

ROS DIDATICOS: OBSTACULOS AOS APRENDIZADO DA CIENCIA QUIMICA

Alice Ribeiro Casimiro Lopes 0

Dissertação submetida como
requisito parcial para a
obtenção do Grau de Mestre em
Educação

Orientador: Prof. José Américo
Motta Pessanha

Atuando como co-orientadora:
Prof. Leticia Parente

FSV
200
PRETO

43

Rio de Janeiro

Fundação Getúlio Vargas

Instituto de Estudos Avançados em Educação

1990

ii

LIVROS DIDÁTICOS: OBSTÁCULOS AO APRENDIZADO DA CIÊNCIA QUÍMICA

Alice Ribeiro Casimiro Lopes

1990

A minha mãe

AGRADECIMENTOS

- A todos que me ajudaram no levantamento dos livros didáticos;
- Aos professores da equipe de Físico-Química da ETFQ-RJ que compreenderam minhas dificuldades com a sobrecarga de trabalho;
- A todos os professores e funcionários do IESAE;
- A amiga Joana Mara pela leitura e ajuda na revisão dos originais;
- Aos meus alunos, por aceitarem minhas falhas e me acompanharem no exercício de pensar a química;
- Ao Prof. José Silvério Baía Horta, pela leitura atenta do capítulo sobre História do Ensino de Química;
- Aos amigos e professores que me entusiasmaram no prosseguimento do trabalho;
- E mais que todos, aos professores: Letícia Tarquínio de Souza Parente, José Américo Motta Pessanha e Renato Jose de Oliveira. A primeira, pela orientação atenta e precisa; ao segundo, também precioso orientador, por haver me transmitido a sedução da filosofia; ao terceiro, pelo amor nos caminhos trilhados lado a lado.

ÍNDICE

	p.
LISTA DE TABELAS.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	viii
ABREVIATURAS UTILIZADAS.....	xi
RESUMO.....	xii
RESUME.....	xiii
 I - <u>INTRODUÇÃO</u>	 01
Notas.....	07
 II - <u>PERFIL DA CIÊNCIA QUÍMICA</u>	
II.1 - Química: uma ciência entre a mão e o olhar.....	09
II.2 - Química: histórico do rompimento com as aparências.....	21
II.3 - A Química não-lavoiseriana.....	50
Notas.....	60
 III - <u>ENSINO SECUNDÁRIO DE QUÍMICA NO BRASIL: UM POUCO DE SUA HISTÓRIA</u>	
III.1 - Processo de Consolidação do Ensino de Química..	64
III.2 - Antagonismo entre Ciências e Humanidades.....	71
III.3 - Influência do Positivismo.....	88
III.4 - Ensino de Química: da Memorização ao Ensino do Método Científico.....	102
Notas.....	112
 IV - <u>BACHELARD E O ENSINO</u>	 114
Notas.....	126

V - LIVROS DIDÁTICOS DE QUÍMICA NO BRASIL (1931-1990)

	p.
V.1 - Considerações Iniciais.....	129
V.2 - Concepção de Ciência dos Livros Didáticos.....	133
V.3 - Um Caso à Parte: a Química Orgânica.....	142
V.4 - Análise dos Obstáculos Epistemológicos	
V.4.1 - Obstáculo Animista.....	151 (27)
V.4.2 - Obstáculo Realista.....	178 (49)
V.4.3 - Obstáculo Verbal.....	227 (15)
V.4.4 - Obstáculo Substancialista.....	241 (18)
Notas.....	259
VI - <u>CONCLUSÃO</u>	264
VII - <u>ANEXO</u>	
Listagem dos livros didáticos de química analisados...	269
VIII - <u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	279

LISTA DE TABELAS

	p.
- Registro de professores na Diretoria de Ensino Secundário de 1955 a 1960.....	82
- Percentuais de professores de ciências registrados segundo a forma de habilitação de 1955 a 1960.....	82
- Participação relativa das diversas áreas nos currículos de ensino médio, segundo o Parecer 45/72.....	85
- Registro da presença de definição realista de molécula nos livros didáticos analisados.....	207

LISTA DE FIGURAS EXTRAÍDAS DE LIVROS DIDÁTICOS DE QUÍMICA

	p.
- Representação de um diálogo entre atomistas gregos.....	135
- Ilustração precedendo capítulo sobre nomenclatura dos compostos orgânicos.....	143
- Ilustração de imagem onírica de Kekulé para a estrutura do benzeno.....	147
- Ilustração sobre neutralização de um ácido pela base.....	157
- Ilustração animista para ligação química.....	162
- Ilustração animista para a regra do octeto.....	162
- Ilustração animista para a ligação química entre sódio e cloro.....	163
- Ilustração animista para a ligação química entre sódio e cloro (continuação).....	164
- Ilustração animista para a formação de cátion.....	164
- Ilustração animista discutindo a polaridade na ligação entre hidrogênio e cloro.....	166
- Diagrama do poço potencial associado ao animismo.....	167
- Ilustração animista para potenciais de oxidação.....	167
- Ilustração animista para a reação entre zinco e cobre II...	170
- Ilustração animista para teoria ácido-base.....	172
- Ilustração animista para reação de protonação.....	173
- Idem.....	173
- Ilustração animista para propriedades das bases.....	174
- Ilustração animista para isotopia.....	174
- Animismo nas ligações intermoleculares.....	175
- Professor representado como feiticeiro.....	177
- Realismo no conceito de massa atômica.....	185

- Idem.....	186
- Idem.....	187
- Idem.....	188
- Idem.....	189
- Idem.....	189
- Ilustração realista para solubilização.....	191
- Idem.....	192
- Ilustração realista para colisão molecular.....	195
- Idem.....	195
- Ilustração realista para energia de ativação.....	198
- Idem.....	198
- Metáfora realista para equilíbrio químico.....	200 / 201
- Idem.....	202
- Metáfora realista para ionização da água.....	203
- Metáfora realista para o processo redox.....	205
- Metáfora realista para eletrólise.....	205
- Realismo na noção de átomo.....	206
- Ilustração realista para o experimento de Rutherford com folhas de ouro.....	213
- Idem.....	213
- Metáfora realista para emissão de partícula alfa polônio.....	215
- Modelo realista para a noção de orbital.....	219
- Idem.....	219
- Metáfora realista para distribuição eletrônica.....	220
- Modelo realista para partícula-onda.....	222
- Ilustração realista para os quanta.....	224

- Ilustração realista para os níveis de energia..... 225
- Ilustração realista para a troca de mésons-pi entre nêutrons e prótons..... 226
- Ilustração precedendo capítulo sobre nomenclatura dos compostos inorgânicos..... 259

ABREVIATURAS UTILIZADAS

AR	-	L'Activité Rationaliste de la Phisique Contemporaine
AS	-	A A'gua e os Sonhos
ECA	-	Essai sur la Connaissance Approchée
EP	-	Epistemologia
ER	-	L'Engagement Rationaliste
ET	-	Etudes
FES	-	La Formation de L'Esprit Scientifique
LAU	-	Lautréamont
MR	-	Le Matèrialisme Rationnel
NEC	-	Le Nouvel Esprit Scientifique
PC	-	Le Pluralisme Cohèrent de la Chimie Moderne
PD	-	A Poética do Devaneio
PF	-	A Psicanálise do Fogo
PN	-	La Philosophie du Non
RA	-	Le Rationalisme Appliqué

R E S U M O

Objetivando analisar, do ponto de vista epistemológico e histórico, o ensino de química no Brasil, selecionamos 107 de livros didáticos adotados nas três séries do segundo grau, de 1931 a 1990.

Como referencial teórico utilizamos a epistemologia de Gaston Bachelard, havendo destaque para a categoria obstáculo epistemológico, compreendido como os entraves, inerentes ao próprio conhecimento científico, que bloqueiam a compreensão e o desenvolvimento da ciência. Dentre os diferentes tipos de obstáculos destacamos o animismo, o realismo, o substancialismo e o verbalismo. Procuramos não apenas identificar exemplos desses obstáculos, e dos equívocos que provocam nos mais diferentes assuntos, como discutir o porquê do surgimento dos mesmos.

Concluimos haver inversão de objetivos entre o período até meados da década de 60 - marcada pela inovação educacional - e o período posterior. No primeiro período há evidências de obstáculos epistemológicos oriundos da própria concepção de ciência vigente, ainda marcada por referenciais pré-cientificistas. No período posterior, especialmente após 68, há proliferação ainda maior das metáforas realistas e animistas, devido ao fato de serem utilizadas enquanto estratégia pedagógica frente aos assuntos de maior abstração. Na ânsia de tornar fácil a inerente dificuldade da ciência, construindo a ponte entre o conhecimento comum e o conhecimento científico, tão criticada por Bachelard, procede-se a divulgação da não-ciência e do irracional, obstaculizando o aprendizado da química.

R E S U M E

Afin d'analyser, du point de vue épistémologique et historique, l'enseignement de la chimie au Brésil, ont été sélectionnés 107 livres didactiques, adoptés dans les trois années du deuxième cycle, pendant la période de 1931 à 1990.

Le référentiel théorique était l'épistémologie de Gaston Bachelard, surtout la catégorie d'obstacle épistémologique, entendu comme les barrières propres à la connaissance scientifique, que bloquent la compréhension et le développement de la science. Parmi les différents types d'obstacles, les plus importants sont: l'animisme, le réalisme, le substantialisme et le verbalisme. Des exemples de ces obstacles ainsi que des équivoques provoqués dans les différents sujets sont identifiés; l'origine de ces obstacles est aussi discutée.

Il a été constaté une inversion des objectives de la première période (allant de 1931 jusqu'à la moitié de la décennie de 60, celle-ci marquée par une innovation éducationnel) par rapport la période postérieure. Dans la première période, il y a des évidences de la présence d'obstacles épistémologiques dûs à la conception de science à l'époque, marquée encore par de référentiels pre-scientifiques. Dans la période postérieure, surtout après 1968, il y a une prolifération de métaphores réalistes et animistes, dûe à leur utilisation comme stratégie pédagogique à propos des sujets doués d'une plus grande abstraction. Ainsi, en simplifiant les difficultés caractéristiques de la science et en faisant un pont entre connaissance commune et connaissance scientifique - si critiqué par Bachelard - les livres didactiques étudiés finissent par divulguer de la non-science et de l'irrationnel, difficultant encore de plus l'apprentissage de la chimie.

I - INTRODUÇÃO

O objetivo desta dissertação é analisar os livros didáticos de química, segundo a epistemologia de Gaston Bachelard. E a partir do momento em que se apresenta um objeto de estudo, surge imediatamente seu questionamento: porquê o livro didático foi escolhido?

As razões dessa escolha foram essencialmente duas. Primeiramente, o fato atestado por diferentes fontes em diferentes épocas (Lessa, 1958; Pfromm Netto, 1974; Albuquerque, 1976; Fracalanza, 1982; Oliveira, Guimarães & Bomény 1984; Alves, 1987; Freitag, Motta & Costa, 1987) de que o livro é o instrumento didático mais importante e mais utilizado em sala de aula. A segunda razão, sustentada na primeira, é a possibilidade de podermos efetuar uma análise histórica do ensino de química no país, já que o livro se apresenta como registro escrito confiável.

Como afirma Lorenz (1986):

"O livro didático é fundamental para a análise desta problemática [natureza e qualidade do ensino ao nível de sala de aula] visto que contém os conteúdos trabalhados com os alunos, manifesta tendências metodológicas e, explícita ou implicitamente, expressa a filosofia educacional da época de sua publicação. Na área de ciências, o livro didático, através da seleção e organização dos conteúdos, também reflete o conceito de ciências, quer seja como um corpo de conhecimentos quer como um processo de investigação." (p. 426)

Certamente o livro didático, como todo e qualquer texto, não é em si uma obra fechada. Na medida em que é utilizado, mantém-se o diálogo leitor-texto ou no caso, professor-aluno-texto; podem se estabelecer discussões, avaliações e críticas, capazes de permitir até que se faça bom uso de um mau texto. Sem dúvida isso é possível, mas não somos levados a concluir que assim se dê em nossas salas de aula.

Como bem afirmam Freitag et alii (1987), o livro didático não atua como auxiliar do processo de transmissão do conhecimento, mas como modelo padrão, autoridade absoluta, critério último de verdade: parecem modelar os professores.

Essa autoridade se sustenta para uma clientela - o professorado - com deficiências de formação capazes de levá-la a entorpecer o espírito crítico e a não desenvolver a capacidade de organizar os próprios métodos de trabalho.

Na área de ciências, e especialmente na química, fica bem clara essa questão. Ainda que o professor domine os conteúdos específicos da disciplina, sua formação pedagógica não se dá vinculada a esses conteúdos. Tratam-se de dois cursos díspares, totalizando-se em um único diploma: pedagogia e química levando à licenciatura. O educador assim formado não sabe bem como ensinar e se orienta para tal atividade através dos livros didáticos.

Estes lhe oferecem pronto o que deveria ser por ele preparado: a ordem dos conteúdos, os exercícios, as explicações dos mais variados assuntos. Sem dúvida, somam-se ao quadro as dificuldades notórias do magistério público e privado nacional, por si só geradoras de falta de tempo e condições para a atuação no ensino e causadoras de maior acomodação às facilidades oferecidas pelos livros-textos, chegando o professorado a valorizar essas facilidades.

"Frente a uma avaliação concluímos que, se por um lado o livro didático facilita o trabalho do professor, por outro lado estreita cada vez mais o seu campo de decisão e controle do seu campo de trabalho, pois cabe-lhe cada vez menos decidir sobre o *quê* e como ensinar, uma vez que tais elementos já estão determinados no livro didático. Essa determinação a priori de finalidades, conteúdos e métodos, do qual o livro escolar é portador, faz com que ele garanta no dia a dia escolar a unidade de transmissão de conteúdos para uma educação nacional." (Mazzotti, 1986: 13)

A partir de nossa experiência como professora, sabemos não ser de todo incomum a não utilização de livros-textos nas escolas públicas, mas ainda nesses casos não deixa de haver influência do livro sobre o ensino. Isso porque ela permanece no preparo das aulas, avaliações, exercícios, etc. A generalizada influência dos livros escolares sobre os educadores é também defendida por Lessa (1958), Fleury (1961), Fracalanza (1982) e Alves (1987). Borges (1982), inclusive, afirma a plausibilidade da tese de uma influência recíproca entre a qualidade do livro e a qualidade do ensino que ocorre em sala de aula.

