimento da sua moderna cultura, às vezes realizou misteriosamente os seus milagres de execução.

Hoje em dia, quando se espera que todos tenham opiniões no tocante à relação entre governo, educação, e pesquisa e evolução científica, indubitavelmente deveria fazer parte de uma educação geral uma apreciação das passadas complexidades da relação entre a Ciência e a sociedade. E de que período da História podemos sacar maior ensinamento do que do século do gênio - do século dezessete - que, de múltiplos modos, foi o berço da época presente. Com tais idéias no espírito, grande porção dos históricos no curso proposto bem poderiam ser desse período.

CAPÍTULO IV

ILUSTRAÇÕES DO SÉCULO DEZOITO RELATIVAS À ELETRICIDADE E A COMBUSTÃO

Este trabalho não é, em sentido nenhum, uma apresentação da história da Ciência ou de qualquer ramo da Ciência. O objetivo é mostrar como poderiam certos princípios ser ensinados por intermédio de ilustrações tiradas da evolução da Ciência. No último capítulo abordado, um estudo das experiências do século dezessete com barômetros, bombas de ar, e vácuos ilustrou certos princípios, quatro, mais exatamente: (1) a influência de novos processos; (2) a evolução de novos conceitos saídos da experiência; (3) as dificuldades de experimentação e o significado da experiência controlada; (4) a evolução da Ciência como atividade social organizada.

Neste capítulo serão apresentados dois históricos, ambos tirados do fim do século dezoito. O primeiro diz respeito ao descobrimento da pilha elétrica, o segundo diz respeito à revolução química que colocou em base sólida o nosso conhecimento da combustão. Ambos podem ser usados para ilustrar os quatro pontos mencionados, mas cada um se presta particularmente para dar relevo a outros princípios importantes que apresentar-se-á pela primeira vez, relativamente à discussão do novo material.

4.1. O PAPEL DO DESCOBRIMENTO ACIDENTAL:

O leigo, freqüentemente, fica embaraçado em relação ao papel do descobrimento acidental, de um lado, e da experiência planejada, de outro, o que é particularmente verdadeiro em relação ao desenvolvimento de novos processos e à evolução de novos conceitos nascidos da experiência. O histórico analisado para o exame de tais tópicos é o trabalho de GALVANI²⁸ e VOLTA sobre a corrente elétrica. Esse histórico ilustra o fato de um descobrimento acidental ser capaz de conduzir, por uma série de experiências (que devem ser bem planejadas), a um novo processo ou a um novo conceito, ou às duas coisas; mostra, igualmente, que na exploração de um novo fenômeno as experiências podem ser bem planejadas sem nenhuma *hipótese atuante* quanto à natureza do fenômeno, mas que em breve nasce com certeza uma explicação. Desenvolver-se-á um novo esquema conceitual, em grande escala e ampla aplicabilidade, ou estritamente limitado ao fenômeno em estudo. A prova do novo conceito ou grupo de conceitos, em qualquer caso levará provavelmente a novos descobrimentos e ao eventual estabelecimento, modificação ou derrubamento do esquema conceitual em estudo.

4.2. OS DESCOBRIMENTOS DE GALVANI:

O histórico inicia-se com certas observações feitas por Luigi GALVANI, médico italiano, professor em Bolonha, em anos anteriores a 1786. Notou ele a contração de uma perna de rã ao serem os nervos crurais tocados por um escalpelo metálico na vizinhança de uma máquina da qual se tiravam faíscas. *GALVANI continuou a sua observação*. Para citar uma frase muito usada pelos profissionais da Ciência, PASTEUR escreveu que “a sorte só favorece o espírito preparado”. O naturalista holandês

SWAMMERDAM²⁹ já notara antes que, localizando o músculo de uma rã mais ou menos como fez GALVANI, agarrando-se com uma das mãos um tendão e tocando-se o nervo da rã com um escalpelo seguro pela outra mão, o resultado seria uma contorção. Mas SWAMMERDAM não continuou o trabalho. GALVANI sim. Em suas próprias palavras,

“eu tinha dissecado e preparado uma rã... e, cuidando de outra coisa, coloquei-a sobre uma mesa na qual, a certa distância, se encontrava uma máquina elétrica... de repente, quando um dos presentes tocou acidentalmente, e de leve, os nervos crurais internos da rã com a ponta de um escalpelo, todos os músculos das pernas pareceram contrair-se repetidas vezes... outro dos presentes, que nos auxiliava em pesquisas elétricas, julgou haver percebido que a ação fora desencadeada quando do condutor da máquina se desprendera uma faísca. Pasmado por esse novo fenômeno, chamou a minha atenção. Eu, que, com outra coisa no espírito, estava imerso profundamente no pensamento, senti o fogo do incrível zelo e ansiedade de verificar o fenômeno e trazer a lume o que nele se ocultava” (HEBBEL, 1936:157)

GALVANI não logrou trazer a lume tudo quanto se ocultava naquele fenômeno, mas avançou o suficiente para tornar inevitáveis os subseqüentes descobrimentos. Numa série de experiências bem planejadas explorou as variáveis evidentes, mas sem uma hipótese bem definida, geral. É a situação costumeira quando um experimentador talentoso assiste a um novo fenômeno. Surge ao espírito uma série de hipóteses atuantes provadas e descartadas, ou incorporadas num esquema conceitual de gradativo desenvolvimento. Por exemplo, GALVANI determinou em primeiro lugar se era preciso, ou não, tirar faíscas da máquina elétrica para causar a contorção. E achou que “sem falta se verificavam vivas contrações... no mesmo instante em que a faísca saltava.”(ibid, 172)

Os nervos e músculos da perna da rã constituíam um detetor sensitivo de carga elétrica. GALVANI não somente verificou que uma faísca devia passar da máquina

eletrostática como também que a lâmina do escalpelo tinha de estar em contato com a mão do experimentador. Desse modo, uma pequena carga nascida do distúrbio elétrico, isto é, a faísca, atravessa o corpo humano através do escalpelo, rumo ao nervo. Até aí o médico pisou chão sólido e fértil. De súbito, ocorreu uma das coincidências que mais de uma vez embaraçou de início, um investigador, mas eventualmente levou a grandes progressos. Em certas circunstâncias, a perna da rã podia agir não somente como detetor elétrico sensitivo, se não também como fonte de eletricidade. Quando tal sucedia, a eletricidade autogerada, por assim dizer, atuava no detetor. Vê-se imediatamente que a superposição desses dois efeitos poderia ser extremamente desconcertante, o que se verificou especialmente pelo fato de as condições, em que a perna da rã se tornava uma fonte de eletricidade, não terem nenhuma ligação com os fenômenos elétricos então conhecidos. A variável era a natureza do metal ou dos metais usados. GALVANI descobriu e registrou devidamente que a máquina eletrostática poderia ser dispensada, se a perna e o nervo fossem ligados entre si por dois metais *diferentes*. Em tais condições, ocorria a contração. (A experiência fazia-se, em geral, da seguinte maneira: uma vareta recurvada tocava simultaneamente um gancho passando pela coluna espinhal da rã e os músculos da perna ou dos pés). “Assim, por exemplo”, escreve GALVANI, “se toda a vareta era de ferro, ou se de ferro era o gancho... as contrações, ou não se verificavam, ou eram muito pequenas. Mas se um deles era de ferro e o outro de latão, ou melhor, se era de prata (parece-nos que a prata é o melhor metal para a condução de eletricidade animal), ocorriam contrações repetidas e muito maiores e mais prolongadas” (ibid, 168).

Galvani descobrira, sem o saber, o princípio da pilha elétrica. Os seus dois metais separados pelo tecido animal úmido constituíam uma pilha, sendo o detetor

proporcionado pela perna da rã. Pode-se executar hoje o equivalente da experiência de GALVANI. Uma moeda de cobre e outra de prata colocadas em cima e embaixo da língua, uma vez tocadas, produzem na língua um *sabor* especial. Circula uma pequena corrente elétrica e a língua registra o fato, através de uma série de interações de eletricidade e nervos, mais ou menos como as rãs *preparadas* de GALVANI. Não suspeitando disso, todavia, GALVANI imaginou um esquema conceitual (hipótese em grande escala, diria-se) para explicar todos os fenômenos em termos do que então se sabia da eletricidade e que derivava inteiramente da experiência com máquinas eletrostáticas. Tendo verificado que os distúrbios elétricos externos eram desnecessários (quando, involuntariamente, usou a combinação metálica *certa!*) as experiências, diz ele, “nos fazem crer que, possivelmente, a eletricidade estava presente no próprio animal” (ibid, 172). A continuação de Galvani de um descobrimento acidental por uma série de experiências controladas havia conduzido ao registro dos fatos significativos, mas outro italiano é que iria desenvolver o fértil conceito. Foi VOLTA que, pelo fim da década de 1790 a 1800, continuando o estudo da produção de eletricidade pelo contato de dois metais diferentes, inventou a pilha elétrica como fonte daquilo que hoje é conhecida, freqüentemente, como eletricidade galvânica.

4.3. INVENÇÃO DA PILHA ELÉTRICA POR VOLTA:

Alessandro VOLTA (1745 - 1827), de Pádua, inventara anteriormente uma nova forma de instrumento para descobrir pequenas cargas elétricas. Começando por concordar com GALVANI a respeito da eletricidade animal, pôs-se a estudá-la. Com o novo instrumento, um eletrômetro condensador sensitivo, explorou várias combinações de variáveis relacionadas com as primeiras experiências de GALVANI e verificou que a

rã poderia ser eliminada em favor de quase todo material úmido. O fato poderia ser considerado exemplo de descobrimento acidental, mas se foi esse o caso, é de ordem diversa do de GALVANI. As explorações por novos processos e instrumentos, se empreendidos de maneira mais ou menos ordenada, quase sempre revelam fatos inesperados. Em tal sentido, a grande maioria de novos fatos da Ciência são descobrimentos acidentais. Mas é patente a diferença entre essa espécie de experiência e o exemplo oferecido por GALVANI. O novo descobrimento de VOLTA equivalia, naturalmente, à invenção da pilha elétrica, pois ele mostrou que a eletricidade era produzida quando dois metais diversos ficavam separados por água contendo sal. Era coisa feita de maneira mais conveniente do que pelo uso de papel umedecido. Numa carta ao presidente da Royal Society de Londres³⁰, em 1800, VOLTA escreveu:

“30, 40, 60 ou mais pedaços de cobre, ou melhor, de prata, cada um deles em contato com um pedaço de estanho ou de zinco, que é muito melhor, e outras tantas camadas de água ou de outro líquido melhor condutor que a água pura, como, por exemplo, água salgada ou lixívia, e assim por diante, ou pedaços de papelão ou couro bem embebidos de tais líquidos;...essa série alternada de três espécie de condutores sempre na mesma ordem constitui o meu novo aparelho, que imita... os efeitos das garrafas de Leyde...”(GLIOZZ, 1937:prefácio)

A nova pilha era uma fonte de eletricidade diferente do gerador eletrostático já conhecido em 1800; era a primeira fonte de corrente contínua. A pilha produzia *eletricidade de baixo potencial mas de considerável quantidade* (baixa tensão e corrente relativamente alta); as centelhas provenientes de uma máquina de fricção constituem breves espasmos de corrente de elevado potencial e de baixíssima corrente.

Surgiu calorosa controvérsia entre os discípulos de GALVANI (faleceu em 1798) e VOLTA sobre a existência, ou não, de eletricidade animal, e o que causava a contorção da perna de rã nas primeiras experiências. VOLTA não tardou em perder o interesse pela disputa, devotando a atenção ao estudo da nova pilha. Hoje se dispõe de

um esquema conceitual mais ou menos completo e bem satisfatório em que encontram o seu lugar todos os fatos em torno de pilhas elétricas. Não obstante, não é esse o caso com as observações acerca de músculos, nervos e correntes elétricas em tecido animal. Nesse campo, uma hipótese atuante ainda substitui outra e novas experiências continuam a lançar luz sobre um velho fenômeno. Em certo sentido, não acabou-se ainda com o descobrimento de VOLTA. A controvérsia inicial girava em redor da pergunta: existe eletricidade animal? Mas isso passou a ser uma pergunta sem sentido. Na tentativa de conseguir uma resposta, VOLTA descobriu a pilha elétrica. Eis o curso freqüente da história científica. Acaba-se por resolver um problema diferente do proposto.

Outro histórico que ilustra o papel do descobrimento acidental, as bem planejadas experiências pelas quais ela pode ser seguida, o papel da hipótese atuante, o desenvolvimento de uma hipótese em grande escala, a rápida emergência tanto de um novo processo como de um novo conceito, fornece-o o estudo do descobrimento dos raios X. O caso é familiar a todos os cientistas, apesar de não ser, talvez, conhecido em geral que, antes de ROENTGEN anunciar o seu invento, vários outros investigadores tinham notado o enevoamento de chapas fotográficas nas vizinhanças de um tubo de descarga elétrica. Para objetivos pedagógicos num curso de Tática e Estratégia da Ciência, esse histórico poderia ser usado para complementar o que acabou-se de apresentar, ou para o substituir. O trabalho de ROENTGEN é, ao mesmo tempo, mais simples e mais complexo que o de GALVANI e o de VOLTA; a experimentação e o raciocínio são mais diretos, mas para compreender o descobrimento dos raios X o estudante deve dispor de consideráveis conhecimentos de Física. Portanto, o exemplo do século dezoito é melhor pelo fato de quase explicar a si próprio, no que diz respeito

aos termos técnicos envolvidos. Por outro lado, é mais remoto e talvez menos interessante ao leigo médio.

4.4. O EFEITO REVOLUCIONÁRIO DE NOVOS PROCESSOS:

Tanto o caso do descobrimento da pilha elétrica como o dos raios X apresentam, de maneira dramática, um ponto ao qual foi referido no último capítulo, isto é, o de que um novo processo é capaz de surtir efeito quase revolucionário. Com a nova pilha elétrica no começo do século dezenove, Humphry DAVY e muitos outros descobriram toda espécie de novos fenômenos eletroquímicos e físicos, dos quais, por sua vez, provieram, em rápida sucessão, novos processos e novos conceitos. Semelhantemente, em sua época, após a publicação de uma descrição do tubo de raios X, surgiram, em torrentes, novos fatos experimentais. Tremendos saltos no progresso das várias ciências são quase sempre ligados ao desenvolvimento de um novo processo ou à súbita emergência de um novo conceito. É como se um grupo de mineiros, pesquisando um terreno árido, desse de repente com um rico filão de ouro. Imediatamente todos se põem a trabalhar, febris, e o ouro começa a aparecer.

4.5. OUTROS DOIS PRINCÍPIOS NA HISTÓRIA DA CIÊNCIA:

O segundo histórico que deve ser considerado neste capítulo é um exemplo tirado da história da Química na segunda metade do século dezoito e, um caso dos mais complicados. Talvez se exija demasiado esforço para dominar os fatos implicados para que esse exemplo seja bom para o leigo. Mas deve ser incluído no curso proposto porque nele se ilustram, de maneira notável, dois importantes princípios para a compreensão da Ciência.

Primeiro: um conceito útil pode constituir barreira para a aceitação de outro melhor, se abrigado por longo tempo no espírito dos cientistas.

Segundo: os descobrimentos experimentais devem adequar-se à época; há fatos que ficam disponíveis por anos sem que alguém lhes compreenda o significado; a situação científica total tem de ser favorável para aceitação dos novos pontos de vista.

4.6. A QUEDA DA TEORIA DO FLOGÍSTICO:

O histórico que ilustra esses dois pontos importantes poderia receber o título de **A queda da teoria do flogístico**, ou o de **Trabalho de LAVOISIER sobre a combustão na década de 1770 a 1780**. Como indica a primeira expressão, o caso proporciona igualmente um exemplo clássico de revisão de provas pró e contra, quando colidem dois conceitos rivais. Esse fenômeno, embora freqüente, é em geral tão transitório na história da Ciência que se torna difícil apreendê-lo para fins de estudo histórico. Na pesquisa da combustão o progresso normal da Ciência foi, por assim dizer, adiado, fato que, de certo modo, explica por que é de especial significado para os interessados na Tática e Estratégia da Ciência o estudo dessa difícil passagem na história científica.

O meio mais fácil de compreender a revolução produzida na Química e ligada ao nome de LAVOISIER é, em primeiro lugar, descrever os fenômenos em apreço em termos de conceitos modernos; depois, mostrar de que modo por quase cem anos todos ficaram inteiramente confusos. Esse dispositivo pedagógico deveria ser empregado pelo professor no curso sugerido. Envolve ele a exposição dogmática de certa soma de Física e Química popularizadas, mas duvido que a apresentação seja muito mais arbitrária,

nesse ponto, do que a da maioria dos cursos de introdução. Na realidade, parte do material, pode-se afirmar, constitui conhecimento comum hoje em dia.

Quase todo estudante que concluiu o segundo grau *sabe* que o ar constitui, sobretudo, uma mistura de oxigênio e nitrogênio; mais ainda, quando uma vela ou um fósforo *queima*, uma reação química que envolve o oxigênio, tira deles calor e luz. É o que se chama de **combustão**. Se for queimado material suficiente em recinto fechado, a combustão cessará por se esgotar o oxigênio. Que é o que arde? Alguns alunos, nem todos, dirão que nos casos mencionados é um grupo de compostos de carbono, e outros acrescentarão que os produtos da combustão são o dióxido de carbono, CO_2 , e a água, H_2O . Qualquer pessoa que disponha de conhecimento elementar de símbolos químicos gosta, em geral, de partilhar o que sabe. Aqueça-se ao ar livre estanho derretido, por longo tempo, sob elevada temperatura; o metal brilhante cobre-se de uma espuma, que evidentemente não é metal. Que sucedeu? Os alunos inteligentes respondem que se formou uma combinação de oxigênio, um óxido. Exato. Aqueçamos essa substância não metálica, um óxido, com carvão. O que acontece? O carbono combina-se com o oxigênio, produzindo um óxido de carbono e deixando o metal. É o que se verifica quando o minério de ferro se faz ferro, diria o aluno.