O anverso dessa questão é de que o professor escolhe o livro, mas essa escolha não é destituída de condicionamentos. Trata-se de um desconhecimento da política do livro didático no país julgar ser o ato de escolha do livro uma atividade livre. Segundo Oliveira et alii (1984), os grupos que se envolvem na questão do livro didático - professores, autores, editores, etc - conformam contornos políticos e institucionais onde se associa diretamente o pedagógico ao econômico.

Os professores são condicionados pela propaganda das editoras, pela própria formação cultural e científica e pela pequena variedade de títulos existente no mercado: os livros, em geral, seguem todos a mesma forma. Há quase total inexistência de propostas inovadoras na esfera comercial; a mesmice de colocações, exemplos, estrutura de capítulos e exercícios se contrapõe a qualquer ousadia. A produção não se altera, afirmando atender ao mercado. Estabelece-se uma relação dialética consumidor-livro, onde não parece haver como definir determinante e determinado: as regras do mercado capitalista definem a norma de manter o jogo sem riscos.

Podemos então avaliar o ensino de química a partir da

avaliação do livro didático. E as críticas aos mesmos não são poucas, nem tampouco apenas recentes.

Lessa (1958) já chamava atenção para o excesso de conteúdo nos cursos secundários e responsabilizava, em parte, os livros didáticos, dado seu caráter de erudição superficial. Se os programas de ensino eram extensos, os livros faziam-nos maiores, detalhando aspectos desnecessários.

Mortimer (1988), constatando confusões e erros no aprendizado de ligação química na escola de segundo grau, conclui pela origem do problema estar nos livros didáticos que ensinam a errar.

Outras inúmeras críticas poderiam ser somadas a essas, tanto considerando os aspectos de precisão científica dos conteúdos como os aspectos metodológicos ou ideológicos. Nada parece apontar para uma visão positiva dos nossos mais importantes instrumentos didáticos, excetuando a constatação de Freitag et alii (1987) de que nosso sofrível ensino seria pior se não fosse o livro escolar, tal seu poder de penetração e sustentação do ensino.

Em vista disso, seria de se esperar um volume considerável de pesquisas no campo da literatura didática nas mais diversas áreas. Mas exatamente assim não tem se dado.

Segundo Albuquerque (1976), baseado no Cadastro de Pesquisas Educacionais de 1968 a 1973, o livro didático é objeto de estudo quase que completamente ignorado pelos pesquisadores da educação no país. O mesmo se reflete nos artigos da Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos: em seu índice de 1944-1984 existem apenas catorze entradas nos verbetes livro didático, livro-texto, manual e material didático, o que fornece a média de um artigo a cada três anos.

Já o trabalho de Freitag et alii (1987) atesta franco crescimento da pesquisa sobre literatura didática, principalmente na área de análise de conteúdo. Contudo, se limitarmos nosso campo ao livro didático de química, os trabalhos se resumem significativamente. Pelos catálogos de teses da ANPED de 1981 a 1987 constatamos a elaboração de 13 teses sobre o livro didático em geral, sendo que nenhuma delas se referia ao livro didático de química. Fora desse período são de nosso conhecimento as teses de Schnetzler (1980) e Mortimer (1988), ambas sobre o livro de química, porém com abordagens não-epistemológicas.

Por conseguinte, torna-se fundamental a elaboração de trabalhos envolvendo a análise epistemológica do ensino de química, e mais amplamente do ensino de ciências. Sem diminuir a importância de pesquisas concernentes a outros aspectos do ensino de ciências, consideramos que se faz necessário o suporte advindo de estudos sobre o caráter epistêmico da ciência a ser ensinada.

Nos últimos dez anos, ao contrário do que seria desejado, poucas foram as pesquisas brasileiras, ao nível de mestrado, tratando do ensino de ciências. Mais restrito ainda é o campo do ensino de química e neste, o número de pesquisas de caráter epistemológico (1).

Em vista disso, e igualmente considerando o grau de conservadorismo existente na visão de ciência dos professores de química em geral, atestado por Oliveira (1990), partimos para um estudo que desenvolvesse análise epistemológica coerente com a

ciência química moderna e, portanto, capaz de fornecer subsídios para a crítica renovadora de nosso ensino.

Depreende-se daí o porquê da escolha do epistemólogo francês Gaston Bachelard. Nascido no século XIX (1884) e falecido no século XX (1962), Bachelard viveu em um período de grandes conquistas na ciência e de grandes mudanças na racionalidade humana, sabendo bem como interpretá-las. Não para fazer delas monumento cristalizado - as verdades pelas quais o homem sempre trabalhou -, analisando-as segundo estatuto do século XIX, mas, ao contrário, expondo todo seu caráter de rompimento com o conhecimento passado. Em constante crítica ao positivismo, ao empirismo e ao cartesianismo reinantes na ciência, mostra-se ele um filósofo instigante, polêmico e por isso capaz, mais que qualquer outro, de revitalizar as estruturas do ensino, tão preso a conceitos que nada mais têm a ver com a ciência de ponta do século XX.

No decorrer de nosso trabalho docente e acadêmico, constatamos que a caracterização da problemática do ensino de química tem por base o perfil da própria ciência química. Se o ensino se apresenta fragmentário e descritivo, buscando o concreto no abstrato, isso tem raízes na própria história da química. Mesmo quando falamos da química quântica e das novas conquistas do século XX, utilizamos uma bagagem epistemológica do século XIX.

Conseqüentemente, houve a necessidade de elaborarmos, com base em Bachelard, o perfil da química, visando compreender melhor a ciência que ensinamos, ao mesmo tempo em que compreendíamos o químico, o professor e seu ensino.

Extrapolando os limites desta dissertação, a contribuição para a pesquisa em história da ciência, contudo foi de crucial importância balizar o perfil da química - e do químico - com a discussão histórica. Ademais, o conhecimento da história da química permite, sem sombra de dúvida, o melhor entendimento dos obstáculos à aprendizagem da ciência. Na tessitura do que a razão e a experimentação do homem constroem, encontramos o mesmo vício da ocularidade exacerbado no ensino - se podemos ver, podemos conhecer. E nesse ponto que buscamos dissecar, encontramos a base do realismo que permeia o ensino de química.

Nosso objetivo final constitui-se na identificação e análise dos principais obstáculos epistemológicos ao aprendizado da química existentes em nossos livros didáticos de 1931 a 1990 (2). Dentro da categoria obstáculo epistemológico, Bachelard engloba os entraves, inerentes à própria ciência, que bloqueiam seu desenvolvimento, tendo sido nossa opção abordar quatro tipos de obstáculos: animista, realista, verbal e substancialista.

Toda a pesquisa foi subsidiada por um esboço da história do ensino de química no país, englobando as principais transformações pelas quais passou: seus primeiros passos, o antagonismo entre ciências e humanidades que sempre permeou sua história, a influência do positivismo na elaboração da visão de ciência no Brasil e o processo de inovação educacional da década de 60.

Por outro lado, consideramos que o estudo da história do ensino de química nos coloca em melhor posição para a crítica do ensino atual. Quais são as raízes de nosso ensino verbalista ?

Desde quando passam a se opor a ele as vozes defensoras do ensino experimentalista ? Baseadas em que pressupostos levantam-se essas vozes ? As respostas a essas questões nos ajudaram a compreender melhor a evolução do livro didático, objeto central de nosso estudo, no decorrer da história do ensino no país.

Igualmente subsidiando a análise dos livros didáticos, elaboramos o levantamento das principais idéias sobre educação científica desenvolvidas por Bachelard no decorrer de sua obra. Não compõem elas uma teoria da aprendizagem ou uma metodologia de ensino - longe disso. Mas enriquecem sobremaneira a discussão a respeito do ensino de ciências do ponto-de-vista epistemológico.

Temos conhecimento de pelo menos outros dois trabalhos onde também se utiliza a categoria obstáculo epistemológico: Gagliardi (1988) e Franco Júnior (1989). Gagliardi utiliza o termo obstáculo com conceituação diversa de Bachelard, voltado para a estrutura do sistema cognitivo. Já Franco Júnior (1989) utiliza o conceito bachelardiano de obstáculo pedagógico para a análise do tratamento conferido à Lei de Queda dos Corpos nos livros de física. O autor se preocupa incisivamente com a necessidade de superação do conhecimento empírico, preocupação compartilhada por Ferraço (1987):

"E' necessário que se resgate a Física enquanto formadora de um raciocínio científico acima daquele que o aluno já possui e que está, em grande parte, vinculado aos fatos do senso comum e a uma forma imediata de apreendê-los. E' necessário superar esta Física empírica e buscar uma visão do mundo mais científica." (Ferraço, 1987: 62)

Crítica análoga podemos efetuar na química: há necessidade de questionarmos o empirismo, a falsa continuidade entre o conhecimento comum e o conhecimento científico efetuada no ensino e o dogmatismo científico desenvolvido pelos livros didáticos. E exatamente Bachelard, seja como filósofo ou como professor, contribui efetivamente para essa crítica.

NOTAS

(1) Pelos catálogos da ANPED, de 1981 a 1987, foram três teses apenas referentes ao ensino de química, e dessas apenas uma foi de cunho epistemológico (Parente, 1985), tratando do ensino e da pesquisa no terceiro grau, a partir dos conceitos de base de Gaston Bachelard.

(2) Optamos por proceder a transcrição literal dos textos dos livros didáticos, quando apresentamos exemplos de obstáculos epistemológicos, mesmo em se tratando de livros que utilizem ortografia diversa da atual.

II - PERFIL DA CIENCIA QUIMICA

"A Natureza, querendo fazer verdadeiramente a química, criou finalmente o químico."

Bachelard, Le Matérialisme Rationnel

II.1 - Química: uma ciência entre a mão e o olhar

De todos os nossos sentidos, é o olhar o que possui supremacia no conhecimento. Conhecer é constituir uma visão de mundo, observar fenômenos, iluminar a mente, formar idéias, idéias claras. Através da investigação científica, retirar dos olhos as brumas da ignorância.

Por Chauí (1988) constatamos como nossa linguagem denuncia essa tradição ocularista: pontos-de-vista, teorias (ação de ver e contemplar), perspectivas, examinar (possuindo o duplo sentido de observar e ponderar). Ser capaz de ver é ser capaz de saber.

Tal privilégio da visão já se revelava em Aristóteles.

"Por natureza, todos os homens desejam conhecer. Prova disso é o prazer causado pelas sensações, pois mesmo fora de toda utilidade, nos agradam por si mesmas e, acima de todas, as sensações visuais. Com efeito, não só para agir, mas ainda quando não nos propomos a nenhuma ação, preferimos a vista a todo o resto. A causa disto é que a vista é, de todos os nossos sentidos, aquele que nos faz adquirir mais conhecimento e o que nos faz descobrir mais diferenças". (citado por Chauí, 1988: 38)

O olhar tem a aptidão de discernir, admirar o mundo, perceber a luz e a beleza, levando à reflexão, à especulação. A mão não se realiza em conhecimento, mas em prática, corporeidade, trabalho reservado ao escravo, aquele ao qual não é dado conhecer, mas produzir-servir.

Não é menor a força do olho humano em outras culturas que não a helênica.

"Seu olhar chegava às florestas, às rochas, às lagoas, aos mares, às montanhas e aos vales. Na verdade eram homens maravilhosos(...) O Coração do Céu jogou-lhes um véu sobre os olhos, e estes se embaciaram, como quando o hálito atinge um espelho. Seus olhos se embaciaram. Somente podiam ver aquilo que lhes estava perto, aquilo que estava claro. Assim foi destruída a sabedoria e todo o conhecimento dos quatro homens da origem e do princípio. Assim foram criados e formados nossos antepassados". (trecho do mito da criação dos quíchuas In: Kolosimo, 1972: 113)

O grande olhar que tudo vê e em qualquer lugar está há de ser apenas o olhar divino. A divindade teve de lançar névoas sobre o olhar dos homens para não os ter como iguais - super olhos.

A força do olhar se baseia na concepção contemplativa que o homem tem do mundo a sua volta - grande espetáculo construído por Deus -, sendo característica, no dizer de Pessanha (1988), da forte tradição científico-filosófica ocidental, a qual faz de todo conhecimento tido como legítimo uma extensão do senso-comum.

Mas aonde nos leva, na ciência, essa supremacia do olhar? Encontramos em Bachelard um crítico incisivo da ocularidade, por ele concebida como vício, tanto no campo do diurno - a ciência - como no campo do noturno - a imaginação poética. Os dois caminhos trilhados pelo filósofo francês, sempre mantidos separados, numa estreita coerência com suas críticas às sínteses fáceis, se encontram neste ponto: o repúdio à formalização advinda da visão panorâmica do mundo como totalidade, unidade.

"E' neste retângulo de luz [a janela aberta] que se reencontra de uma só vez a Natureza massiva e grandiosa: é lá que o céu é unido à Terra e que os astros têm bastante campo para seu curso, bastante espaço para se unir em constelações. Enfim, é como panorama que o Mundo é totalidade e unidade, massa objetiva oferecida à contemplação." (Bachelard, ET, 1970: 26, tradução própria)

Esse olhar que contempla a totalidade, homogeniza; mais que isso, impõe continuidade ao espetáculo, induzindo a razão a ser concebida como única: para um todo contínuo, percebido por um só golpe de vista, é possível haver uma só razão captando esse olhar, ainda que a unidade se mascare em diversas manifestações.

"Vemos que compreender sob um mesmo olhar é a maneira primitiva de compreender em uma mesma razão." (Bachelard, ET, 1970: 28, tradução própria)

E a razão única se cristaliza, portanto se faz coercitiva. Permanecemos no formalismo em busca das verdades convergentes na unidade.

Como afirma Pessanha (1987), o sonho de Descartes era a construção de um conhecimento absolutamente verdadeiro, indubitável e universal, enquadrado em uma razão absolutizadora, coincidente com o Olhar Eterno (Deus). Para Descartes (1989) há apenas uma verdade em cada coisa, logo basta encontrá-la para se saber tudo quanto se pode saber. Com o aval do divino, o homem apenas desvela as verdades ao olhar, não as constrói.

"O ideal dos homens de ciência, durante séculos, será encontrar as verdades que Deus conhece já de toda eternidade." (Perelman, 1979: 1)

Se não existe o conhecimento construído, se a verdade é um dado de Deus, invariável, único, só existe uma razão, a razão divina, a qual nós mortais buscamos alcançar. Definitivamente se diz não ao pluralismo: há apenas um ponto de chegada, logo há apenas um ponto de partida, apenas um método, o real é um todo único e a história da razão é a história do lento e contínuo desenrolar de um novelo.