Tudo muito simples. E para prová-lo pode-se colocar os alunos num laboratório de química. Mas não deixa de ser um fato histórico que na época da Revolução Francesa, dentre cem filósofos ou experimentalistas, nenhum poderia ter oferecido um indício sequer da explicação que hoje classificamos de **exata**. Pelo contrário, teriam doutoralmente falado de **flogístico**. Quase cem anos depois de Newton, todos continuavam inteiramente perplexos diante de uma coisa tão simples como a

combustão! Observem um fato que deve ser lembrado aos que desejam **compreender a Ciência e falam do método científico.**

A revolução da química precedeu de pouco a Revolução Francesa. LAVOISIER, o homem que, isoladamente, mas construindo sobre o trabalho de outros, fez a revolução, perdeu a cabeça às mãos do Tribunal Revolucionário em 1794 (apesar de não ser absolutamente hostil aos objetivos fundamentais do grande levante social e político). Se foi, ou não, traído por um colega de Ciência (FOURCROY) que era, pelo menos, ardente defensor do partido extremo então no poder, é coisa que constitui intrigante questão histórica cujo estudo seria um subproduto deste histórico no qual teriam grande interesse certos estudantes. Semelhantemente, o fato de outro ilustre vulto da controvérsia ser PRIESTLEY, clérigo unitário, que fora feito cidadão honorário pela Assembléia Francesa e depois fugiu para a América no mesmo ano da execução de LAVOISIER, para escapar a uma turba reacionária inglesa, acrescenta atrativo à história. Não há falta de material para ligar a Ciência à sociedade no fim do século dezoito, apesar de a ligação, ser mais dramática do que significativa; seja como for, é de difícil superada para manter vivo o interesse dos estudantes.

4.7. A CLÁSSICA EXPERIÊNCIA SOBRE O PAPEL DO OXIGÊNIO NA COMBUSTÃO:

A revolução química verificou-se durante os anos de 1772 - 1778. Neste último ano, LAVOISIER havia esclarecido ao mundo científico o papel do oxigênio na combustão. A sua experiência clássica, muitas vezes descrita em textos elementares, foi a seguinte: o mercúrio aquecido ao ar comum produz um material vermelho (um óxido, uma *cal* para os químicos do século dezoito). Em espaço fechado desaparece cerca de

um quinto do ar. O material vermelho pesa mais do que o metal de que se forma. Portanto, algo desapareceu do ar e se combinou com o metal. O material vermelho, óxido ou cal, é posteriormente aquecido em espaço fechado, focalizando-se os raios do sol por meio de uma grande lente ou *vidro ardente*, forma-se um gás e o metal se regenera. O novo gás é o *algo* que desapareceu do ar original, pois a quantidade é a mesma, e a cal perdeu peso na quantidade certa. O novo gás (oxigênio) misturado com o resíduo da primeira experiência cede uma mistura idêntica ao ar comum.

As experiências são simples, e a prova se afigura completa. (LAVOISIER generalizou, naturalmente, muito além do caso do mercúrio). Mas o novo esquema conceitual não foi absolutamente aceito de imediato com grande aclamação. Muito ao contrário. LAVOISIER teve de impor os seus pontos com argumentos convincentes. Pouco a pouco, os contemporâneos franceses foram conquistados, mas PRIESTLEY e WATT, da máquina de vapor, além de CAVENDISH e outros, continuaram a se apegar à teoria do flogístico por mais uma década. Interessa particularmente o caso de PRIESTLEY. Esse experimentador inglês tinha, na realidade, fornecido a LAVOISIER uma chave importante ao lhe dizer, em 1774, da sua preparação do oxigênio pelo aquecimento do óxido vermelho de mercúrio. Mas PRIESTLEY faleceu em 1804 sem jamais se ter convertido a nova doutrina.

Por que tamanha relutância em modificar idéias à luz de experiências maravilhosamente claras, e por que tardaram tanto em trilhar o caminho certo os homens do século dezoito? Houve duas razões para isso: primeira, um esquema conceitual - a teoria do flogístico - adquirira, no espírito deles, um poder quase paralisador; e segunda, a elucidação dos fatos necessários para derrubar a teoria envolvia experiências então extremamente difíceis com gases.

4.8. O SIGNIFICADO DA TEORIA DO FLOGÍSTICO:

A teoria do flogístico constituiu, em sua época um longo passo para frente - é a primeira coisa que se tem de compreender. Nos séculos dezesseis e dezessete, os interessados em formar algum sentido do que atualmente chamamos de Química perambulavam em confusa floresta. Dos alquimistas e dos práticos, particularmente dos fabricantes de metais, haviam adquirido uma massa de fatos aparentemente desconexos e estranhas idéias sobre os *elementos*. A terra, o ar, o fogo e a água de ARISTÓTELES ainda pairavam sobre eles. BOYLE no seu *Skeptical Chymist* (Químico Cético) fez um pouco, mas não muito, para abrir uma clareira no emaranhado de fatos e fantasias tão intimamente interligado e cimentado por palavras estranhas. É preciso examinar alguns dos fenômenos comuns que tiveram de ser explicados por NEWTON e pelos seus contemporâneos, ou seja, ajustados num esquema conceitual. Os metais podiam ser obtidos aquecendo-se certos materiais com carvão (antiga arte de retirar metais dos seus minérios). À primeira vista, os metais eram muito semelhantes, possuindo propriedades semelhantes de superfície. Ainda hoje a classificação de metal e não metal atrai imediatamente o aluno. Outros sólidos eram chamados *terras* (óxidos atualmente) ou então, como carvão ou enxofre, eram *princípios combustíveis*. Algumas terras, aquecidas a carvão, cediam metais. O processo era reversível, pois muitas vezes, mas nem sempre, o metal (por exemplo, o estanho), aquecido, cedia uma substância com aparência de terra. Dessa substância artificial de aspecto de terra (óxido, em linguagem moderna) o metal podia ser reobtido, aquecendo-se a terra com carvão. Uma terra pura, de tal espécie, podia chamar-se cal, sendo *calcinação* o processo de formá-lo pelo aquecimento de um metal.

Como deveriam ser ajustados um ao outro todos esses fatos, herdados da Idade Média? Pela introdução do princípio chamado flogístico, intimamente ligado ao velho elemento de ARISTÓTELES, o fogo intimamente ligado, sem jamais ter-se tornado clara a relação. Aos que buscavam clareza, parecia evidente, devia existir um princípio comum envolvido no processo de fabricação de metais variados a partir das suas cales e vice-versa. Portanto, chame-se a esse algo **flogístico**, foi o que efetivamente declararam. Quando uma cal se adicionava ao flogístico, tinha-se um metal; quando de um metal se retirava o flogístico, formava-se uma cal; em certo sentido, o flogístico era um princípio metalizante. Note-se a existência de uma hipótese de senso comum mais ou menos implícita nessa linha de raciocínio; com exceção do ouro, e, de vez em quando, de outros poucos metais, as cales, e não os metais, é que se encontravam na natureza. Logo, as cales eram os materiais mais simples, e a elas era importante acrescentar algo para torná-las metais. Visto serem tão semelhantes os metais, o *algo* era evidentemente o mesmo em todos os casos. Dar-lhe-emos o nome de flogístico, dizia BECHER, com o seu discípulo STAHL, numa série de livros publicados em 1703 - 1731. (DELA NINA, 1947: 44)

Lá estava uma chave para abrir um labirinto. Aceitaram-na imediatamente. Era um conceito que fornecia um padrão ao qual se podia ajustar uma grande série de fenômenos diversamente não relacionados. As substâncias eram ricas ou pobres em flogístico; afigurava-se fácil estabelecer isso. Que era o flogístico em si? Provavelmente nunca seria visto. As substâncias ricas em flogístico ardiavam facilmente e, na verdade, talvez fosse o fogo uma manifestação de flogístico, ou pelo menos devia trabalhar com ele. Para alguns, o fogo continuava a ser um elemento. O carvão era um material rico em flogístico que, aquecido com uma cal metálica, libertava o seu flogístico, cedendo-o

à cal, e fazendo um metal. O carvão ardia por si, parecendo que o flogístico era um fogo ou estava combinando com o ar. O enxofre, empregando a palavra no seu uso moderno, achava-se livre na natureza; ardia, uma vez aquecido, e cedia um ácido, o ácido vitriólico (ácido sulfúrico na atualidade). Evidentemente, aquele enxofre não passava de ácido vitriólico fortemente *flogisticado*; a queima libertava o flogístico e cedia o ácido.

Havia apenas um defeito muito simples em toda essa argumentação e o interessante é que o defeito foi conhecido e discutido por cinquenta anos, antes de a teoria do flogístico ficar abalada, e muito menos abatida. É uma bela ilustração do princípio da Tática e Estratégia da Ciência a que se fez referência no começo desta secção, isto é, o de que qualquer descobrimento científico deve corresponder à época. Já em 1630 (antes do nascimento de BOYLE) um francês, Jean REY, estudara a calcinação do estanho mostrando que a cal pesava mais do que o estanho do qual se formava. Mais do que isso, apresentara uma explicação muito em acordo com as idéias de Lavoisier 150 anos mais tarde, pois disse: “esse aumento de peso provém do ar que no recipiente se tornou mais denso, mais pesado, e de certo modo adesivo... ar esse que se mistura com a cal...e se agarra às suas diminutas partículas...” (CONANT, 1950:13, 16) BOYLE confirmou o aumento de peso dos metais na calcinação, em 1673, mas não acrescentou nenhum apoio à astuta adivinhação de REY (era pouco mais do que isso) quanto ao motivo. De fato, se fez alguma coisa foi levar os subseqüentes investigadores pelo caminho errado. Pelo menos em retrospecto parece que se houvesse continuado, com um pouco mais de ousadia, as suas próprias experiências, a teoria do flogístico talvez nunca tivesse sido proposta ou, se proposta, talvez jamais a houvessem aceitado seriamente. Entretanto, é facilimo imaginar que, mesmo um talento maior do que BOYLE, poderia ter descoberto o oxigênio, revelando o seu papel na combustão e

calcinação do século dezessete. Uma excessiva parte da Física, bem como da Química, jazia envolta em véus só lentamente retirados pelos esforços de inúmeros indivíduos.

Seja como for, BOYLE apresentou a hipótese de que o fogo, o princípio aristotélico, passara através das paredes do recipiente de vidro usado, combinando-se com o metal, proporcionando-lhe, destarte, peso. Não era, naturalmente, o mesmo que a teoria do flogístico formulada uma geração depois; em certo sentido, era o oposto, visto como, de acordo com Boyle, alguma coisa se *acrescentava* ao metal em calcinação, isto é, o fogo, ao passo que na teoria do flogístico alguma coisa, isto é, o flogístico, era *retirada*. Mas os escritos de BOYLE focalizaram a atenção sobre o calor e a chama (característico do fogo e da calcinação) mais do que sobre o ar que havia figurado na explicação de REY.

4.9. O DESCOBRIMENTO CIENTÍFICO DEVE CORRESPONDER À ÉPOCA:

As idéias de REY sobre o ar parecem ter se perdido nos 150 anos seguintes, mas não os fatos da calcinação. Sabia-se muito bem, em todo século dezoito, que uma cal pesava mais do que o metal, mas tal fato não era reconhecido como fatal à teoria do flogístico. Eis aí um ponto importante. Provará, acaso, a obtusidade dos filósofos experimentais da época, como pretendem fazer acreditar alguns escritores? Absolutamente não; demonstra apenas que, nas questões complexas da Ciência, é-se obrigado a tentar explicar uma variedade de fatos e a caldeá-los num esquema conceitual; um fato só não basta para arruinar o esquema. Discutindo o malogro de GALILEU e a feliz interpretação de TORRICELLI das bombas de elevação, refira-se ao princípio de que o esquema conceitual nunca é descartado só por causa de alguns fatos

obstinados com os quais não se concilia; um conceito ou é modificado, ou substituído, por outro, melhor, nunca abandonado, sem nada que o substitua.

Em 1770 não somente se sabia que uma cal pesava mais do que um metal de que se formava (o que significa que alguma coisa devia ser absorvida na sua formação), como também o próprio BOYLE, na década de 1660 a 1670, mostrou ser o ar necessário ao fogo. John MAYOW e Robert HOOKE, mais ou menos na mesma época, tinham escrito sobre a queima e a respiração dos animais em termos do ar “privado da sua força elástica pela respiração dos animais quase a mesma coisa que se verifica na queima de uma chama”. (KUHN, 1996:134) Stephen HALES, cinquenta anos mais tarde, falou a mesma linguagem. Mas tais homens se achavam muito à frente da sua época. Ao reler o que escreveram, vê-se, a despeito de palavras estranhas e idéias mal definidas, que haviam demonstrado não mais manter o fogo nem a vida o ar em que se tinha queimado material ou em que haviam respirado animais; além disso, mostraram haver uma efetiva diminuição do volume de ar nesses casos. Tudo isso parece forçar a correta explicação aos nossos olhos; não foi o que sucedeu com os químicos do século dezoito.

O ar que já não mantinha a combustão assim se tornara simplesmente porque, riquíssimo em flogístico, não conseguia absorver mais, declaravam os flogisticistas. Realmente, quando PRIESTLEY descobriu a maneira de preparar nitrogênio essencialmente puro, foi para ele natural considerá-lo um *ar* completamente *flogisticado*, uma vez que o nitrogênio não mantém a combustão semelhantemente, ao descobrir a maneira de preparar o oxigênio essencialmente puro pelo aquecimento do óxido vermelho de mercúrio, chamou-o de *ar desflogisticado*. Verificou que esse gás era como o ar comum, apesar de nele uma vela arder com mais brilho do que no ar

comum. Podemos seguramente concluir, disse PRIESTLEY, “que o ar mais puro é aquele que menos flogístico contém; que o ar é impuro (pelo que pretendo dizer que é inadequado à respiração, e para o fim de alimentar a chama) na proporção em que contém maior parte desse princípio” (ibid, 134). A carta foi lida à Royal Society em 25 de maio de 1775. E no mesmo ano, noutra carta, falou do seu oxigênio recentemente descoberto como “(ar) cinco a seis vezes melhor do que ar comum para os fins de respiração, inflamação e, creio, qualquer outro uso do ar atmosférico comum. Acreditando ter suficientemente provado que a aptidão do ar à respiração depende da sua capacidade de receber o *flogístico* exalado dos pulmões, essa espécie de ar pode ser chamado de ‘ar desflogisticado’” (ibid, 134)

4.10. DIFICULDADES EXPERIMENTAIS COM OS GASES:

O químico que leia os escritos dos flogisticistas aperta, desesperado, a cabeça, tendo a impressão de ser transportado ao mundo de Alice através do espelho! Mas se tiver paciência e estiver interessado, não tardará em reconhecer que grande parte da dificuldade veio da incapacidade dos experimentadores no manejo e caracterização dos diferentes gases. O fato ilustra, mais uma vez, o terceiro ponto dos princípios esboçados no último capítulo, a dificuldade de experimentação. Metais e sales, substâncias inflamáveis como o enxofre, o carvão e o fósforo, podiam ser reconhecidos e manipulados pelos químicos do século dezoito, visto tratar-se de sólidos. Mesmo alguns líquidos, como a água e o mercúrio eram coisas perfeitamente definidas. Mas dois gases, nenhum dos quais alimentava o fogo, como o nitrogênio e o dióxido de carbono, eram muitas vezes irremediavelmente confundidos, o mesmo sucedendo com dois que ardiam, como o hidrogênio e o monóxido de carbono. Praticamente todos os gases se

assemelham, salvo os poucos coloridos. Comprimem-se e estão sujeitos à expansão térmica quase no mesmo grau. As suas densidades, isto é a massa de uma unidade de volume, diferem, mas isso era coisa de difícil determinação naquela época. Com efeito, no século dezoito, a distinção entre *peso* e *densidade*, confundia-se frequentemente, mesmo no caso de sólidos e líquidos. As propriedades químicas de cada gás são características e difere o modo pelo qual se prepara cada gás; e foram tais diferenças que conduziram, por fim, ao desmanhamento de uma parte da meada.

Para compreender as dificuldades dos químicos de 225 anos, pode-se imaginar um estudante do primeiro grau que receba, no laboratório, garrafas de ar, de oxigênio, de nitrogênio, e outra contendo ar saturado de vapor de éter, e que deva dizer se são idênticos, ou não, todos os *ares* ou gases das garrafas. O ar contendo o vapor de éter (efetivamente ainda ar em grande parte) será o único imediatamente reconhecido como distinto. O estudante não sabe o que fazer para examinar esses gases, a não ser olhando-os, cheirando-os, ou verificando a sua solubilidade na água. E da época de BOYLE à de PRIESTLEY, os experimentadores, na sua maioria, se encontravam na mesma situação. Falavam de diferentes *ares*, mal sabendo, porém, se as diferenças eram reais ou devidas à presença de alguma impureza. Assim, PRIESTLEY³¹, escrevendo em 1777, dizia:

“Van HELMONT e outros químicos que lhe sucederam conheciam a propriedade de alguns vapores para sufocar e extinguir uma chama, e a de outros de serem inflamados... mas não tinham idéia de que as substâncias (se é que sabiam, realmente, que se tratava de *substâncias*, e não simplesmente de *propriedades e estados* de corpos que produziam aqueles efeitos) eram capazes de ser apresentadas separadamente em forma de *vapor permanentemente elástico*... como não sabiam o que constitui o *cheiro*. De fato, nada sabiam de ar nenhum, que não fosse o *ar comum*, e portanto não aplicavam o termo a nenhuma outra substância...” (CONANT, 1947:112)

A história do estudo dos gases abrange um período de cem anos a partir da época de BOYLE, e nesse período se efetuou importante número de melhoramentos em

processos, focalizados por PRIESTLEY, o qual, em 1772, levou a efeito extensas e originalíssimas experiências com *ares*, melhorando, ainda mais, vários processos de manipulação desses ares ou gases, o que simplificou bastante as experiências. Antes do trabalho de PRIESTLEY, conheciam-se apenas *três diferentes ares*. Em alguns anos, ele descobriu mais onze, incluindo-se o oxigênio. Aí está outra ilustração da importância dos processos, embora aqui exista uma mudança mais evolucionária do que revolucionária.

Apesar de PRIESTLEY ser a principal figura na extensão do conhecimento dos gases, a sua obstinada recusa a aceitar as conseqüências dos seus próprios descobrimentos já foi mencionada antes. Não é preciso, neste capítulo, discutir PRIESTLEY nem LAVOISIER como indivíduos, embora o professor, no uso do histórico da combustão, deseje certamente assim fazer. Nem tão pouco propõe uma divagação examinando os problemas prioritários envolvidos no trabalho desses dois homens e do químico sueco, SHEELE, que também descobriu o oxigênio. Tais questões caem no âmbito do historiador da Ciência. Para os fins do presente trabalho, eis as questões importantes: por que se demoraram tanto os cientistas do século dezoito para trilhar o caminho certo? E por que houve tão grande número de obstinados viajantes no caminho errado depois do descobrimento do certo?