Mas assim como Perelman, no campo das ciências sociais, será crítico contundente dos monismos absolutistas, Bachelard, de posse das novas teorias da microfísica e da mecânica relativística, condenará o encadeamento contínuo dos conceitos científicos, afirmando a constante reconsideração e multiplicação dos sistemas de base da ciência. Na ciência construímos racionalismos setoriais, não apenas na sucessividade temporal como também na simultaneidade temporal.

"É evidente que duas teorias podem pertencer a dois corpos de racionalidade diferentes e que se podem opor em determinados pontos permanecendo válidas individualmente no seu próprio corpo de racionalidade. Esse é um dos aspectos do pluralismo racional que só pode ser obscuro para os filósofos que se obstinam em acreditar num sistema de razão absoluto e invariável." (Bachelard, PN, 1983: 140, tradução própria)

Em coerência com esse pluralismo racional, vemos cair por terra o monismo metodológico. O método se constitui a partir da experiência, de forma alguma pode se tratar de uma série de etapas comuns a qualquer problema científico. A experiência, em seu constante diálogo com a razão, não tem a função de conferir o que já se tem como certo. Ao contrário, será sempre um risco, deixará a razão em constante perspectiva de mudança. Não cabe ao método, portanto, impor normas dogmáticas, preestabelecidas, devendo ser constituído a cada nova descoberta.

"Toda descoberta real determina um método novo, deve arruinar um método anterior. Dito de outra maneira, no reino do pensamento, a imprudência é um método." (Bachelard, ER, 1972: 11, tradução própria)

"(...) o método é a antítese do hábito (...)"
(Bachelard, RA, 1975: 25, tradução própria)

Mas o que se apreende pelo olhar está pronto e acabado. O olhar não modifica o objeto como a mão o faria, daí a tradição ocularista oferecer primazia ao objeto dado: a natureza se oferece a quem desejar conhecê-la. Aplicando-se o método corretamente, basta recolher as informações desejadas. Bachelard, questionando essa concepção, se voltará contra a noção de dado natural.

Na ciência contemporânea a natureza não mais é passivamente contemplada pelo cientista, não mais temos o dado natural, a experiência onde o fenômeno se apresenta ao observador como concebiam os realistas do século passado; os olhos passivos nada captam sem a aplicação da razão à técnica. No dizer de Bachelard (AR), a ciência não descreve, ela produz fenômenos. Isso porque o instrumento mediador do fenômeno é construído em função de uma aplicação teórica; trata-se de um teorema reificado, objeto de uma fenomenotécnica. Em outras palavras, na fenomenotécnica há que se construir o fenômeno, constantemente estimulado pela dupla interpretação, instrumental e teórica, uma aplicada a outra. Os conhecimentos obtidos pela vista, de forma direta, fazem parte do senso-comum, não da ciência.

"A vista não é necessariamente a boa avenida do saber. Seu privilégio, evidente na experiência vulgar, deve, pois, ser denunciado. A vista dá-nos a preço baixo um ser-no-mundo. Esse ser não é, afinal, senão um ser-visto-de-frente. É preciso haver outros conceitos além dos conceitos 'visuais' para montar uma técnica do agir-cientificamente-no-mundo e para promover à existência, mediante uma fenomenotécnica, fenômenos que não estão naturalmente-na-natureza. Só por uma desrealização da experiência comum se pode atingir um realismo da técnica científica."
(Bachelard, RA, 1975: 137, tradução própria)

Assim sendo, como afirma Bachelard (MR), o dado é sempre suplantado pelo construído, não podemos confiar na homogeneidade panorâmica dada. Podemos, sim, constituir métodos de homogeneização, incessantemente retificados, que suplantam o dado.

O contato direto com o fenômeno nos pode fornecer apenas fatos desconexos, destituídos de caráter científico por não estarem inseridos em um sistema teórico. Daí a necessidade de retificação constante: não existem as verdades primeiras, mas apenas os primeiros erros. O processo de conhecer é um constante desiludir-se. Os olhos contemplativos apenas nos fornecem as primeiras ilusões.

"Jamais o fascínio de um espírito é tão grande quanto no momento em que ele se apercebe que tinha estado enganado. Esse fascínio, esse despertar intelectual, é a fonte de uma intuição nova, toda racional, toda polêmica, que se anima na derrota desta que foi uma certeza primeira, na doce amargura de uma ilusão perdida." (Bachelard, ET, 1970: 90, tradução própria)

Conseqüentemente Bachelard valoriza o erro de forma inovadora. O conhecimento se constitui na retificação dos erros, portanto é preciso errar para no processo de desilusão estabelecer as verdades científicas, verdades essas que serão sempre provisórias. As idéias claras, distintas e imediatas guardam sempre erros profundos.

Bachelard (AS) se mostra igualmente sensível para a estranheza que provoca naqueles acostumados a encarar a racionalidade como par da certeza, incapazes de entender sua constante preocupação em representar os valores racionais como retificações de dados falsos. E para esses se coloca:

"Não nos instalamos de chofre no conhecimento racional; não nos oferecemos de imediato a justa perspectiva das imagens fundamentais. Racionalista? Tentamos tornar-nos isso, não apenas no conjunto de nossa cultura, mas nos detalhes de nossos pensamentos, na ordem pormenorizada de nossas imagens familiares." (Bachelard, AS, 1989: 7)

A primeira desilusão coloca o mundo como pólo de uma objetivação. Não mais se fundamenta a objetividade no objeto dado aos olhos; ao contrário, suas bases estão na recusa dessa primeira observação, na vigilância para o combate do êxtase diante da primeira escolha. O problema deve ser colocado, segundo Bachelard, nos termos de uma objetivação do pensamento à procura do real.

"Determinar um caráter objetivo não é tocar num absoluto, é provar que se aplica corretamente um método. Objetar-se-à sempre que é em virtude do caráter revelado pertencer ao objeto que ele é objetivo, quando jamais se fornecerá outra coisa além da prova de sua objetividade em relação a um método de objetivação." (Bachelard, La Valeur Inductive de la Relativité, apud EP, 1971: 40)

Na ciência contemporânea não temos mais, como garantia de objetividade, o sujeito-observador distante do objeto. Estabelece-se a relação sujeito-objeto mediada pela técnica. O olhar do observador se instrumentaliza; o instrumento que inicialmente aperfeiçoa, estende, amplia a capacidade de visão do observador, se mostra modificador dessa mesma capacidade, na medida em que há uma teoria constituindo fenômeno e instrumento e há também uma teoria necessária à interpretação da medida.

No dizer de Bachelard (PN), a ciência instrumentada é transcendente à ciência da observação natural, aquela para a qual os sentidos são intermediários do conhecimento. Pela análise de um simples termômetro constatamos a distância entre o que sentimos - calor ou frio - e o que medimos - temperatura. Apenas a teoria nos permite relacionar nosso conhecimento sensível com a medida apresentada. Sem a teoria reduziríamos a experimentação a uma série de leituras de índice.

Já no espectrômetro de massa é ainda mais estreita a relação teoria-instrumento: o próprio aparelho é teoria materializada. Como afirma Bachelard (RA), as trajetórias que permitem separar os isótopos nesse aparelho são produzidas tecnicamente sem nenhuma sequência com fenômenos naturais. A técnica se refina ultrapassando a natureza.

O real não é mais um dado de primeira instância, mas a construção do homem solidário com o progresso técnico, constante processo de retificação e ordenação.

Dessa forma compreendemos com Bachelard (FES) que a experiência científica contradiz a experiência comum. A experiência científica polemiza e possui sempre a perspectiva de retificação dos erros, enquanto na experiência comum as observações se sobrepõem umas às outras, se reduzem às primeiras impressões sobre a retina. Na experiência científica a reflexão se sobrepõe à percepção.

A título de exemplo (Bachelard, RA), temos a balança de Lavoisier, a qual não rompe com a experiência comum de medida de massa: a precisão aumenta, mas o pensamento de medida é ainda extensão do senso comum. Ao contrário, no espectrômetro de massa, já citado, não obtemos dados nos quais se estabeleça um princípio de identidade com a experiência comum; obtemos resultados que exigem uma teoria de interpretação. Transcendemos ao positivismo da balança no seu singular senso comum.

Dai a noção de ruptura, tão rejeitada por nossa tradição continuísta. As informações científicas não são acumuladas no processo lento e constante de gestação de novos conceitos: o espectrômetro de massa rompe com a balança porque possui uma razão intrínseca que não pode ser obtida por evolução da balança. Ou seja, não existe transição da química lavoisieriana para a química não-lavoisieriana, da física newtoniana à física einsteiniana ou da geometria de Euclides para a geometria de Lobatchewsky. As rupturas entre um campo e outro se dão no nível da racionalidade e ficam explícitas na nova linguagem elaborada: não é possível haver transferência de conceitos sem que haja mudança completa de semântica. Não ocorre a amplificação de um campo a outro, mas uma transcendência. Como aponta Bachelard (NEC), é possível, por redução, se passar da física einsteiniana à física newtoniana, mas nunca conseguiremos, por ligeiras

retificações de seus princípios, sair do campo de Newton para o de Einstein. O mesmo ocorre na ciência química ou na matemática.

Na ciência contemporânea, o fenômeno científico se constrói a partir da técnica racionalizada, dentro da filosofia que Bachelard denominará racionalismo aplicado. Não existe sentido, na ciência moderna, termos um empirismo desconexo ou uma razão que não se renova pela relação com a experiência.

"(...) o empirismo e o racionalismo estão ligados, no pensamento científico, por um estranho laço tão forte como o que une o prazer à dor. Com efeito, um deles triunfando razão ao outro: o empirismo precisa ser compreendido; o racionalismo precisa ser aplicado. Um empirismo sem leis claras, sem leis coordenadas, sem leis dedutivas não pode ser nem pensado, nem ensinado; um racionalismo sem provas palpáveis, sem aplicação à realidade imediata não pode convencer plenamente. Prova-se o valor real de uma lei empírica fazendo dela base de um raciocínio. Legitima-se um raciocínio fazendo dele a base de uma experiência." (Bachelard, PN, 1983: 5, tradução própria)

A mão que constrói, mediada pela razão, estabelece os estreitos limites para o olhar que deseja habituar a razão no repouso sobre a aparência fenomênica. É o grande olhar limitando o macromundo aos erros das primeiras interpretações, desejando ver o infinitamente pequeno tal como se enxerga o mundo macroscópico, estabelecendo o contínuo racional na interpretação do mundo.

A razão que se habitua na permanência, que não polemiza, é sem dúvida uma razão que não rompe com os obstáculos ao conhecimento científico, é uma razão, ela própria, se constituindo em obstáculo.

"O hábito da razão pode se tornar um obstáculo da razão." (Bachelard, RA, 1975: 13, tradução própria)

E para Bachelard (FES), no desenvolvimento do conhecimento científico, deparamo-nos constantemente com obstáculos intrinsecamente ligados ao ato mesmo de conhecer. O conhecimento se obstaculiza no real aparente, na tendência do pensamento, segundo Lecourt (1980), preencher a ruptura entre conhecimento comum e conhecimento científico. É a razão acomodada no contínuismo do já estabelecido, opondo-se ao novo, à retificação dos erros, à constituição de uma razão toda nova.

"(...) é no ato mesmo de conhecer, intimamente, onde aparecem, por uma necessidade funcional, os entorpecimentos e as confusões. É aí onde mostraremos causas de estancamento e até de retrocesso, é aí onde discerniremos causas de inércia que chamaremos obstáculos epistemológicos. O conhecimento real é uma luz que sempre projeta alguma sombra. Jamais é imediata e plena. As revelações do real são sempre recorrentes. O real não é jamais 'o que se poderia crer', senão sempre o que se deveria haver pensado. O pensamento empírico é claro, imediato, quando tem sido bem montado o aparelho das razões. Ao voltar sobre um passado de erros, se encontra a verdade em verdadeiro estado de arrependimento intelectual. Com efeito, se conhece contra um conhecimento anterior, destruindo conhecimentos mal-adquiridos ou superando aquele que, no espírito mesmo, obstaculiza a espiritualização." (Bachelard, FES, 1947: 15, tradução própria)

E ao contrário do que se poderia pensar, os obstáculos epistemológicos nunca são definitivamente suplantados, sempre se manifestam diante de um problema novo. Por isso, segundo Bachelard (RA), o racionalismo deve sempre trabalhar contra si mesmo, contra as sínteses fáceis, as idéias claras. As imposições do olhar, realista por excelência, precisam ser psicanalisadas (1) no combate às imagens primeiras, às analogias imediatas.

"Uma ciência que aceita as imagens é, mais que qualquer outra, vítima das metáforas. Por isso o espírito deve incessantemente lutar contra as imagens, contra as analogias, contra as metáforas." (Bachelard, FES, 1947: 38, tradução própria)

O conhecimento racional exige rigor matemático; o realismo é que se prende às imagens visando concretizar o abstrato. Essa crítica porém não implica na impossibilidade de utilização de metáforas e analogias na ciência: muitas vezes elas são necessárias, quando construímos modelos e nos expressamos em linguagem não formal. Mas a utilização não pode ser descuidada, existindo apenas para nos fazer esquecer a aridez das fórmulas matemáticas. Nosso espírito não pode se acomodar a elas, mas estar pronto para desconstruí-las na medida em que a matematização assim o exigir.

"Quando a Física matemática contemporânea se serve de imagens, ela as emprega após a

equação, para ilustrar os teoremas. A ciência realista antecedente emprega, ao contrário, as imagens antes do pensamento, acreditando que pode fundar uma ciência realista da medida apoiando-se sempre e em toda parte nos objetos." (Bachelard, ET, 1970: 63, tradução própria)

E mais uma vez é o trabalho da razão sobre o objeto, mediada pela técnica, que permitirá ao cientista, atuando sobre o real, afastar-se das imagens, dos sonhos. Um trabalho árduo pois as imagens são sedutoras por encontrarem repouso certo nos arquétipos imobilizados no fundo da alma. Quando a construção de metáforas é descuidada, fruto de associações não trabalhadas nem tampouco racionalizadas matematicamente, certamente a elas foram transferidos valores sensíveis e primitivos que obstaculizarão a compreensão científica. Serão sempre tradução grosseira do conhecimento científico: sobre ele nada dizem, mas, o que é pior, produzem a crença de conhecimento, a impressão de que se compreende. As imagens são a simplificação a qual se agarram os espíritos preguiçosos e que nelas têm o duplo desejo satisfeito: o de compreender e o de ver revelado no conhecimento seus próprios sonhos não psicanalisados.