4.11. LAVOISIER E OS OBSTINADOS FATOS DE PRIESTLEY:

Para os alunos dotados de certo conhecimento anterior da Química, por exemplo de um bom curso de segundo grau, o estudo dos últimos dias da teoria do flogístico poderia ser compensador, uma vez que a controvérsia entre LAVOISIER e PRIESTLEY³², além ilustrar com que tenacidade um indivíduo capaz pode agarrar-se a

uma posição sem esperança, ilustra igualmente a ousadia com a qual prossegue o inovador. Mesmo que uns poucos fatos pareçam pender para o lado oposto, ele continua as suas novas idéias tal que o seu adversário conservador mantém firmemente os seus pareceres, a despeito de prova contraditória. Nessas vicissitudes de guerra, experiência das mais comuns na Ciência embora em geral em setores muito restritos e com limitado significado, o inovador nem sempre está com a razão. É preciso esclarecer perfeitamente esse ponto. Vários históricos, para isso, valeriam para uma revista. Estariam bem alguns exemplos dramáticos em que um indivíduo corajoso apresentou uma nova idéia baseada em fatos alegados os quais se revelaram errôneos ou erroneamente interpretados.

O registro de LAVOISIER foi o oposto, porque os fatos por ele ignorados não eram absolutamente fatos. Os principais pontos de PRIESTLEY contra os pareceres de LAVOISIER baseavam-se na identificação errada de dois gases diferentes, o que, mais uma vez, frisa as dificuldades de experimentação. Dois gases, ambos inflamáveis, o monóxido de carbono e o hidrogênio, foram confundidos naquela época, até pelos grandes experimentadores. Supondo a sua identidade, PRIESTLEY pôde pedir a LAVOISIER que explicasse fenômenos verdadeiramente inexplicáveis de acordo com a nova química, mas que podiam ser acomodados na teoria do flogístico cada vez mais torcida para conformar-se aos novos descobrimentos. Só depois de muito tempo após a execução de LAVOISIER em 1794 foi que se acertou a relação entre os dois gases. Logo, LAVOISIER nunca pôde retrucar aos argumentos mais importantes de PRIESTLEY contra a sua doutrina. Ignorou meramente os fatos alegados, mais ou menos como este ignorou a inexplicada aquisição de peso na calcinação. Cada um deles acreditava, sem dúvida, que se descobriria um jeito de eliminar a dificuldade. As

esperanças de LAVOISIER, não as de PRIESTLEY, revelaram-se bem fundadas. Assim é o curso da Ciência. As vezes, resulta serem sabiamente ignoradas, outras não sabiamente, dificuldades com um conceito ou esquema conceitual. Supor, com alguns que escrevem sobre o método científico que uma teoria científica permanece de pé, ou cai, em resultado de uma experiência, é não compreender a Ciência.

O estudo da queda da teoria do flogístico constitui, pois, mais do que um só histórico; constitui uma série relacionada de históricos. O conhecimento que o aluno possui de Química ou a disposição a tomar tempo para obtenção de tal conhecimento seria o fator limitativo no uso desse material. Mesmo sem um prévio estudo de Química seria possível empreender uma proveitosa excursão por tão complicada porção de história científica. Dessa excursão adviria uma apreciação mais profunda dos dois princípios aos quais referiu-se antes, neste capítulo. Estudada a teoria do flogístico, ninguém deixaria de compreender que velhos conceitos apresentem obstáculos ao desenvolvimento de novos; esboçado o curso da história das experiências com gases e calcinação, ninguém poderia deixar de compreender que os descobrimentos científicos devem ajustar-se às épocas, para serem frutíferos. Além disso, outros princípios da Ciência surgem constantemente através da história algo comprida: a influência de novos processos, as dificuldades de experimentação, o valor da experiência controlada, a avaliação de novos conceitos a partir da experiência, tudo isso serão ilustrado, mais uma vez, os que tem paciência para estudar um capítulo estranho e freqüentemente negligenciado da história da Ciência.

4.12. CERTOS PRINCÍPIOS DA TÁTICA E ESTRATÉGIA DA CIÊNCIA:

Nas páginas seguintes haverá um breve sumário dos princípios desenvolvidos, bem como referência ao histórico ou históricos que ilustram cada um deles.

4.12.1. Novos Conceitos Evolvem das Experiências ou Observações e Produzem Novas Experiências ou Observações:

- a) Os novos conceitos podem resultar de experiências ou observações sistemáticas. É o que ilustra o desenvolvimento por BOYLE da idéia do ar como fluido extremamente elástico (capítulo 3).
- b) Os novos conceitos podem resultar do estudo das dificuldades inerentes a um velho conceito, o conflito entre o esquema conceitual e certos fatos obstinados. Tais fatos podem ser bem conhecidos mas não ainda explicados. Os históricos são: a limitação à idéia do horror da natureza ao vácuo implícita na incapacidade de a bomba de água elevar água a mais de dez metros (capítulo 3); a incapacidade de a teoria do flogístico explicar o aumento de peso de um metal na calcinação (capítulo 4).
- c) Os novos conceitos podem resultar de descobrimentos acidentais seguidos até o fim. O histórico é o trabalho de GALVANI e VOLTA que deu como resultado a invenção da pilha elétrica (capítulo 4).
- d) Os novos conceitos podem originar-se, por uma série de sucessivas aproximações, de outros, antigos, nunca sendo a modificação drástica a ponto de constituir um alijamento completo da idéia mais antiga. Desse modo a moderna teoria cinética dos gases nasceu do primeiro conceito feito por BOYLE do ar como fluido extremamente elástico. Semelhantemente, os

atuais conceitos de eletricidade são evoluções das idéias de VOLTA. Outrossim, a explicação da combustão por LAVOISIER mantém-se hoje com leves ampliações e modificações.

- e) Uma hipótese ou conjectura pode ser uma hipótese atuante limitada como se verifica quase todos os dias no laboratório no curso de uma série de experiências planejadas, GALVANI, em certa oportunidade, deve ter formulado a hipótese de que a máquina elétrica era desnecessária para a contorção da perna de rã. Investigado, o fato provou-se correto (capítulo 4). Esse tipo de hipótese pode dizer respeito até a questões triviais como o fio partido ou o mau contato que invalida uma experiência elétrica. Em geral não há registro da hipótese atuante incorreta dessa espécie. Mas o número de tais hipóteses, durante os últimos trezentos anos, deve constituir uma legião.
- f) A hipótese ou conjectura pode ser em grande escala, e nesse caso diz-se que é um esquema conceitual. Pode ser infrutífera e breve, como no caso da explicação, por GALILEU, da incapacidade da água se erguer por mais de 10 metros numa bomba de elevação (capítulo 3) ou no caso do conceito da eletricidade animal de GALVANI (capítulo 4). Pode ser longa e útil, como prova o conceito da atmosfera de TORRICELLI (capítulo 3), da mola de ar de BOYLE (capítulo 3), da corrente elétrica saída de uma pilha (capítulo 4), do flogístico (capítulo 4), do moderno conceito de combustão (capítulo 4).
- g) Um novo conceito pode ser revolucionário e, após a sua formulação, um sem-número de fatos antigos pode acomodar-se no novo esquema, e podem ser descobertos numerosos fatos novos. O conceito da atmosfera de

TORRICELLI constitui excelente exemplo (capítulo 3). O conceito do papel do oxigênio na combustão, de LAVOISIER, constitui outro exemplo (cap. 4).

- h) É importante distinguir entre um novo conceito e a *explicação* de tal conceito. Bom exemplo é o contraste entre a idéia do ar como fluido extremamente elástico, de BOYLE, e vários esquemas da sua época que tentavam explicar esse conceito em termos de vórtices ou partículas dotadas de qualidades semelhantes às das molas. Na Física Moderna encontram-se as mesmas distinções mas em forma muito mais complicada quando se discute a teoria eletromagnética da luz. A palavra teoria, usada que é tanto para significar conceito como para significar a sua explicação, é uma palavra ambígua.
- i) O descobrimento científico tem de corresponder à época. O histórico é o descobrimento do aumento de peso do estanho na calcinação, de REY, e as repetidas observações de natureza semelhante, cujas implicações foram ignoradas por 150 anos (capítulo 4).
- j) Um conceito bem estabelecido pode revelar-se barreira para aceitação de outro, novo. Se o esquema conceitual é extremamente satisfatório para os que dele se valem, nem alguns velhos fatos que não podem ser conciliados, nem alguns novos farão que o conceito seja abandonado. O histórico é a persistência da teoria do flogístico como explicação da combustão (cap. 4).
- l) Os velhos conceitos podem ser mantidos a despeito da alegação de fatos em contrário. O histórico são os últimos dias da teoria do flogístico (capítulo 3). Um novo conceito pode ser levado para a frente pelos seus proponentes, a despeito da alegação de fatos em contrário. O histórico é a incapacidade de

LAVOISIER para explicar certos fatos apresentados por PRIESTLEY, o qual, ficou provado mais tarde, estava errado (capítulo 3).

- m) Os progressos nas artes práticas não são os mesmos que os progressos na Ciência. Não há desenvolvimento de novos conceitos ou esquemas conceituais; semelhantemente, o amontoamento de dados não constitui progresso na Ciência.