Dai Bachelard (PF) afirmar que o sábio deve se recusar a personalizar o conhecimento, seu esforço incessante deve ser o de socializar suas convicções. Em um conhecimento, a soma das convicções pessoais nunca deve ultrapassar a soma das convicções racionais. O homem noturno não deve se confundir com o homem diurno, ao contrário, deve aceitar uma dupla vida, a dupla base de uma antropologia completa (Bachelard, MR), onde o que é positivo no campo da imaginação - a metáfora -, se torna negativo no mundo da ciência. Deve-se ser "científico com os cientistas, poético com os poetas" (Dagognet, 1986: 33).

Constatamos com Bachelard (NEC), que o espírito científico sempre se esforçou para constituir uma razão à imagem do mundo. O real se mostrava aos olhos para a razão compreendê-lo. Na ciência moderna, ao contrário, há a construção do mundo à imagem da razão. O real não mais se mostra, é demonstrado. Esse percurso fica claro nos meandros históricos das ciências.

A partir da Revolução Científica, o homem se diviniza pela ciência - interpretação da linguagem com que Deus escreveu o mundo. Ainda que usando a experimentação, o instrumento de medida, é a leitura dessa linguagem que interessa ao investigador. Fazem-se experiências e constroem-se instrumentos fundamentalmente para se adquirir a faculdade de ver melhor.

"As discussões de Galileu com seus adversários aristotélicos anunciam a mutação que sobrevirá ao tratamento do olhar. O conflito entre o que é visto a olho nu e o que é mostrado pelo telescópio leva os aristotélicos, apostando no primeiro, a afirmar a inadequação do perspicillum para o conhecimento astronômico e

a negar qualquer verdade aos resultados obtidos por Galileu (...). A argumentação de Galileu é revolucionária: o perspicillum não é mero auxílio para aumentar o tamanho dos objetos aumentando o poder do olhar, mas um instrumento para corrigir a visão". (Chauí, 1988: 55)

A escuridão do céu passa a ser iluminada a fim de que se veja, não somente as estrelas, mas os números com os quais o universo foi escrito.

As estrelas deixam de existir apenas para o deleite dos homens; essa razão de existência centrada no homem não mais faz sentido, já que inúmeras são as estrelas para as quais os homens com seus olhos míopes estão cegos. O universo não é mais perfeito em sua aparência fenomênica: a Lua é vista pelo telescópio como realmente é, dotada de crateras, relevo irregular, os corpos perdem seu lugar natural, a revolução nos céus implica em uma revolução na Terra. A perfeição agora é matemática: há que se experimentar para então abstrair, corrigir o olhar.

Quando a mão intervém é para construir o prolongamento da visão: o homem vê também com a mão, invariavelmente, desiludindo o olhar.

Portanto, por obra divina, os grandes cientistas existiram a fim de trazer de volta aos homens, pela ciência, um pouco da luz perdida na Criação.

"A Natureza e as leis da Natureza estão ocultas na noite, Deus disse: deixe Newton ser e tudo foi luz". (epitáfio de Newton por Alexander Pope, citado por Ronan, 1987: 107)

Entretanto, um século após Newton, nasce um cientista talvez tão importante para a química quanto o foi o autor dos "Principia" para a física. Lavoisier, um recebedor-geral de impostos, rico portanto, capaz de introduzir na química técnicas de experimentação e medidas elaboradas pelos físicos: termômetros, calorímetros e, principalmente, balanças. A grande revolução científica na química não se dá pelo olhar, como aquele remetido às estrelas por Galileu e Kepler. Vem pela balança, instrumento antecipador de sua teoria - princípio da alavanca -, capaz de medir o que não é visto pelo olhar, mas apenas sentido pela mão: a massa. Pesando, ponderando, o químico pensa.

Mas como fica o químico, obreiro, manipulador, figura indissociável de seu laboratório, diante da tradição ocularista? O mundo entendido como espetáculo é resistente à mão. A matéria é o que se manipula, mas mesmo os químicos manipulando sobremodo a matéria se prendem às determinações visuais. Uma tradição que na química se evidencia no trabalho da análise qualitativa: tantas manipulações culminam no reconhecimento pelo olhar. Reconhece-se mesmo sem devidamente conhecer. Como afirma Pessanha (1988), a mão inteiramente subjugada ao olho omite-se no ócio. O ócio aqui

é o da razão contemplativa, o trabalho da mão pode ser incessante, mas se detém no empirismo.

A mão do químico se subjugava ao olho, não se constituindo em fenomenotécnica e, numa postura distante perante à matéria, se escusa em trabalhá-la racionalmente, aplicando a razão ao objeto. Permanece na postura de tudo querer ver concretamente, concebendo um interior a ser visto, sobrepondo imagens às concepções racionais do objeto, vendo o interior com as imagens aliciantes.

As experiências dos químicos com o real que não se vê e não se toca podem ser mutiladas se a mão ociosa buscar concretizá-las para serem vistas pelo olhar, ainda que sob pálida imagem, a sombra distorcida do real. O espírito científico permanece, então, sob a ação da filosofia que convém ao conhecimento comum: o empirismo imediato. Não se atinge o novo espírito científico, onde a teoria deve estar sempre presente para que a mão se faça técnica racional e o olho trabalhe contra as imagens panorâmicas. Se a mão se solidarizar com a matéria, racionalizando-a, podemos desconstruir as bases da tradição ocularista.

"Se a filosofia começa assim, com uma noção de objeto tomada sem a consideração da matéria, caso se rompa desde o princípio, a essencial solidariedade: objeto-matéria, se está condenado a permanecer sobre o eixo de uma filosofia da contemplação, se permanecerá sendo o primeiro sujeito que se aceitou ser, o sujeito contemplante. Não se poderá jamais desembaraçar a filosofia do privilégio das determinações visuais." (Bachelard, MR, 1972: 10-11, tradução própria)

Como discutiremos melhor a seguir, os traços da tradição ocularista não são os mesmos na física e na química. Arriscamos mesmo a dizer que a influência maior da química nos padrões correntes de ciência, no decorrer da história, teria provocado maior presença da manualidade, do material.

Por outro lado, a química se mostra uma ciência substancialista, mais empirista - evidenciada na sua marcante relação com a técnica - e, também, com maior influência positivista.

O traço material mais forte na química do que na física faz o autor do Novo Espírito Científico defender o racionalismo que se aplica na física - racionalismo aplicado - e o materialismo que se racionaliza para a química - materialismo racional ou instruído. No materialismo químico a matéria é artificializada pela técnica humana, a razão se dialetiza com a experiência para estabelecer o processo de construção racional.

Assim sendo, o racionalismo de Bachelard é eqüidistante do idealismo e do realismo, sendo crítico de ambos: a matéria científica não é uma ilusão do sujeito nem tampouco existe em si.

"Não se pode comparar esse materialismo com os demais existentes na Filosofia, até então. Na polêmica de Bachelard contra o idealismo, parece claro que ele critica qualquer filosofia que considere a matéria como fruto da consciência. Por outro lado, seria incoerente considerar Bachelard um materialista, pois ele nega que a matéria independa do sujeito, e que possa, por ele, ser passivamente captada." (Bulcão, 1981: 130-131)

Ou seja, seu ponto de distinção fundamental com a filosofia materialista é o fato de que, no âmbito da ciência, sua interpretação não desvincula a matéria da técnica. Não há dentro da ciência a matéria enquanto fenômeno, apenas enquanto fenomenotécnica. A colocação de Bulcão (1981), quanto a Bachelard negar a independência da matéria em relação ao sujeito, deve ser compreendida nos limites da ciência e não do conhecimento comum. Fundamentalmente, Bachelard traz embutida na crítica à razão única, a crítica do real concebido como um todo: não existe o real, contínuo e único, ainda que dinâmico e múltiplo em suas manifestações. Diferentes racionalidades engendram diferentes realidades do ponto de vista científico.

Constatamos, portanto, o quanto a epistemologia de Bachelard confere à ciência uma concepção toda nova, revolucionária e instigante, partindo da interpretação do processo histórico de racionalização da própria ciência.

Conseqüentemente, para compreendermos a química, na constante alternância entre a mão e o olhar, é preciso que compreendamos um pouco sua história, o processo de racionalização dessa ciência, o qual não é devidamente acompanhado por nosso ensino.

II.2 - Química: histórico do rompimento com as aparências

Sempre que se propõe o estudo histórico de uma ciência, como ora propomos junto à química, é importante ter-se em mente que a história da ciência é a história do progresso científico, do encadeamento de pensamentos racionais, não se coadunando, portanto, com o empirismo histórico. Um conjunto de fatos sucessivos não se constitui em história, ao menos que se lhes destaque o valor para a construção do conhecimento racional.

"A história das ciências surgirá, então, como a mais irreversível das histórias. Descobrendo o verdadeiro, o homem de ciência obstrui um irracional. Sem dúvida, o irracionalismo pode brotar de outro lado qualquer. Mas tem, doravante, certas vias interditadas. A história das ciências é a história das derrotas do irracionalismo." (Bachelard, AR, 1965: 27, tradução própria)

Essa irreversibilidade, conferida por Bachelard à história da ciência, garante a mesma o caráter de história julgada. Nos limites do estudo da história da arte, por exemplo, não há nenhum sentido discutir o maior ou menor valor de um quadro impressionista frente a um quadro cubista, ou pensar em erros e acertos, o mesmo não se dando na comparação de diferentes teorias científicas. A ciência, por estar em contínuo processo de retificação, não se constrói por contínuas evoluções, mas ao contrário, por descontínuas revoluções. O ato de recomeçar é constante, o conhecimento está sempre sendo reorganizado. Assim, não provém do passado o entendimento do presente: o presente é que explica e julga o passado. Bachelard denomina *recorrência histórica* (AR), essa característica da história se iluminar diante das certezas do presente, descobrir no passado as formulações progressivas de verdade.

O constante progresso da ciência não se constitui mitificação: trata-se de uma evidência do caráter social da ciência, sendo impossível ser alcançado pelo indivíduo isolado. Bachelard (ER) utiliza o termo *cidade científica*, o qual ele não sabe dizer ao certo se possui sua autoria, para designar o trabalho conjunto de uma geração de cientistas dentro das sociedades atuais. A ciência pura pertence à cidade científica e longe dessa cidade é impossível reconstruir a ciência, pois há necessidade da técnica e da teoria construídas em bases sociais, mais que isso, consensuais.

Dentro dessa perspectiva buscaremos discutir alguns pontos da história da química que nos permitam compreender o processo de crescente racionalização científica, envolvendo a suplantação dos obstáculos epistemológicos, obstáculos esses que, como aponta Bachelard (ER), freiam não apenas o desenvolvimento do pensamento, mas também a pedagogia científica (2).

Igualmente o estudo histórico nos fará compreender melhor as tessituras da manualidade e da ocularidade na química, ciência cujos passos poucas vezes se confundem com os da física antes do fim do século XIX.

Autores como Bernal (1969) situam já no Paleolítico as primeiras origens do que viria a ser a base da química. O homem conhece o fogo e, ainda que não se saiba exatamente como, passa a conhecer como domesticá-lo e daí seus usos múltiplos na cerâmica, na proteção ao frio e na alimentação. As práticas e velhas receitas culinárias, iniciadas no simples cozimento da caça, constituiriam assim um legado à química - estreitamente ligada à mística do fogo.

A física, para o mesmo autor, tem bases nas primeiras ferramentas construídas a partir do conhecimento das propriedades mecânicas das substâncias.

A despeito de qualquer classificação do saber em físico ou químico, Prelat e Papp (1950) salientam a antecipação do *homo faber* sobre o *homo sapiens* - o fazer se antecipa ao pensar, ao raciocinar - e consideram as artes práticas das primeiras civilizações como sendo o ponto inicial da química, na forma de ciência aplicada.

Concordamos com Koyré (1966) serem equivocadas tais inferências: assim como a teoria não conduz, de imediato, à prática, a prática não gera diretamente teoria. Portanto, o conjunto das técnicas primitivas não pode ser encarado como ciência aplicada. É preciso reconhecer que, pelo fato dos instrumentos primitivos não possuírem uma teoria, não se constituírem em técnica científica, todo o espaço deixavam ao irracional, aos sonhos. Não se trata, pois, de considerarmos os trabalhos desse período como a infância da ciência, primeiros passos efetuados de maneira tosca e rudimentar. Cada trabalho possuía uma intencionalidade própria, onde a relação do homem com a natureza é mediada pelo devaneio. O *homo faber* se apresenta mais como *homo ludens*: um homem para o qual, segundo Bachelard (PF), os artefatos são antes uma criação do desejo do que do necessário.

Portanto as técnicas não científicas apenas constituem um legado prático capaz de marcar conquistas posteriores da ciência. E as marcas muitas vezes não são notadas no trabalho empírico; surgem como herança ao inconsciente do espírito científico. Haja vista as marcas profundas deixadas pelo fogo no espírito dos químicos, principalmente em seus primeiros trabalhos.

"Se o fogo, fenômeno no fundo bem excepcional e raro, foi tomado como um elemento constituinte do Universo não será porque ele é também um elemento do pensamento, um elemento de eleição do devaneio?" (Bachelard, PF, 1989: 24)

A ciência verdadeiramente surge quando começam a ser construídos os primeiros modelos abstratos na tentativa de

justificar fatos naturais, quando são afastadas imagens subjetivas que envolvem na afetividade o objeto científico. Antes disso temos grande número de conhecimentos técnicos imersos em devaneios. Mesmo quando as técnicas se refinam promovendo um artefato de excelente qualidade, nada aí indica, necessariamente, um saber científico.

Conseqüentemente o conhecimento das propriedades mecânicas das substâncias e a construção de armas, utensílios e ferramentas são parte de um legado à engenharia, surgindo a física quando, muito mais tarde, o homem adquire condições de minimamente abstrair o objeto e pensar o fenômeno.

No tempo em que ao homem é dado filosofar e pensar em si enquanto homem, encontra-se ele preparado para pensar a física. Já a ciência química muito mais tempo leva para surgir, pois seu campo de estudo prende o homem ao concreto ou ao mágico.

Quando os contornos da física surgem, ainda difusos sob a filosofia, observamos os primeiros estudos preocupados com o universo que nos cerca. Entre os gregos há, por exemplo, Aristóteles e seus trabalhos sobre o movimento, sobre os corpos celestes e teorizando acerca do universo; entre os chineses é feito o mapeamento do céu; entre os árabes há os primeiros estudos de óptica.

Construções teóricas surgem, na sua maior parte, sem trabalhos empíricos que ultrapassem uma observação imediata. Mesmo porque, o grande fascínio gerado pelos céus induzia ao estudo, mas a distância impedia o contato. A noite estrelada se estudava pelo olhar.