4.12.2. As Observações Significativas são Resultado de *Experiências Controladas* ou Observações; Não se Devem Descuidar as Dificuldades de Experimentação:

- a) Sempre há numerosas variáveis numa experiência. A incapacidade de identificar as variáveis significativas e controlá-las, dentro de limites viciará o resultado. Os históricos que ilustram tal ponto em particular são: as primeiras medições que conduziram à Lei de BOYLE (capítulo 3), as experiências de GALVANI e VOLTA (capítulo 4), e o estudo da calcinação dos metais (capítulo 4).
- b) Muitas vezes não é fácil responder a uma questão simples, sem ambigüidade, por experiência. Os históricos são: as tentativas de estabelecer se o som era, ou não, transmitido pelo vácuo, e as experiências para determinar se a água se expande no vácuo (capítulo 3).
- c) Quase todas as experiências implicam em medições. Em tais experiências, se os resultados devem ter significado, os valores numéricos obtidos devem ter certa relação com as variações acidentais de tais números. O histórico é a calcinação do estanho e a queima do enxofre e do fósforo (capítulo 4).

- d) As observações ou interpretações de experiências, erradas, persistem freqüentemente, confundindo o desenvolvimento de novos conceitos. O histórico é a falsa identificação do monóxido de carbono com o hidrogênio (capítulo 4).

4.12.3. Os Novos Processos são Resultado de Experimentação e Produzem Outra Experimentação:

- a) Os novos processos de experimentação podem ser revolucionários. O novo dispositivo pode representar notável inovação e conduzir a muitos descobrimentos. Os históricos são: a introdução do uso do mercúrio na experimentação, de TORRICELLI, a invenção do barômetro, a produção do vácuo (capítulo 3); a invenção da bomba de ar para a produção de vácuo (capítulo 3) de VON GUERICKE e BOYLE; a invenção da pilha elétrica de VOLTA (capítulo 4).
- b) Os novos processos podem desenvolver-se gradativamente com os melhoramentos de aparelhos e métodos. Atingindo certo grau de exatidão ou conveniência, é possível a realização de novas observações significativas. O histórico é a manipulação e a identificação dos gases (capítulo 4).
- c) O novo processo pode surgir do estudo de uma arte prática. O histórico é o desenvolvimento da bomba de ar, partindo das bombas de água do tipo de elevação ou sucção.
- d) O novo processo pode desenvolver-se para o fim de exploração de novos fenômenos; os históricos são: o melhoramento da bomba de ar por BOYLE

(capítulo 3), e o desenvolvimento de processo para a manipulação e identificação dos gases por PRIESTLEY (capítulo 3).

- e) O novo processo pode nascer de um descobrimento acidental seguido até o fim. É essencialmente a história da invenção da pilha elétrica por VOLTA (capítulo 4). Outra ilustração, melhor, é oferecida pelo estudo do descobrimento dos raios X por ROENTGEN (capítulo 4).

CONCLUSÃO

A INTERAÇÃO ENTRE CIÊNCIA E SOCIEDADE

Os numerosos tópicos que poderiam ser apresentados sob este título não são, falando-se no sentido estrito, princípios da Tática e Estratégia da Ciência. Representam, antes, certos fenômenos sociais que caracterizam o crescimento da Ciência nos últimos três séculos. Para um curso do tipo considerado neste trabalho, o tópico central bem poderia ser *O Crescimento da Ciência como Atividade Social Organizada*. Com esse tema no espírito, o professor poderia relacionar cada histórico a um padrão de desenvolvimento. Mostraria como os primeiros investigadores dos fenômenos físicos, químicos e biológicos foram, em grande medida, trabalhadores isolados, e como no meio do século dezessete, em diferentes países, tais amadores se reuniram para formar sociedades científicas. O papel de tais sociedades nos anos seguintes seria então estudado, dando-se especial relevo à crescente literatura de Ciência e à gradativa evolução da investigação científica como ocupação profissional.

Evidentemente, existe enorme amplitude no modo pelo qual poderia ser apresentado esse aspecto do curso, e quanto tempo seria dedicado às fases dos históricos que ilustram a relação entre Ciência e sociedade. Por exemplo, considere-se o papel das universidades. Tem-se a inclinação de crer que é extremamente compensador o estudo da história dessas instituições, do século dezesseis ao século vinte.

O fato de, com algumas exceções, o progresso da Ciência pura dever pouco ao trabalho de universitários do meio do século dezessete ao meio do século dezenove nem por isso torna menos significativo o relato. Tal fato necessitou do estabelecimento de várias outras instituições para o progresso da Ciência, e naturalmente aumentou bastante

a importância das sociedades científicas. Como a história das universidades se entrelaça tão intimamente à história da religião organizada nesse mesmo período, o estudo dos centros acadêmicos de ensino poderia ser útil como foco da discussão da relação existente entre o desenvolvimento da Ciência e a história da religião em vários países. Do mesmo modo, as universidades se afigurariam cabides especiais aos quais se penduraria uma discussão de problemas epistemológicos e cosmológicos. Enfim, em torno da história de algumas universidades, pode agrupar-se certo número de questões que relacionam o crescimento da Ciência pura ao clima cambiante de opinião.

Quando se considera a relação entre ciência pura e ciência aplicada e a existente entre elas, de um lado, e a indústria e o comércio, de outro, imediatamente se percebem no ar sinais tempestuosos da atual controvérsia. É importante que o professor frise haverem alguns modernos escritores declarado ser a Ciência *produto de condições econômicas da sociedade, e a sua função social beneficiar as classes dirigentes da sociedade*; e esse grupo reduziu ao mínimo toda distinção entre ciência pura e ciência aplicada ou entre Ciência e Tecnologia. Por outro lado, tais contendas foram vigorosamente atacadas por representarem uma falsa interpretação da História e um ideal pernicioso para o futuro. Como os ecos dessa controvérsia chegam à imprensa diária, é certamente desejável que o aluno seja encaminhado aos escritos dos dois lados opostos. Nesse ponto, importa muito uma referência à aplicação da Ciência à Medicina. A interpretação entre teoria e prática e entre a ciência pura e a ciência aplicada pode ser ilustrada em tal setor sem referência aos fatores econômicos já frisados demais por alguns no relato da história do desenvolvimento da Física, da Química e da Tecnologia.

O valor da inclusão de outro material histórico tirado da história política, social e cultural dos últimos três séculos pode ser posto em dúvida. De certo, não tem

importância nenhuma para a compreensão dos princípios aqui esboçados. Mas do ponto de vista estritamente pedagógico, pensa-se que, se introduzido habilmente e em pequenas quantidades, se revelaria digno do tempo exigido.

É necessário lembrar que uma das premissas do argumento é a de que os estudantes em apreço não seriam futuros cientistas, nem médicos, nem engenheiros. Seriam estudantes universitários interessados, sobretudo, em Humanidades e Ciências Sociais. Para muita gente moça, os fatos da História (como em geral se emprega a palavra) são dotados de interesse mais duradouro que os fatos da Ciência. Portanto, o seu interesse nos históricos poderia ser estimulado fazendo-se referência a famosos estadistas, soldados e escritores que foram contemporâneos, e, deste ou daquele modo, ligados aos cientista ou à sua obra. Nos casos em que a ligação foi íntima ou em que os canais pelos quais flui a indagação científica foram condicionados por forças e acontecimentos políticos, o enquadramento histórico do caso se imprimirá duradouramente no espírito do estudante.

Mas o bom ensino depende, é claro, do professor. A intenção é apenas esboçar um método de acesso a um importante problema, e não deter-se demais na apresentação de especificações antecipadas. Ninguém pode ser dogmático sobre um curso que nunca foi oferecido até agora. Resta esperar que um grupo de hábeis professores possa, em diferentes faculdades, achar algum mérito na proposta apresentada. Caberá a eles incorporarem as idéias totalmente ou em parte, como acharem conveniente, num padrão particular de trabalho universitário. Dentro dos limites um pouco estreitos do material atualmente encontrado em traduções, poderão escolher históricos à vontade.

Em toda parte, percebe-se hoje um renovado interesse na experimentação com novos métodos de ensino da Ciência como parte de uma educação geral.

Este trabalho foi escrito com a esperança de poder contribuir, em medida reduzida, é verdade, para o apressamento dessa urgente tarefa.

NOTAS

1. DUHEM expressa assim o sentido do recurso à história da Ciência: “Não temos diante dos nossos olhos um estudante que, na infância, ignorava todas as teorias físicas e que, na idade adulta, alcançou a plena consciência de todas as hipóteses sobre as quais repousam essas teorias? Esse estudante, cuja educação se está perseguindo há milênios, é a humanidade. (...) O método legítimo, seguro, fecundo para preparar um espírito para a colher uma hipótese física é o método histórico” (DUHEM, 1981:408-409).
2. A história da Ciência tem também figurado entre as preocupações daqueles que pesquisam o ensino de ciências com o objetivo de oferecer uma forma de tratar a história da Ciência para além das “ilustrações” biográficas e anedóticas da maioria dos livros didáticos. E assim “apresentar os conteúdos numa perspectiva histórica e cultural, e mostrar que as idéias da Física têm uma tradição assim como modos de adaptação e mudança evolucionárias” (RUTHERFORD, HOLTON e WATSON, Project Physics Texts, apud BRUSH, 1989:61). Se nas analogias o homem se apropria da história da Ciência no seu plano mais geral, quando recorre aos próprios relatos históricos para contextualizar a introdução dos conteúdos das aulas de ciências, com vistas a reconstruir o enquadramento intelectual, cultural e social em que tais teorias, conceitos e experimentos surgiram, nesse caso, as mudanças científicas devem ser analisadas segundo suas especificidades e não apenas em sua dinâmica geral. As reflexões apresentadas, embora possam servir a outras abordagens ou níveis de abordagens que não aquele das analogias, é a este que se destinam e ao qual pretendem ser imediatamente úteis.
3. Utilizar-se-á a partir daqui o termo “mudança científica” como sinônimo de “mudança conceitual”. Trata-se apenas de uma troca de palavras para manter aquela que foi consagrada pelo uso entre os autores citados a seguir. Evidentemente, o “científico” tem um sentido mais amplo que o “conceitual”. O primeiro denota, no seu uso comum, algo além do segundo que podemos chamar de “empírico” (predições, medidas, observações, etc.). Entretanto, esta análise pretende também mostrar que mesmo o “empírico” é em última instância intrinsecamente “conceitual”.
4. Note que também aqui pode-se identificar uma orientação construtivista: os critérios não são definidos a priori; ao contrário, fundamentam-se numa análise circunstanciada dos padrões que orientam a escolha de teorias na prática real da Ciência. A história da Ciência, como descrição-explicação desses padrões que de fato intervêm nas decisões dos cientistas, torna-se um meta-critério, capaz de avaliar a eficácia e a plausibilidade dos critérios definidos pelos filósofos da Ciência como reguladores da decisão entre teorias rivais.
5. Essa “medida” é uma questão bastante polêmica. KUHN considera que esses fatores não são apenas não-científicos, como também devem ser extra-rationais (1975:193-199). LAUDAN, por sua vez, afirma que fatores não-científicos intervêm nessas decisões, embora isso não constitua qualquer indício de não-racionalidade, pois a ciência não esgota o âmbito das crenças racionais (1977:61). E finalmente, LAKATOS, que embora admita que elementos não sujeitos a críticas (metafísicos) sejam parte integrante das teorias científicas, não considera que avaliações possam ter por base esses elementos, mas apenas aqueles que traduzam o conteúdo empírico das teorias (1979:163-169, 227-228).

6. Essa formulação é tirada de LAUDAN et alli (1986), onde tais estruturas conceituais são chamadas "guiding assumptions". Os autores identificam-nas na obra de KUHN ("paradigmas" ou "matrizes disciplinares"), FEYRABEND ("teorias globais), LAKATOS ("programas de pesquisa") e LAUDAN ("tradições de pesquisa").
7. Cf. nota 6.
8. Cf. nota 6.
9. Embora LAUDAN insista que os problemas empíricos não sejam os únicos envolvidos nas avaliações de teorias. Com efeito, LAUDAN critica LAKATOS (e também KUHN) por "não ter privilegiado seriamente as dimensões não-empíricas do debate científico"(1977:66).
10. A noção de problema empírico para LAUDAN implica a mesma tese impregnacionista da experiência empírica vista anteriormente: "Situações que geram problemas dentro de um contexto de investigação *não necessariamente* gerarão dentro de outros. Portanto, para que algo seja tomado como um problema empírico dependerá *em parte* das teorias que possuímos" (1977:15). O sentido da primeira restrição ("não necessariamente") é a exclusão da necessidade defendida pelos positivistas de as teorias rivais voltarem-se para os mesmos problemas. Por outro lado, o sentido da segunda ("em parte") é a rejeição da tese da "incomensurabilidade entre paradigmas", contra a qual LAUDAN sustenta que "é possível mostrar que as teorias rivais direcionam-se ao mesmo problema" (idem:143).
11. Karl PEARSON em *The Grammar of Science* (A Gramática da Ciência) continua dizendo: "creio que se fará mais, colocando o ensino de ciência pura ao alcance de todos os nossos patrícios, do que com qualquer número de escolas politécnicas que se dediquem à educação técnica, que não supera o nível de ensino manual". Isso foi escrito em 1892. Pouca gente, familiarizada com a educação brasileira de hoje e examinando a situação relativamente livre de preconceito profissional, subscreveria as afirmações de Pearson, quanto ao valor do ensino da ciência elementar. O ensino da Ciência, isto é, Física, Química e Biologia, divulgou-se amplamente em nossas universidades. Admite-se, atualmente, que o ensino das Ciências é essencial (e com razão), mas os argumentos em prol da continuação extensão e melhoramento desse ensino raramente são expressos em termos como os usados por Pearson na *The Grammar of Science*. Pelo contrário, o ensino elementar das Ciências justifica-se, em geral, apelando-se para o fato evidente de o homem estar perdido no moderno mundo da Tecnologia e da ciência aplicada, se não possuir ao menos um conhecimento rudimentar dos fatos básicos e dos princípios da Física, da Química e da Biologia. Mas constitui um problema saber a maneira pela qual esses fatos básicos e princípios devem ser transmitidos aos educandos.
12. Para que não tenham a impressão de que neste ponto descuidou-se o primitivo desenvolvimento da moderna astronomia, por um lado, e, por outro, as primitivas ciências médicas, apressa-se em registrar o conhecido significado das duas atividades no desenvolvimento da ciência moderna. A cadeia de eventos que liga a observação de Ticho BRAHE (1546-1601) a COPÉRNICO, KEPLER (157 -1630), e NEWTON, foi apresentada ao público em formas tão numerosas que constituem literalmente um conhecimento comum. Não é verdadeiro isso no que tange ao trabalho de VESÁLIO (1514-1564) e à grande linhagem dos anatomistas de Pádua que inclui o seu discípulo FALÓPIO (1523-1562) e outro detentor, subsequente, da cátedra de Anatomia, FABRIZOU ou FABRICIUS (1537-1619), o qual ensinou por sessenta e quatro anos e, entre os seus discípulos, contou com William HARVEY (1578-1657). A publicação da grande obra sobre a circulação do sangue, de autoria de HARVEY, em 1628, constitui um dos marcos da Ciência do século dezessete.
13. GALILEU, é sabido, quando jovem, tirou inspiração e idéias da leitura de ARQUIMEDES; desse fato se pode argüir ter sido grande o papel do renascimento do estudo na estimulação da Ciência, pois nos é dado duvidar de uma tradução latina do Grego tivesse ido parar nas mãos de um homem da inclinação e do talento de GALILEU trezentos anos antes. A primeira

tradução latina de ARQUIMEDES foi feita por Guilherme de MOERBEKE entre 1215 e 1286 e publicada por TARTAGLIA em 1543.

14. Mais importante, porém, do que o contato com o mundo antigo ou até a crescente divulgação de dados devida ao invento da imprensa foi, provavelmente, o espírito de aventura intelectual tão característico das repúblicas italianas no apogeu. A história de BRUNELLESCHI (1377-1446) narrada por VASARI (1511-1574) sempre pareceu resumir o fervor da curiosidade e energia criadora da Renascença que, eventualmente, se manifestou em investigação científica. Ei-la “Certa manhã, alguns meses após o regresso de Filippo achava-se na Piazza de S. Maria del Fiore com Donato e outros artistas, discutindo antigas esculturas, e Donato contava como... fizera uma viagem a Oriveto... e como, ao passar, depois, por Cortona... viu um notável sarcófago antigo, de mármore, com um baixo-relevo, coisa rara na época... e tão inflamado Filippo do ardente desejo de contemplá-lo, como estava, com o manto, o capuz e tamancos, deixou-os sem proferir palavra... rumando para Cortona, levado pelo amor e afeto à arte”. VASARI, *Vidas dos Pintores* (Everyman, ed. 1927), p. 276.
15. Relativamente também a esse ponto, escreve Charles SINGER: “Os começos do estudo das plantas se devem a uma feliz combinação de estudo humanístico, arte renascentista e aperfeiçoamento da arte de imprimir. O mesmo é verdadeiro do estudo do corpo animal”. *A Short History of Biology* (OXFORD, 1931) (Breve História da Biologia).
- Até certo ponto um novo interesse por questões práticas muda o foco da atenção do homem da Renascença. A citação favorita para apoiar tal opinião vem das primeiras linhas do *Duas Novas Ciências*, de GALILEU, onde um dos interlocutores diz: “A constante atividade que vós, venezianos, empregais no vosso famoso arsenal sugere ao espírito estudioso um grande campo de investigação... todos os tipos de instrumentos e máquinas vão sendo construídos por numerosos artesãos, entre os quais deve haver alguns que, em parte por experiência herdada, em parte pelas suas próprias observações, se tornaram extremamente hábeis e peritos na explicação”. Ao que responde outro interlocutor: “Tendes toda razão. Sim, eu próprio, sendo curioso por natureza, visito frequentemente este lugar pelo mero prazer de observar o trabalho dos que, em virtude da sua superioridade sobre outros artesãos, chamamos de “homens de primeira plana”. A conversação com eles muitas vezes me tem ajudado na investigação de certos efeitos, incluindo não somente os que são notáveis, senão também os que são recônditos e quase incríveis”. *Diálogos Relativos a Duas Novas Ciências*, por Galileu GALILEI (Evanston and Chicago, 1939), p.1 (o livro foi publicado pela primeira vez em Leyden, em 1638).
16. “Quando a experiência tiver claramente exibido tais fatos e a Ciência os tiver disposto em ordem econômica e evidente, não há dúvida de que os *compreenderemos*. Sim, porque outra “compreensão”, que não o domínio mental de fatos, jamais existiu. A Ciência não cria fatos de fatos, mas simplesmente *ordena* fatos conhecidos”. Ernst MACH, *Popular Scientific Lectures* (Preleções Científicas Populares) J.J. MCCORMACK (Chicago, 1895), p. 211.
17. A citação é de Ernest MACH, *History and Root of the Principle of the Conservation of Energy* (História e Raiz do Princípio de conservação de Energia), escrita em 1872. Tradução inglesa de Jourdain (Chicago, 1901), p. 56:
- “A teoria newtoniana de gravitação, ao aparecer, importunou quase todos os investigadores da Natureza por se fundar numa ininteligibilidade incomum. Tentou-se reduzir a gravitação a uma pressão e impacto. Atualmente, a gravitação já não importuna ninguém; tornou-se uma ininteligibilidade *comum*”.
18. Algumas das dificuldades que acompanham o uso da palavra progresso são apresentadas num interessante simpósio de Progresso Social que inclui escritos de L. J. HENDERSON, Crane BRINTON, E. B. WILSON. *Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences*, LXXIII (1940), 457-472.