Quanto à química, o oposto se dá. Os gregos contribuem com teorias a respeito da constituição da matéria, buscando explicar diferentes aspectos do mundo fenomênico, não assumindo, contudo, o caráter de uma química incipiente e, sim, de uma filosofia, a qual, no futuro, contribuiria com alguns de seus princípios para as noções de elemento e átomo - suportes das ciências químicas. As teorias atomísticas de Demócrito, Leucipo e Epicuro não buscam explicações para as transformações químicas, mais próximas estando de uma física da matéria, porém com concepções de mundo totalmente diversa dos físicos modernos. No mais, as técnicas gregas de manipulação de substâncias advinham dos egípcios. A civilização grega, tendo desprezo pelo trabalho manual, transferido aos escravos, não desenvolveu significativamente essas técnicas. Os gregos não foram químicos.

A predominância da razão na cultura grega se manifesta mesmo entre aqueles que se dedicavam a trabalhos práticos, como o matemático e inventor Arquimedes de Siracusa. Negava-se ele, segundo Plutarco, a escrever um manual de seus feitos no campo da engenharia, considerando "o trabalho de engenheiro, assim como tudo o que dissesse respeito às necessidades da vida, como algo sem nobreza e vulgar" (citado por Pessanha, 1972: 3).

Ainda que seus trabalhos mantivessem em laços estreitos teoria e prática, a imagem escolhida por Arquimedes para simbolizar sua obra na laje tumular é a do cilindro circunscrito a uma esfera (forma indicativa de como calculou a área de uma superfície esférica). Imagem geometricamente perfeita, abstração extraída das toscas formas

com que a mão e o olhar convivem no mundo real.

Entre chineses, hindus e árabes desenvolveram-se mais as primeiras técnicas do futuro trabalho do químico: ainda não há ciência química como parecem conceber autores como Ronan.

"O conhecimento de química na Índia surgiu em primeiro lugar com referência a assuntos puramente práticos. (...) Nada, até agora, indica que houve qualquer tentativa de pesquisa química para a fusão do ferro, a cerâmica, a tinturaria, a fabricação de vidro, a manufatura de pigmentos (...). Não havia qualquer teoria subjacente, qualquer tentativa de pesquisar a natureza do processo". (Ronan, 1987: 76)

"A química chinesa primitiva (...) começou, como provavelmente em todos os outros lugares, como um desenvolvimento da arte de cozinhar, mostrando-se um estudo muito adequado aos taoístas; tinha um lado místico, pelo menos do modo como a praticavam, e lhes permitia não só filosofar, como também usar as mãos". (p.60)

Observamos a colocação do surgimento da "química primitiva" através da produção do artefato - do fazer - e o surgimento da física pelo observar - pensar o olhar.

Ronan (1987) refere-se à inexistência de teoria, inclusive como quem se interroga quanto ao porquê do não se teorizar. Mas quem mexe com as mãos produzindo um artefato, não tem necessidade da teoria. Desenvolve, sim, a perícia; a teoria, não revelada, é a do como fazer bem feito, descoberta pelo fazer tantas vezes repetido, elaborado, mãos tateando a matéria e realizando a teoria, não especulando, não indo além do real imediato.

Diversos também se mostram os graus de interferência do homem nos diferentes fenômenos físicos e químicos. Podia ele se deslumbrar com os céus, os raios, as estrelas, mas era domínio dos deuses o poder de interferir no universo, nas condições meteorológicas. Surgiram as práticas astrológicas, a numerologia, as quais buscavam adivinhar e prever a vontade dos deuses: mortais buscando conhecer os desígnios divinos para contra eles não se oporem.

Já no campo das técnicas químicas primitivas vê-se o homem com a capacidade de transformar a matéria, realizar fenômenos extraordinários, mágicos, quase se aproximando da capacidade dos deuses.

"A química (...) agrega e desagrega, combina e decompõe a matéria sobre a qual opera. E bem, os iniciados na arte sagrada acreditavam poder fazer em pequeno o que o demiurgo ou o deus

criador havia feito em grande. Aos olhos do povo, o sacerdote não era somente o representante, mas de alguma maneira um compêndio da divindade." (Hoefer, citado por Prelat & Papp, 1950: 13, tradução própria)

Dentro desse espírito é que a alquimia se constitui. Hoje já não mais vista como a infância da química, a alquimia possui características de arte sagrada, com coerência interna própria. O alquimista não investiga as propriedades das substâncias e suas transformações, buscando conhecer mais e melhor a natureza. Seu intuito é obter a revelação dos segredos divinos, a busca do Bem, do auto-conhecimento, a transformação de sua alma. Transformar o chumbo em prata é revelar a prata existente reclusa no chumbo a partir da sua purificação, uma purificação quase moral, uma elevação espiritual que deve ocorrer na matéria à medida em que ocorre no homem manipulador dessa matéria. Existe um sentido de valor no ato de purificar: o que se extrai na purificação é jogado fora como o que se purga de um corpo doente.

"Podemos reduzir um mineral imperfeito a um mineral perfeito... uma vez que o chumbo é uma espécie de prata que foi invadida pela doença mineral da humoresidade, maleabilidade, negrume e peso, quando estes forem postos à parte teremos novamente prata boa e verdadeira." (Roger Bacon, citado por Goldfarb, 1987: 131)

Notavelmente, a purificação dos alquimistas nada tem a ver com o trabalho químico, nem se aproxima dele. O fato do químico ter-se utilizado, ou ainda utilizar, instrumentos derivados dos instrumentos alquímicos não garante essa aproximação. A razão embutida no trabalho de cada um se mostra visceralmente diferente.

"Compreenderemos imediatamente a diferença absoluta entre uma destilação alquímica se lembrarmos que o alquimista, tão logo termina uma destilação, recomeça-a misturando de novo o elixir e a matéria morta, o puro e o impuro, para que o elixir aprenda, por assim dizer, a libertar-se de sua terra. O cientista continua. O alquimista recomeça. Assim, referências objetivas a purificações da matéria nada nos podem ensinar a respeito dos devaneios de pureza que dão ao alquimista a paciência de recomeçar. Na alquimia não estamos diante de uma paciência intelectual, mas na própria ação de uma paciência moral que

procura as impurezas de uma consciência. O alquimista é um educador da matéria. (Bachelard, PD, 1988: 73, tradução própria)

Através desses argumentos pode-se compreender o equívoco cometido quando se afirma que as transmutações nucleares modernas são a realização do objetivo maior dos alquimistas - a transformação de metais como chumbo em metais nobres como o ouro. Como bem salienta Bachelard (MR), o trabalho dos alquimistas envolvia o projeto de mudança das qualidades substanciais do metal: transformar o chumbo em ouro era tornar o chumbo mais pesado, torná-lo amarelo, na crença de que a cor possuía o caráter de atributo substancial. Era preciso ensinar ao chumbo como adquirir as qualidades nobres do ouro. A transmutação nuclear envolve um conceito teórico que transcende o substancialismo: trata-se da mudança de número atômico. E não caberia tornar pesado o chumbo para fazê-lo ouro, como pensavam os alquimistas, potencializando a propriedade do primeiro ser mais denso que o segundo. É preciso tornar mais leve o chumbo para fazê-lo igual ao ouro, já que seu número atômico é maior que o do ouro (Au - 79 e Pb - 82).

Assim sendo, a química rompe com a alquimia, ruptura essa ocorrida no nível da concepção de mundo e dos objetivos existentes em cada uma. Na química não se coloca a visão anímica da matéria, típica dos alquimistas. Em um primeiro momento a química buscará na experimentação a forma de conhecer a matéria e suas propriedades regulares. Em outro momento racionalizará esse conhecimento, matematizando-o.

Ou seja, o animismo na química é um obstáculo ao conhecimento científico (3), na alquimia é parte constituinte de sua concepção de mundo. Bachelard (PD), chega a diferenciar o animismo ingênuo centrado no dado imediato, obstaculizador da ciência, do animismo estudioso dos alquimistas. É o 'animismo que transcende as aparências pelas incansáveis experiências, as experiências que os alquimistas fazem com seus devaneios.

Segundo Bachelard (FES), os fatos químicos descobertos pelos alquimistas se impuseram na ciência apesar das idéias alquímicas: eles precisaram vencer toda a resistência do corpo subjetivo da alquimia. E podemos constatar a força dessas idéias através de sua larga aceitação por vários séculos, justificada por Bachelard pela vinculação prévia dos símbolos alquímicos ao inconsciente dos homens. Na alquimia a razão repousa e se fecha em si mesma, pois nela as verdades invariáveis são descobertas subjetivando o objeto.

"Examinada à luz da convicção pessoal, a cultura do alquimista se revela então como um pensamento claramente acabado que recebe, ao largo de todo o ciclo experimental, confirmações psicológicas que revelam bem a intimidade e a solidez de seus símbolos. Em verdade, o amor por uma Quimera é o mais fiel dos amores." (Bachelard, FES, 1947: 48,

O laboratório do alquimista não se instalava apenas no sótão de sua casa, mas no sótão de sua mente, junto aos seus sonhos, seus desejos, sua moral, em íntima relação com sua vida pessoal. Quando o alquimista descobre uma substância, um novo sujeito nasce, é um interior a ser desbravado, as qualidades devem ser conhecidas como se conhece o espírito de um novo ser.

Em um texto alquímico podemos encontrar as seguintes observações acerca do mercúrio.

"(...) é uma substância que não molha as mãos, muito fria ao tato, ainda que muito quente em seu interior, uma água de vida e de morte, uma água fluida e congelada, muito úmida e muito seca, branca e muito negra e de todas as cores, e sem dúvida tem todos os odores do mundo... muito pesado e muito leve, metálico e fúlgido como o talco e as pérolas; verde como uma esmeralda, que contém sob o seu verdor, a brancura da neve e o rubor das papoulas." (Locques, citado por Bachelard, FES, 1947: 188, tradução própria)

Toda subjetividade se vê representada na excessiva adjetivação, reflexo dos prejuízos dos obstáculos animista e substancialista (Bachelard, PF). Mais parecem observações de um homem apaixonado diante da inconstância perdoável do ser amado. Não há a relação sujeito-objeto, mas a relação sujeito-sujeito, um devotando seu amor ao outro. E entre amante e amada existem as paixões, a libido aflora, as palavras nunca são suficientes para expressar os sentimentos, centenas de nomes são dados ao mesmo "ser", pois apenas um não é suficiente para a eloquência do amante. Como afirma Bachelard (FES), referindo-se aos nomes dados pelos filósofos herméticos a sua matéria, "602 nomes para um e mesmo objeto, eis aí o que basta para mostrar que esse 'objeto' é uma ilusão !" (p. 193)

É compreensível que o legado alquímico à ciência posterior seja quase exclusivamente referente aos metais. Só essas substâncias resistem aos métodos de trabalho dos alquimistas: altas temperaturas, longos intervalos de tempo nos processos de calcinação, sublimação e liquefação dos materiais. O processo de purificação é longo, fastidioso e custoso. Exige paciência, dedicação, entrega de corpo e alma. Afinal, não existe valor naquilo que é alcançado sem esforço, não há conquista espiritual sem um quê de renúncia e, até, de sofrimento.

O intenso trabalho nas noites alexandrinas segue à Europa medieval em grande parte devido ao trabalho de difusão do monge franciscano Roger Bacon (1214-1292). Segundo Goldfarb (1987), Bacon valorizava os trabalhos práticos alquímicos, sendo muito menos experimentador do que organizador do saber de sua época - o grande mago medieval buscando tornar científica sua

magia. Assim, difundem-se na Europa as invenções dos alexandrinos, tais como aparatos de laboratório para aquecimento, fusão, destilação, e conhecimentos acerca de diferentes substâncias. Apesar dos símbolos e sonhos em vigília, são muitas as contribuições técnicas que serão posteriormente incorporadas ao campo da ciência química.

Não obstante os obstáculos do obscurantismo alquimista, discordamos de inferências como as descritas abaixo.

"Se [os alquimistas], em lugar de se deixarem levar pelas idéias derivadas da metafísica de Platão e Aristóteles, houvessem se inspirado em Arquimedes, se houvessem aplicado o método densimétrico do grande siracusano para verificar a realidade do ouro e da prata que acreditavam haver obtido por transmutação de metais não-nobres, [talvez] houvessem podido reconhecer o ilusório de seus esforços." (Prelat & Papp, 1950: 29, tradução própria)

Trata-se de colocação improcedente, visto que os alquimistas não pretendiam fazer ciência como Arquimedes. Não eram eles cientistas equivocados em meio ao misticismo, mas místicos que em seus rituais utilizaram técnicas depois aproveitadas pela ciência.

E a alquimia enquanto visão mágico-vitalista do mundo - segundo Goldfarb (1987) - permeou por muito tempo os sonhos dos mais diferentes cientistas. Mesmo Newton, por muitos considerado o primeiro cientista da idade da razão, é considerado por Keynes (citado por Filgueiras, 1988) como o último dos magos. Goldfarb (1987) inclusive aponta para os anseios de Newton em tratar a alquimia segundo os princípios mecânicos, no que não foi bem sucedido, comprovando a incompatibilidade de saberes com concepções de mundo totalmente opostas. Muitos como Newton brilharão na medida em que produzem trabalhos capazes de romper com os próprios sonhos e os sonhos dos homens de seu tempo. Mais que isso, na medida em que conseguem separar o momento do sonho, o devaneio, do momento da razão, a ciência. E tal tarefa ainda é mais árdua na química. Anteriormente a Newton, existiram Copérnico, Kepler e Galileu, há um passado científico na história da física, levando a enxergar o mundo como um mecanismo dotado de sentido, matematizado. A química, por outro lado, se faz existir enquanto ciência no processo de rompimento com a alquimia.

No século XVI, vemos se alterarem com Paracelso (1493-1551) os objetivos da alquimia: sua função não é mais purificar os metais e chegar ao ouro, símbolo do Sol e da perfeição, mas produzir drogas curativas. Além disso, Paracelso faz a primeira reformulação na concepção dos quatro princípios, originária das quatro raízes de Empédocles, depois retomadas como elementos por Aristóteles para explicar o mundo sub-lunar - água, terra, ar e fogo (4). Mantém sua concepção de elemento, mas retira do fogo o caráter elementar, preferindo considerá-lo como um acidente. A partir dele, organiza-se a iatroquímica que tem seu ponto

culminante com Van Helmont (1577-1644). O aprimoramento da técnica, mesmo em meio ao obscurantismo exacerbado dos símbolos, permite conquistas como o reconhecimento de metais dissolvidos em ácidos e da multiplicidade de substâncias aeriformes, as quais passam a ter o nome genérico de gás.

Mas é no século XVII que vemos surgir a ciência química, quando se constata o trabalho experimental organizado e as primeiras teorias químicas se fazem presentes, racionalizando a experimentação.

"Até hoje os químicos sempre pensaram que seu trabalho fosse limitado à preparação de beberagens ou à transmutação dos metais. Em vez disso, eu procuro considerar a química de modo diferente, não como poderia fazer um médico ou um alquimista, mas como um filósofo. Se os homens pensassem nos progressos da ciência mais do que em seu próprio vício de pensar, facilmente se convenceriam... a confiar na observação, e a não enunciar uma teoria sem antes haver feito ensaios e experimentações do fenômeno a que essa teoria se refere." (Boyle citado por Galvão, 1972: 127)

Parte-se para a busca de explicações experimentais, negando a tradição metafísica aristotélica. Se o aristotelismo na física começa a ser rompido com Galileu, na química encontra como primeiro grande crítico Robert Boyle (1627-1691).

A química muda de objetivos: torna-se a busca analítica da composição dos corpos. O obstáculo animista é minimizado, pelo menos no que tange à ciência de ponta da época.

Com Boyle surge a noção de elemento diferente da visão peripatética: são corpos primitivos e simples compondo em último termo todos os demais corpos, por ele chamados "mistos" (compostos). Não se trata mais de uma concepção advinda do senso comum ou da mera observação do mundo macroscópico. Trata-se de um conceito instrumental que se relaciona com a experimentação.

"Boyle foi o líder de uma revolução que, ao modificar a relação do 'elemento' com a teoria e a manipulação químicas, transformou essa noção num instrumento bastante diverso do que fora até ali. Nesse processo modificou tanto a Química como o mundo do químico." (Kuhn, 1987: 181)

Também, junto a Pierre Gassendi (1592-1655), Boyle difunde teorias atomísticas na Europa. Essas teorias enquadravam-se em sua concepção de elemento e nas concepções de ponta da época, sendo defendida igualmente por Newton.

O autor d'O Químico Cético representa na química o espírito do século XVII. Copérnico havia tirado a Terra do centro do Universo, Galileu colocou em novas bases o fazer ciência e Newton construiu o instrumental matemático - o cálculo diferencial - capaz de descobrir o mecanismo do mundo - grande relógio de Voltaire (Beaude, 1987). A força gravitacional explica o movimento dos planetas em redor do Sol, da Lua em redor da Terra e das marés, sob a ação da Lua, mas acima de tudo revela-se a chave da engrenagem capaz de manter tudo em perfeito funcionamento nessa grande máquina.

"Há a penetrante concepção do Universo como máquina; não como uma imagem, mas um mecanismo de relógio. Há a concepção das forças propulsoras dentro da máquina: a mola única da ação da gravidade. Há a brilhante conciliação entre a descrição dos astrônomos e a causa primeira dos teólogos, em que Newton de uma vez para sempre deu forma à noção de causa que perdurou até hoje. (Bronowski, 1977: 33)

Essa nova concepção do Universo constitui uma nova racionalidade, fascinante a muitos cientistas da época que, como Boyle, buscavam entrever uma lógica capaz de apreender os fenômenos da natureza: há o desejo de tornar o mundo inteligível, destituído de magia.

A maneira de Boyle conseguir tal feito na química é rompendo com a concepção dos três princípios - na alteração de Paracelso dos princípios de Aristóteles -, baseando-se nas análises químicas que mostravam serem as substâncias formadas por um número de constituintes muitas vezes diferente de três.

Advém daí a hipótese corpuscular, com a qual Boyle pretende introduzir o mecanicismo na química. Também ele, busca o mundo formado de matéria e movimento.

Mas sua concepção de elemento esbarra em um obstáculo: os químicos da época defendiam que os princípios básicos ou elementos deveriam estar presentes em todas as substâncias indistintamente. E isso é negado por Boyle a partir de suas análises. Ainda não havia a concepção mais moderna de elemento nem tampouco se abria mão totalmente das concepções do estagirita, causando portanto a confusão.

"Um conceito inteiramente diferente de elemento, o de uma substância que não mais pudesse ser dividida, e que não está presente em muitos corpos sem falar de todos, era o que se fazia necessário antes que uma definição moderna de elemento pudesse ser realmente assentada." (Marie Boas citada por Goldfarb, 1987: 189)

Paralelamente são revividas teorias atomísticas por Pierre Gassendi (1592-1655) e Robert Hooke (1635-1703), tanto quanto pelo próprio Boyle.

Ainda sem os contornos de uma teoria claramente referendada pela experimentação, como mais tarde viria a ser nas mãos de John Dalton (1766-1844), a visão atomística da época vinha conceber, no esteio do mecanicismo, a existência de partículas inalteráveis no processo químico, constituintes últimas da matéria extensa. Como afirmam Prelat e Papp (1950), Boyle interpretava as diferenças de reatividade das substâncias como diferenças de forma e movimento dos corpúsculos, ainda que não definindo como seriam essas formas.

Interessante resposta a isso tenta dar Nicolas Lémery (1645-1715). Para o químico francês, a idéia de uma ação mecânica entre as substâncias se mistura à imagem da relação homem-mulher. Como diz Bachelard "já que a libido é misteriosa, tudo que é misterioso desperta a libido." (FES, 1947: 217) E nada mais misterioso para o químico do século XVII do que o mecanismo das reações químicas.

"[Lémery] admitiu para os ácidos partículas pontiagudas que picam a língua e dissolvem, por sua ação mecânica, os metais, separando suas partículas. Se um ácido se reúne com um álcali, os corpúsculos pontiagudos do primeiro penetram nas partículas porosas do segundo." (Prelat & Papp, 1950: 61, tradução própria)

Com Newton, por outro lado, vem a "extensão" do princípio da atração gravitacional à química. Nada havia na física da época que invalidasse o transporte das teorias do infinitamente grande para o infinitamente pequeno. Portanto, nada mais coerente ao pensamento de ponta do século XVIII do que interpretar os fenômenos químicos como resultantes de atrações e repulsões entre os corpúsculos: de acordo com nosso pensamento atual, constatamos que se tratou do erro de analisar o micromundo pelo macromundo, a pretensão de homogeneizar o real, o erro da analogia imediata.

Mais dois séculos seriam necessários para que a teoria da ligação química fosse desenvolvida. E tampouco foi em cima de uma teoria a respeito das interações entre corpúsculos que se deram os primeiros avanços da química do século XVIII. O problema que se colocava fundamental para os químicos ainda era em cima da mística do fogo: a combustão.

No século XVII, químicos como Jean Rey (1582-?) e John Mayow (1641-1679) salientam a intervenção de um componente do ar nos processos de combustão, e Rey chega mesmo a constatar o aumento de peso sofrido pelo metal após a calcinação. Por outro lado Hooke elabora a teoria de que um componente do ar é o solvente universal de todos os corpos combustíveis, com conseqüente produção de calor.

Mas todos esses trabalhos, que desenvolvidos levariam à teoria correta da combustão, são sobrepostos pela teoria de

Boyle, pela qual o fogo atravessa as paredes do recipiente onde ocorre, sendo absorvido pelo metal em combustão. Estava lançado o germen da teoria do flogístico, tão cara à química do século XVIII.

Para Ernst Stahl (1660-1734), retomando teorias de Johann Becher (1635-1682), químico alemão sem maior brilho, extremamente valorizador da alquimia, o flogístico é o fogo fixado na matéria. O metal libera flogístico ao ser calcinado e a cal absorve flogístico ao se decompor. Se fornece e se retira flogístico de um corpo como se fornece e se retira calor do mesmo. As considerações de massa não interessavam a Stahl (a cal é consideravelmente mais pesada que o metal), pois o flogístico é para ele um princípio redutor. Seus defensores, buscando desfazer esse paradoxo, concebem o flogístico como dotado de leveza e mesmo de peso negativo.

Segundo Vidal (1986), encontramos no flogístico o princípio do fogo de Aristóteles, o que tende para o alto, por isso considerado como dotado de leveza. Não facilmente a química se livrou das influências do estagirita.

Mas onde encontramos respostas para o porquê da grande penetração da teoria de Stahl nos meios químicos? Por que os trabalhos de Rey, Mayow e Hooke não são desenvolvidos, construindo-se a teoria correta da combustão? Por que os químicos ainda aceitaram uma teoria baseada em um fluido imponderável?

Muitos são os caminhos para as respostas. Sem dúvida o prestígio de químicos como Boyle e Stahl contribuiu para essa aceitação, mas simplistas seríamos se com isso encerrássemos a discussão. Afinal, apenas prestigia-se o que vai de encontro às nossas expectativas. E quais eram as expectativas dos químicos do século XVIII?

Se químicos de ponta do século XVII haviam rompido com a alquimia e o aristotelismo, isso não significava que o perfil geral da comunidade científica fosse esse. Sonhos, símbolos e princípios unificadores ainda permeavam a razão dos químicos. O fogo que tudo penetrava, ultrapassando mesmo as paredes do recipiente, o fogo que se distingue de qualquer matéria por seu peso negativo, unificador dos processos, possuidor de afinidade indistinta por todos os metais e ametais conhecidos, ainda seduzia os homens.

Por outro lado, a teoria do flogístico era capaz de satisfazer mesmo químicos já desfeitos dos desejos alquímicos. Aqueles que buscavam uma teoria organizada do conhecimento disperso acerca das combustões, capaz de acomodar a razão num esquema confortável: simples e coerente. Como afirma Kuhn (1987), não se pode negar a capacidade dessa teoria ordenar vários fatos químicos, explicar porque os corpos queimam, porque os metais possuem muito mais propriedades em comum do que seus minerais (todos os metais possuem em comum o flogístico), entre outros.

"Stahl não teve necessidade de lutar para impor suas idéias, seu êxito esteve assegurado graças às simples interpretações introduzidas por ela em um vasto domínio dos fatos

empíricos, que careciam até o advento da doutrina do marco de uma teoria unificadora (...) A estreita conexão da teoria com idéias peripatéticas e alquimistas provocou sua rápida difusão. Não se exigia que se rompesse com nenhum hábito do pensamento e permitia aos investigadores adaptar-se a ela sem esforço." (Prelat & Papp, 1950: 70-71, tradução própria)

Vidal (1986), Rosmorduc (1983), Prelat e Papp (1950) são unânimes em afirmar que a teoria do flogístico, em detrimento dos erros, promoveu grande avanço na química. Muitos foram os trabalhos experimentais no século XVIII tendo por base as combustões; inúmeras foram as substâncias descobertas e as investigações de químicos como Henry Cavendish (1731-1810), Joseph Priestley (1733-1804), Joseph Black (1728-1799) e Carl Scheele (1742-1786) forneceram dados determinantes da ruína dessa teoria. Mas sem dúvida não nos parecem argumentos suficientes para sua defesa.

O trabalho empírico, o esforço das experiências cuidadosamente repetidas é a marca da química do século XVIII e esse se dá a favor ou contra o flogístico. E se daria, muito provavelmente, independente dele. Não defendemos ser necessário que a razão se acomode para que exista a tranquilidade necessária para o desenvolvimento científico sereno. O flogístico apenas explicava as combustões e não apenas do estudo das combustões foi feita química do século XVIII.

Concordamos com Bachelard (AR) quando afirma que a história da teoria do flogístico possui um erro fundamental, é uma contradição da química ponderal, tratando-se de uma teoria a ser psicanalisada.

"Um racionalista não pode interessar-se por ela sem uma certa má consciência. Um epistemólogo só pode interessar-se por ela para encontrar motivos de psicanálise do conhecimento objetivo. Um historiador das ciências que nela se detenha deve saber que trabalha na paleontologia de um espírito científico desaparecido. Ele não pode esperar ter uma ação sobre a pedagogia das ciências do nosso tempo." (Bachelard, AR, 1965: 25, tradução própria)

Talvez a figura do químico comum do século XVIII melhor esteja representada por Scheele. Havia sem dúvida experimentadores extremamente voltados para a experimentação lógica e com rigor quantitativo como Cavendish e Black, mas Scheele era sem dúvida mais próximo do explorador de substâncias, figura marcante dessa época. Movia-se pela curiosidade sem planos pré-determinados, constantemente descobrindo novas substâncias.

Como afirmou Jean Baptiste Dumas (1800-1884), Scheele "nunca tocava um corpo sem fazer um descobrimento" (citado por Prelat & Papp, 1950: 91, tradução própria).

Os químicos estão na fase de reconhecimento do seu campo de ação - as substâncias e suas transformações. Não cabe discutir sua estrutura interna, a teoria não atinge o mundo submicroscópico, pois ainda não foi suscitado o interesse para tal - tampouco as condições objetivas para esse estudo existem. Muitos passos a química deveria dar para que a estrutura da matéria fizesse parte do seu dia-a-dia.

Mas o século XVIII reservaria para a química a revolução científica necessária para mudar seus caminhos.

Quando Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794) surge na história da química o trabalho da mão do químico se modifica: antes dele o químico manipulava as qualidades das substâncias; depois dele aprenderá a manipular também as quantidades. O rigor da física alcança a ciência química.

Em sua trajetória, Lavoisier é aquele de perfil mais antagônico a Scheele. Nenhuma substância por ele é descoberta - levando-se em conta que o oxigênio já havia sido isolado por Priestley anteriormente. Seu mérito é o de ter fornecido uma análise quantitativa e um método de interpretação capaz de ordenar todas as descobertas de seus contemporâneos e seus predecessores. Sua linha de conduta advém diretamente de Boyle, e foi aproximada por Cavendish, mas este manteve-se mais arraigado a concepções tradicionais como o flogístico. Lavoisier quantificou a substancialização do químico.

A conservação da matéria não é conceito novo na ciência da época de Lavoisier. Newton, ao definir massa como sendo constante na matéria, já pressupõe sua invariabilidade nas transformações. Outros químicos anteriores a Lavoisier já utilizavam a balança em seus trabalhos, valorizando essa utilização. Lavoisier, porém, irá ter nova interpretação para axiomas já conhecidos. O princípio da conservação conduz o químico francês à idéia da equação química. São os fenômenos materiais não sendo mais concebidos como manifestações do princípio ígneo, mas sendo concebidos, no dizer de Bachelard (MR), como efeitos químicos em seu sentido material.