19. O clássico nesse assunto é, naturalmente, *The Idea of Progress* por J. B. BURY (Londres, 1920).
20. Com referência à definição de Ciência e à inclusão de material de casos para as Ciências Sociais no curso proposto, desmente-se toda intenção de arvorar-se a profeta no tocante ao futuro curso de estudos sobre o homem e a sociedade. Naturalmente, pode-se definir arbitrariamente a palavra Ciência de tal modo que se excluam todas as “Ciências Sociais”, ou se incluam todas as fases do trabalho dos cientistas sociais. Haverá méritos numa definição como a sugerida, pois focaliza a atenção nos aspectos das Ciências Naturais que mais tem caracterizado o crescimento fenomenal dos três últimos séculos. Não inclui nem exclui nenhuma das disciplinas habitualmente classificadas sob o nome de Ciência Social. Pelo contrário, sugere que certas porções de muitas, se não todas, essas disciplinas podem cair no campo da definição, ampliando-se constantemente as zonas assim abarcadas. “Se a analogia com o crescimento das Ciências Naturais pode ser válida, os que atualmente são filósofos sociais estão preparando o terreno para os futuros cientistas sociais, de maneira comparável ao trabalho dos primeiros filósofos relativamente aos fenômenos naturais.
21. ORNSTEIN. *The role of scientific societies* (O Papel das Sociedades Científicas), p. 32
22. Não pode haver dúvida de que GALILEU tinha firmemente no espírito o fato de ser o ar um “meio ponderável”. Ele foi um dos pioneiros no desenvolvimento do novo conceito (um completo relato da história da história de tal conceito pode ser encontrado no *Mechanics* de MACH e também em “Le Père Marin Mersenne et la pesanteur de l’air”, de P. Duhem, *Revue Générale des Science*, XVII, 769-782, 809-817, 1906).
23. WOLF, p. 93, o qual diz: “Otto VON GUERICKE construiu um barômetro de água, mas não se tem certeza se independentemente ou emulando TORRICELLI (*Experimenta Nova*, etc. 1672). Verificou ele a possibilidade de, por meio de um recipiente esvaziado de ar, levantar água por sucção, do nível do chão ao terceiro andar de sua casa, mas não ao quarto”.
24. A autoridade sobre a vida e a obra de Robert BOYLE foi o professor John FULTON, de Yale, cuja bibliografia contém não somente um relato bibliográfico dos escritos mais importantes de BOYLE, senão também uma fonte de informações relativas ao feito de BOYLE e ao estado geral da Ciência do século dezessete.
25. No que diz respeito à origem das suas idéias sobre as bombas de ar, BOYLE escreveu o seguinte:
 “... notando por cartas provenientes de outras pessoas talentosas, em Paris, que diversos Virtuosi, durante o exame do interesse do ar, tudo faziam para impedir a queda do mercúrio, na famosa experiência sobre o vácuo, achei que não podia satisfazer o vosso desejo, de maneira mais própria e oportuna, do que continuando e tentando desenvolver a ilustre experiência de *Torricellius*...”.
 Citado dos *Collected Works* (Londres, 1772), vol. I, “Spring and Weight of the Air”, carta no começo do livro “ao Lorde de Dungarvan”.
26. A interpretação marxista do desenvolvimento da Ciência é apresentada em sua forma extrema em *Science at the crossroads* (Ciência Nas Encruzilhadas), KNIGA, 1931; esses ensaios, particularmente o de HESSEN sobre NEWTON, proferido no Congresso Internacional da História da Ciência, na Inglaterra, em 1931, parecem ter influenciado enormemente em escritores como J. G. CROWTNER (*Social Relations of Science*, Londres 1939) e J. D. BERNAL (*The Social Function of Science*, Londres 1939). A controvérsia levou à formação de uma “Society of Freedom in Science” (Sociedade de Liberdade na Ciência), na Inglaterra.

27. Sobre a relação entre o Puritanismo e a evolução da ciência experimental, veja-se “Ciência, Tecnologia e Sociedade no Século Dezesete na Inglaterra” por R. K. MERTON, *Osiris* IV (1938), 414-470; e os escritos sobre a História da Ciência por Dorothy STINSON (em particular o *Bulletin, Institute of the History of Medicine*, III (Maio de 1935), p. 321.
28. Luigi GALVANI (1737-1798), professor de Medicina em Bolonha.
29. A afirmação de SWAMMERDAM pode ser encontrada em POTAMIAN-WALSH, p.144.
30. A citação de VOLTA é tirada da sua carta de 20 de março de 1800 a Sir Joseph BANKS.
31. Citações tiradas de A. N. MELDRUM, *The Eighteenth-Century Revolution in Science* (Calcutá, 1930), cap. V. Para um relato mais completo e uma bibliografia, ver também T. S. KUHN, *The Historical Structure of Scientific Discovery*, *Science*, CXXXVI, p. 760-764 (junho de 1962)
32. O relato mais autorizado sobre a origem do descontentamento de LAVOISIER é o de Henry GUERLAC, *Lavoisier - the crucial year: The Background and Origin of His First Experiments on Combustion in 1772* (Nova Iorque 1961).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

01. BACHELARD, G. *La formacion del espiritu científico* (A formação do espírito científico). Buenos Aires, Siglo XX 1972.
02. BARRA, J. Método científico - Universidade Federal de Santa Catarina. *Caderno catarinense de ensino de fisica*. Vol. IV 1993.
03. BONJORNO & CLINTON. *Ciências Física II*. FTD São Paulo 1992.
04. BRETT, G. S. - The effect of the discovery of the barometer on contemporary thought (Efeito do descobrimento do barômetro no pensamento contemporâneo). *Journal of the Royal Astronomical Society of Canada*, XXXVIII, 1984.
05. CAJORI, Florian. *A history of physics* (História da física). Nova Iorque, Editorial Labor 1938.
06. CONANT, J. *A Ciência*. Cultrix São Paulo 1950.
07. COULSON, Thomas. Otto von Guericke: a neglected genius (Otto von Guericke, Gênio esquecido), *Journal of the Franklin Institute*, CCXXXVI. 1943. 241-264, 333-351.
08. DELA NINA. *Como compreender a ciência*. Record Rio de Janeiro 1947.
09. FERRACINI, G. *Curso de ciências*. Scipione. São Paulo 1995.

10. FEYRABEND, P. K. Consolando o especialista in LAKATOS, I., MUSGRAVE, A. pp.244-284, 1979.
11. HALLIDAY. *Curso de física*. LTC. São Paulo, 1988.
12. HOFF, H.E. *Annals of science I*. European Journal of Science Education, 8 (3), 229 – 249, 1986.
13. JAMES, W. S. The discovery of the gas laws (O descobrimento das leis dos gases). *Science Progress*, XXIII. 1928, 263-272.
14. KLEIBER, J. *Teoria dos gases*. Porto Alegre: Globo, 1953.
15. KUHN, Thomas S. *A estrutura das revoluções científicas*. São Paulo: Perspectiva, 1979.
16. LAKATOS, I. e MUSGRAVE, A. (orgs.) *A crítica e o desenvolvimento do conhecimento*. São Paulo: Cultrix/EDUSP, 1979.
17. MAGIE, W. F. *A source book in physics* (Livro fonte de física). Nova Iorque, Mc Graw – Hill 1935.
18. MIELI, Aldo. *Lavoisier y la formacion de la teoria química moderna*. Buenos Aires, El Ateneo, 1944.
19. MOHLER, Nora M. The spring and weight of the air (A mola e o peso do ar). *American Physics Teacher* (atualmente *American Journal of Physics*). VII. 1939, 380-389.
20. MORE, L. T. *The life and works of the Honourable Robert Boyle*. Nova Iorque, Editorial Labor 1944.
21. ORNSTEIN, Martha. *The role of scientific societies in the seventeenth century* (O papel das sociedades científicas no século dezessete). Chicago, Mc Graw - Hill 1928.

22. POPPER, K. L. *A lógica da pesquisa científica*. São Paulo, Cultrix 1985.
23. SILVEIRA, F. L. *A filosofia da ciência de Karl Popper e suas implicações no ensino de ciências*. Porto Alegre, Sagra 1991.