"Nada se cria, nem nas operações da arte, nem nas da natureza, e se pode elevar à categoria de princípio que em todo processo há uma quantidade igual de matéria antes e depois do mesmo... Sobre este postulado se funda toda a arte de fazer experiências em química; devemos admitir uma verdadeira igualdade ou equação entre os princípios que constituem o corpo em exame e os que formam os produtos da análise do mesmo. Por exemplo, o mosto do vinho dá gás carbônico e álcool; por conseguinte, posso dizer que o mosto de vinho = ácido carbônico + álcool." (Lavoisier, Tratado Elementar de Química, 1789, citado por Prelat & Papp, 1950: 98, tradução própria)

A equação química então se apresenta como símbolo de uma racionalidade, racionalidade estabelecida não como mera expressão de resultados empíricos, mas transcendendo ao empirismo da balança (5). Como bem ressaltou Brunschvicg (citado por Bachelard, NEC), o substancialismo químico vulgarizou a existência nas transformações químicas de uma espécie de *substractum* material, imperecível, eterno, garantidor da conservação da matéria - a soma das massas dos reagentes é igual a somas das massas dos produtos. Embasava-se a química, portanto, em um realismo material de tendência abstrata.

O princípio da conservação da massa é, portanto, o primeiro processo de organização racional da química. Lavoisier não o conclui com o uso da balança, mas o expressa e comprova, pois já havia nele a admissão a priori de que a massa seria conservada.

A partir daí ficam mais claras as experiências de combustão. Priestley já havia isolado o oxigênio, ao qual dá o nome de "ar desflogisticado", conseguindo verificar sua importância para a respiração e para a combustão. Mas não ultrapassa os limites da experiência. Cabe a Lavoisier, conhecedor dos trabalhos de Priestley, constatar que a variação de peso ocorrida na calcinação de um metal se deve a absorção do "ar desflogisticado", ao qual dá o nome usado por nós até os dias de hoje - oxigênio. Inicia-se a derrubada do flogístico.

"A separação dos metais do flogístico transforma-se em união com o oxigênio e inversamente. O flogístico era imponderal, afectado até por um peso negativo. O oxigênio é uma matéria com peso. O flogístico era uma entidade de natureza quase filosófica: o oxigênio é um objeto químico." (Vidal, 1983: 44)

"O flogístico é um *Deus ex machina* dos metafísicos; um ente que aparentemente tudo explica e em realidade não explica nada. É tempo de conduzir a química a uma rigorosa maneira de raciocinar." (Lavoisier, citado por Prelat & Papp, 1950: 105, tradução própria)

Mas uma nova ciência exige uma nova linguagem. Não havia mais como permanecerem sendo usados nomes como açafraão de Março (óxido de ferro), lã filosófica (óxido de zinco), cristais de lua (nitrato de prata), resquícios da alquimia no despertar da química. Essa linguagem revelava as impressões oníricas dos homens, carregava a química de uma poesia obscura. Outros, ao contrário, traziam à tona as origens culinárias: manteiga de antimônio, manteiga de estanho, óleo de vitríolo. Nada traduziam

a respeito das propriedades das substâncias: somente acerca do que essas substâncias provocavam na imaginação dos homens.

Em 1787, Guyton de Morveau (1737-1816), Antoine Fourcroy (1755-1809), Claude Berthollet (1748-1822) e Lavoisier elaboraram o novo sistema de nomenclatura, o mesmo ainda hoje usado. Nele o nome de uma substância revela os elementos componentes e indica a partir de que substâncias o composto foi obtido. Algumas alterações já foram propostas para esse sistema - fundamentalmente a que busca substituir por números romanos a expressão do número de oxidação por sufixos. Porém ainda impera a nomenclatura antiga.

Um ponto interessante a ressaltar na obra de Lavoisier foi a organização dos elementos, da qual, por força de suas teorias, excluiu o flogístico, mantendo todavia o calórico, o fluido ígneo.

A partir do século XVIII a termometria e a construção de termômetros progrediram o suficiente para garantir possibilidades de um campo de trabalho maior para a calorimetria. Nessa época existem em oposição dois conceitos de calor: aquele que vê o calor como fluido de propriedades pouco definidas e aquele que considera o calor como consequência do movimento mecânico. O primeiro conceito é de maior aceitação, sendo que a autoridade de Lavoisier contribui para tanto. A segunda posição é defendida por físicos como Laplace e Macquer, inclusive tendo apoio daqueles que como Rumford fazem experiências constatando a produção de calor pelo atrito.

Em verdade, a teoria cinética só viria a prevalecer a partir de 1840, com Mayer e os trabalhos de determinação do equivalente do calor e depois com Joule e os efeitos térmicos da eletricidade. Até então a visão substancialista de Lavoisier acerca do calor é de maior aceitação entre os físicos e químicos.

Essa posição de Lavoisier, no entanto, não diminui sua importância nem mancha seu caráter de propagador da Revolução Científica na química. Sua concepção estava bem de acordo com a idéia química da época de encarar a substância como um receptáculo para o calor: guardado, gera a maior temperatura do corpo e pode ser liberado em dada transformação. Daí há de ser corpóreo e fluido, capaz de se imiscuir na substância. Independente dessa posição, após seus trabalhos sobre combustão estavam construídos os alicerces capazes de permitir o avanço da ciência química no século XIX.

"[Lavoisier] não descobriu um corpo novo, nem uma propriedade nova, nem um fenômeno natural até então desconhecido. Sua glória imortal consiste nisto: infundir no corpo da ciência um espírito novo." (Liebig citado por Prelat & Papp, 1950: 108, tradução própria)

Após Lavoisier os caminhos estavam abertos para Joseph Proust (1754-1826) e Dalton. Um processo longo ainda deveria ser percorrido para que se aclarassem conceitos como os de elemento, substância, transformação química. Para tanto uma definição

fundamental faltava ser desenvolvida: a de composto, diferenciada de mistura homogênea.

Nesse período nada havia que permitisse ao químico diferenciar solução de composto puro: ambos eram homogêneos, obtidos por diferentes substâncias que modificavam ou perdiam suas propriedades no processo em questão. Dentro desse tema, o qual agitará os meios químicos no início do século XIX, estava a discussão do conceito de substância pura.

Proust trabalhou em cima da determinação da composição dos então chamados "mistos homogêneos" - os quais incluíam soluções e substâncias puras (compostos). Contudo, o mais interessante de suas pesquisas, é que não utilizou as soluções, apenas as substâncias puras. Em verdade, já possuía ele a idéia preconcebida de que a composição seria constante e mesmo os erros da ordem de 20 % em seus resultados não o impediram de defender uma lei por ele considerada natural: a das proporções constantes nos diferentes compostos.

"Precisamos reconhecer uma mão invisível que segura a balança na formação dos compostos. Um composto é uma substância à qual a natureza conferiu proporções fixas, ou, brevemente, um ser que a natureza nunca cria senão com uma balança na mão, pondere et mesura." (Proust citado por Rheinboldt, 1984:1983)

Muito provavelmente, Proust, na sua profunda convicção dessa lei natural, negligenciou propositadamente as soluções. Travou-se, então, a discussão entre Proust e Berthollet. Berthollet insistia em chamar a atenção de Proust para o fato de que os mistos homogêneos (e no caso ele se referia às soluções, ligas metálicas e vidro) poderiam ser obtidos com diferentes quantidades entre as partes.

"Observarei primeiramente que não se pode supor, para sustentar essa hipótese [proporções constantes], uma diferença real entre a dissolução e a combinação; uma e outra são um efeito da mesma ação química, um resultado da afinidade na qual não se pode admitir outra diferença que aquela do grau de energia." (Berthollet, citado por Bachelard, PC, 1973: 49, tradução própria)

Para Berthollet havia uma unidade fenomenológica na natureza: a mesma interpretação era dada aos mais distintos fenômenos, como a formação de uma liga, a dissolução de um sal em água ou a formação de um óxido. Bachelard (PC), examinando a noção de Berthollet acerca da afinidade, conclui que o ato substancial, para esse cientista francês, é inesgotável: se há afinidade entre duas substâncias, nada impede que as combinações

se dêem em quaisquer proporções.

Era preciso compreender as interações em jogo em cada um dos processos, mas essa grande abstração transcendia a química de então. Prevaleceu a teoria obtida pela balança da natureza de Proust. Como afirmam Prelat e Papp (1950), a posição de Proust equivale a definir "como verdadeiras combinações os mistos homogêneos que obedecem à lei das proporções constantes, a lei que se aplica às verdadeiras combinações" (p. 115-116)

Essa tautologia, contudo, se viu perfeitamente explicada pela teoria atômica de Dalton, encontrando assim certo apoio do próprio Berthollet. 'A luz de hoje não podemos senão compreender o acerto de Proust visto que diferenciámos compostos de soluções. Mesmo assim ainda existem as exceções feitas aos compostos que apresentam defeitos não - estequiométricos - os bertolídeos (6) - , não possuindo portanto proporções constantes. O que de forma alguma deve ser encarado como uma frutificação tardia da teoria de Berthollet, pois seu pensamento não incluía a questão dos defeitos estequiométricos. Constata-se somente que a natureza não usa uma balança para controlar a formulação dos compostos; apenas o químico o faz, ou tenta fazê-lo. Ou seja, explica-se "a natureza natural por uma verdadeira natureza artificial" (Bachelard, PC, 1973: 50, tradução própria), no caso representada por compostos puros e perfeitamente estequiométricos.

A teoria atômica de Dalton é uma demonstração de como os caminhos das mãos dos químicos se modificaram no século XIX. Suas conclusões não foram alcançadas por trabalhos empíricos, mas pela abstração primeira das partículas das substâncias. Para Dalton "(...) qualquer átomo de água é igual a qualquer átomo de água; qualquer átomo de hidrogênio é igual a qualquer átomo de hidrogênio (...)" (citado por Prelat & Papp, 1950: 120 ,tradução própria).

Os trabalhos de Dalton foram feitos com regras a priori baseadas em um princípio corrente no século XIX: o mais simples é o mais verdadeiro. Se há possibilidade quantitativa de haver mais de uma fórmula para um mesmo composto, a que indica menor número de átomos por unidade é a correta: a natureza não faz difícil o que pode fazer fácil.

Assim pensando, Dalton, sem nenhum amparo racional ou empírico, apenas com sua convicção de ordem, chegou corretamente às fórmulas de diferentes substâncias. Igualmente cometeu erros, mas seu trabalho de ordenação foi frutífero. Os químicos lograram êxito em determinar as composições das substâncias pelas porcentagens dos elementos nas mesmas: o trabalho iniciado por Lavoisier se completou. A substância passou a ser num todo dominada pela mão do químico. Sua mão pesava as qualidades das substâncias, ainda que não vislumbresse seu interior, anseio maior do químico substancialista.

Equivocadamente se confere à teoria atômica de Dalton uma imagem dos átomos como pequenas esferas, como se seu objetivo fosse o de fornecer essa imagem aos químicos enquanto um conhecimento estrutural do átomo. Seu trabalho, ao contrário, se referia a um átomo indivisível, dotado de massa, capaz de justificar a composição das substâncias, não o porquê da formação ou a forma dessa composição. Para Dalton, os diferentes pesos já eram por si só indicativos de diferentes comportamentos químicos.

Não podemos imputar à teoria atômica de Dalton intenções explicativas próprias das teorias atômicas posteriores, às quais, já tendo o conhecimento macroscópico da substância, voltavam-se para o conhecimento submicroscópico.

Melhor dizendo, a teoria atômica de Dalton parte da substância chegando ao modelo de átomo necessário para a compreensão da mesma. As teorias posteriores buscam explicar o átomo em si: as relações com a substância são consequências posteriores.

Dai ser compreensível considerarmos Dalton como o pai da teoria atômica, mesmo tendo sido essa teoria utilizada, em diferentes níveis, de Demócrito a Boyle e Gassendi. Apenas com Dalton o conceito de átomo mereceu um grau de racionalização capaz de justificar grandemente os fatos químicos - fórmulas das substâncias, leis de Proust e Lavoisier, reações químicas - e permitir também a determinação dos pesos atômicos.

Um obstáculo oferecido pelas teorias de Dalton foi gerado pela inexistência da concepção de molécula. Para Dalton, os átomos de uma substância composta não eram diferenciados dos átomos de uma substância simples e não havia possibilidade de dois átomos iguais unirem-se entre si. Logo, substâncias como hidrogênio (H_2) e oxigênio (O_2) eram representadas por H e O, respectivamente.

Apenas com os raciocínios de Ampère (1775-1836) e Avogadro (1776-1856), em cima das experiências de Gay-Lussac (1778-1850) acerca das reações químicas com gases, teremos compreendida a diferença entre átomo e molécula. Gay-Lussac, a partir de sólida base experimental, conclui que as combinações entre substâncias gasosas ocorrem sempre por relações simples de números inteiros e pequenos. Ampère e Avogadro, trabalhando separadamente, justificam os trabalhos de Gay-Lussac admitindo que o número de moléculas integrantes (termo de Avogadro para designar o que hoje chamamos molécula) em qualquer gás deve ser igual em iguais volumes ou proporcional ao volume. Para tanto Avogadro concebe que as moléculas integrantes podem, no processo reacional, se decompor em moléculas elementares (átomos). Só essa nova concepção justificaria que dois volumes de hidrogênio se combinassem com um volume de oxigênio para formar dois volumes de água (7). Derrubava-se também a idéia da impossibilidade das moléculas diatômicas, mas ainda não existia a explicação de como essa união era possível. Estabelecia-se o princípio de Avogadro e Ampère de que volumes iguais de gases diferentes na mesma temperatura e pressão devem encerrar o mesmo número de moléculas (escrita em linguagem atual).

Jöns Jacob Berzelius (1779-1848), químico sueco de enorme prestígio e que contribuiu imensamente para a consolidação da teoria atômica, reconhecia como falha de Dalton a arbitrariedade em admitir o mais simples como sendo o real e utiliza-se dos trabalhos de Gay-Lussac para corrigir certas conclusões do químico inglês. Ainda que não aceitasse a idéia de moléculas diatômicas por não compreender a possibilidade de ligação entre dois átomos iguais (8).

"Quando se diz átomo em lugar de volume e se

imagina os corpos no estado sólido em vez de no estado gasoso, encontra-se na descoberta de Gay-Lussac uma das provas imediatas em favor da hipótese de Dalton." (Berzelius citado por Rheinboldt, 1983: 1989)

Admitindo a necessidade de se conferir aos números de Dalton maior exatidão, Berzelius trabalha intensamente durante dez anos na determinação dos pesos atômicos. Seu método era determinar fórmulas para as substâncias de modo que não contradissem os seguintes fatos: o isomorfismo (9), as leis de Gay-Lussac e a hipótese de Avogadro (aceita apenas para substâncias gasosas simples), a lei de Dulong-Petit (10) e analogia química.

Movendo-se entre dados mais ou menos precisos - a analogia química se mostrava bastante vaga, na medida em que não havia critérios para distinguir quais propriedades semelhantes levariam a fórmulas análogas -, Berzelius foi de uma eficácia inigualável. Mesmo assim, de início, seu sistema foi abandonado por aqueles que defendiam a utilização de dados com maior valor empírico. Após um desenvolvimento pulverizado no decorrer da história, o atomismo que parecia ter encontrado seu caminho, volta a sofrer novo eclipse, desta vez devido a teoria dos equivalentes.

Equivalentistas assumiram atitudes positivistas, sendo defensores das teses continuístas da matéria, criticando a teoria atômica, como foi o caso de Marcelin Berthelot (1827-1907) e Dumas.

"A atitude de ambos teve na evolução da química do século XX, e particularmente em França, um efeito retardador não desprezável (...) Berthelot, senador, (conseguiu) suprimir de todos os programas oficiais, durante muito tempo, toda e qualquer referência à idéia atômica. Autor de uma Filosofia Química, Dumas chega a declarar: 'Se fosse eu que mandasse apagar da ciência a palavra átomo, persuadido como estou de que ela vai mais longe que a experiência; em química nunca devemos ir mais longe que a experiência'". (Rosmorduc, 1983: 142)

Ainda que em Comte (1877) não se encontre esse desprezo total pelas teorias atomísticas - ao contrário tem ele em alta conta os trabalhos de Dalton - podemos observar os princípios embaixadores das posições de Dumas e Berthelot.

"Não devemos aqui considerar principalmente a transformação, aliás bastante feliz, da teoria atômica, propriamente dita, na teoria dos

equivalentes químicos, a qual oferece um enunciado bem mais positivo, e tende a evitar as perguntas radicalmente inacessíveis que a primeira pode dar origem, quando não é judiciosamente dirigida: essa substituição constituiria, sem dúvida, um melhoramento capital, se não ficasse reduzida a um simples artifício de linguagem, mantendo-se o pensamento real essencialmente idêntico." (Comte, 1877: 104, tradução própria)

Temos a demonstração clara do realismo que não se compromete, não ultrapassa a simplicidade positiva do fenômeno, a determinação objetiva da balança, sua simples utilização, certa e de realidade patente. Deixa-se com isso grande espaço ao irracionalismo do incognoscível. Do século XVIII ao XIX tantos são os tratos dos químicos com a matéria, tantas as novas substâncias descobertas, que não há como não ser seduzido por tamanha realidade.

"Diante dessa realidade abundante, como não se tornar realista !" (Bachelard, PN, 1983: 57, tradução própria)

Como a teoria dos equivalentes não exigia uma abstração acerca da substância, manuseando os resultados brutos de massa, servia como "um suporte do espírito para codificar o empirismo", nas palavras de Vidal (1986: 55). As teorias equivalentistas obstaculizaram o processo de racionalização da química: nada que pretendesse ir além da experiência mereceria crédito. Como iniciar um tratamento acerca da estrutura das substâncias sem que o olhar avançasse além das aparências e não prendesse a mão em um empirismo de primeira instância ?

No percurso até aqui traçado nenhuma referência foi feita à química orgânica, segmento que muito contribuiu para a recuperação da noção de átomo, necessária às noções de valência e estrutura dos compostos orgânicos.

A química orgânica, da forma como é entendida por nós atualmente, era praticamente desconhecida no início do século XIX. Os químicos trabalhavam com diferentes substâncias orgânicas naturais, de origem animal ou vegetal, mas não determinavam sua composição química nem as relacionavam entre si.

As razões para esse atraso em relação à química inorgânica são analisadas por Vidal (1986) como sendo geradas por questões filosóficas e questões técnicas. Entre as questões técnicas coloca o autor a impossibilidade de existência dessa química dos compostos predominantemente de carbono, oxigênio e hidrogênio, antes da descoberta dos três elementos referidos, ou seja, antes de 1780 (ano consensual para a descoberta do

oxigênio, o último dos três elementos a ser descoberto). Acrescenta ainda o autor a necessidade de técnicas de análise que não envolvessem calor excessivo, as quais pudessem preservar os compostos orgânicos, evitando sua decomposição.

Nesse ponto discordamos, pois o avanço técnico se dá concomitantemente à elaboração de teorias capazes de justificá-lo. Exatamente por não ter ocorrido um grande avanço da química orgânica no período anterior ao século XIX é que técnicas mais apropriadas a compostos passíveis de decomposição em altas temperaturas não se desenvolveram.

Através de uma análise do ponto de vista filosófico encontraremos maiores chances de compreender a obstaculização da química dos compostos de carbono. No século XVIII, e também no princípio do século XIX, era corrente entre os químicos a idéia de que para produzir compostos naturais era necessária uma força vital só existente nos organismos vivos, pois só poderia ser gerada por um deus criador.

"Tudo que pertence à natureza orgânica anuncia uma intenção judiciosa e distingue-se como produção de um entendimento superior." (Berzelius citado por Rosmorduc, 1979: 146-147)

"Demonstro que o químico faz exatamente o contrário da natureza viva - ele queima, destrói, opera por análise; que só a força vital opera por síntese - ela reconstrói o edifício abatido pelas forças químicas." (Gerhardt, opinião emitida em 1842, citado por Rosmorduc, 1979: 147)

Trata-se do obstáculo animista, classificado por Bachelard (FES) como verdadeiro fetichismo da vida. A objetividade científica é desnordeada por princípios biológicos que levam a privilegiar o natural e, mais que tudo, o corpo humano. Todo movimento é dito próprio da vida; a concepção vitalista impede abstrações no conhecimento, traz o trabalho para o nível concreto e, principalmente, para o que possui maior valor.

"A vida marca a substância que anima com um valor indiscutível. Quando uma substância deixa de ser animada, perde algo de essencial. Uma matéria que abandona um ser vivo perde importantes propriedades." (Bachelard, FES, 1947: 155, tradução própria)

A teoria vitalista não só foi um obstáculo ao maior conhecimento das substâncias orgânicas, como contribuiu para a

distinção falsa entre química orgânica e inorgânica. A divisão que deveria ser meramente classificatória adquire contornos teóricos diferenciados (11).

Tão imperativo foi o obstáculo animista que mesmo após Wöhler (1800-1882) sintetizar o ácido oxálico em 1824 e a uréia em 1828, os vitalistas não se desarmam. Creditam ao acaso o sucesso de Wöhler. A tão decantada prova empírica não foi suficiente para romper uma filosofia que atinge a afetividade do cientista. O avanço se daria se o empirismo pudesse dialogar com a razão dos químicos, e não com seus conhecimentos carentes de uma psicanálise.

O processo de derrubada da teoria vitalista se constrói rapidamente no século XIX. Outras substâncias orgânicas são sintetizadas "in vitro": hidrocarbonetos, aminas (1850), gorduras (1854), álcool etílico e ácido fórmico (1855), metano (1858), acetileno (1860), etileno (1865), benzeno (1866).

O químico passa a ser, em seu laboratório, o criador de substâncias. Próximos estamos da época em que as substâncias terão suas moléculas construídas parte por parte: uma estrutura na qual a razão se aplicará para o químico produzir.

O último refúgio dos vitalistas, segundo Rosmorduc (1983), estará na dificuldade encontrada pelos químicos em sintetizar isômeros ópticos de uma substância orgânica (levógiro e dextrógiro) separadamente (12). Mas, segundo o mesmo autor, tal fato não chegou a produzir entraves ao desenvolvimento da química orgânica.

O desenvolvimento cada vez maior da química nos séculos XVIII e XIX a distanciou da física. Foi o período do trato com a substância, a tomada de contato com o objeto de trabalho. Mas, a medida que novas descobertas eram feitas na física, foi sendo vislumbrada sua aplicação à química. Aplicação essa por vezes dificultada, segundo Melo (1973), pelo fato dos químicos desconhecerem a matemática.

No início do século XIX os caminhos da física e da química se entrecruzaram a partir da eletricidade. Os trabalhos de Alessandro Volta (1743-1820) com a pilha elétrica, de Michael Faraday (1791-1867) e Humphry Davy (1778-1829) com a eletrólise, sugeriam o desenvolvimento de eletroquímica. Mas uma teoria subjacente a esses fenômenos químicos tinha dificuldades de se desenvolver pela inexistência de conhecimentos a respeito das soluções eletrolisadas: desconheciam-se as interações soluto-solvente.

Berzelius chegou a estabelecer a teoria eletroquímica, que trataremos mais adiante, porém buscava com isso fornecer explicações para as ligações nos compostos químicos.

Na segunda metade do século XIX começa a surgir nova geração de químicos, pioneiros na estruturação de novo ramo da ciência: a físico-química. Entre os nomes dessa geração podemos incluir: Henri Le Châtelier (1850-1936), Jacobus Van't Hoff (1852-1911), Wilhelm Ostwald (1853-1933), Svante Arrhenius (1859-1927) e Walter Nernst (1864-1941).

A química inicia com eles um processo de matematização

capaz de fazer crescer sobremaneira sua capacidade de racionalizar. Nesse ponto inicial ainda se vê a matemática apenas como linguagem que expressa os fenômenos físico-químicos. O diálogo da razão com o empirismo ainda não se constituiu, mas aos poucos maior espaço é dado à racionalização abstrata, havendo o desenvolvimento do que Bachelard (RA) denomina solidariedade entre a matemática e a experiência.

Isso pode ser analisado pelo papel representado na ciência química por Henri Le Châtelier. Le Châtelier era francês e, segundo Melo (1973), possuidor de sólidos conhecimentos matemáticos, tendo se diplomado como engenheiro de minas e sendo franco adepto do positivismo de Comte. Possuía o perfil do pesquisador que desprezava teorias não embasadas em fatos e teve um trabalho na química extremamente voltado para a aplicação industrial. Talvez nenhum outro seja tão representativo da ciência química nessa quase virada de século: a ciência que com a produção de corantes e alvejantes, com lâmpada de segurança nas minas e as mais diferentes técnicas de fabricação favoreceu e se viu favorecida, mais que qualquer outra ciência, pelo desenvolvimento industrial.

Nessa época, surgem os trabalhos de Guldberg (1836-1902) e Waage (1833-1900) com o conceito de equilíbrio químico - enunciando a lei de ação das massas -, os trabalhos de Van't Hoff (também ele um defensor de Comte) envolvendo influência da temperatura em reações endotérmicas e exotérmicas e os trabalhos de Gibbs (1839-1903) com as regras das fases. Baseado nesses trabalhos e em suas observações experimentais, Le Châtelier generaliza o comportamento dos sistemas em equilíbrio no seu princípio da moderação (hoje denominado Princípio de Le Châtelier): um sistema em equilíbrio se desloca no sentido de restabelecer as condições iniciais, na medida em que é feita uma alteração nessas condições.

Igualmente foram desenvolvidos por Arrhenius os trabalhos acerca das soluções eletrolíticas, surgiram os trabalhos de Wilhelmy (1812-1864) com velocidade das reações, as primeiras teorias para o fenômeno da catálise e os trabalhos de Nernst no campo da termodinâmica e da eletroquímica.

Esses são apenas alguns exemplos capazes de mostrar o enorme avanço da química no campo das suas relações com a física. Podemos mesmo colocar que na primeira década do século XX a físico-química é um ramo da química plenamente desenvolvido e capaz de fornecer modelos explicativos para os mais diferentes campos dessa ciência (13). O químico, de posse da matemática e dos princípios da física, passou a dominar campos até então desconhecidos, como o referente às soluções e às trocas de energia nos processos químicos, o que sem dúvida promoveu maior compreensão acerca das reações químicas. O conhecimento sai da pergunta "como ocorrem" para a pergunta "por que ocorrem" as reações químicas.

Exemplo inicial de um processo de racionalização químico encontramos no quadro periódico de Dmitri Mendeleiev (1834-1907). Com o trabalho do professor russo nasce uma metaquímica. Não se contentou ele em estudar fatos e deles tirar suas leis invariantes: buscou a ordem racional das substâncias.

Analisando as propriedades dos elementos, Mendeleiev

enunciou a lei que afirma serem as propriedades dos elementos químicos uma função periódica de seus pesos atômicos. Segundo Trifonov e Petryanov (1984), Mendeleiev foi montando a tabela periódica tendo em mãos cartas representativas de todos os 63 elementos então conhecidos. Um ponto muito característico de sua forma de raciocínio foi a montagem do quarto período da tabela. Iniciou-o com o potássio (peso atômico $A = 39$), abaixo do sódio ($A = 23$), devido à semelhança de propriedades entre esses elementos. Ao lado do potássio colocou o cálcio ($A = 40$), este abaixo do magnésio ($A = 24$), pelo mesmo motivo anterior. O próximo na ordem de crescimento dos pesos atômicos era o vanádio ($A = 51$), mas este foi posto de lado, permanecendo aí um espaço vazio. O espaço vago já se mostrava injustificável para os químicos da época. Como se não bastasse, após esse espaço Mendeleiev colocou o elemento titânio ($A = 52$) ao invés do vanádio ($A = 51$). E mais: ousou alterar o peso atômico do titânio de 52 para 48, colocando o vanádio após o titânio, sendo seguido do cromo ($A = 52$) e manganês ($A = 55$). Baseado em conhecimentos acerca das propriedades dos elementos, o coerente com sua lei periódica seria o titânio possuir peso atômico menor do que o do vanádio; por conseguinte concluiu o químico russo que o peso atômico daquele elemento só poderia estar errado. Hoje sabemos ter o titânio peso atômico igual a 47.9.

"Tendo dúvidas sobre certos pontos obscuros, eu nunca por um minuto duvidei da generalidade da conclusão a que havia chegado, porque era impossível considerar esse fenômeno como sendo mero acaso." (Mendeleiev citado por Trifonov & Petrianov, 1984: 15, tradução própria)

Para os espaços vagos de sua tabela, Mendeleiev apresentou a explicação de que eram elementos a serem descobertos. E predisse inclusive suas propriedades e pesos atômicos, os quais, após a descoberta dos respectivos elementos, foram confirmados com pequena margem de erro. Como afirma Kolodkine (1963), trata-se da primeira vez na história da química que um novo elemento é descoberto no papel antes de haver sido isolado no laboratório.

A teoria se antecipou ao fato, o real configurou-se numa realização racional.

"Que mais bela prova podemos ter do caráter racional de uma ciência das substâncias que chega a predizer, antes da descoberta efetiva, as propriedades de uma substância ainda desconhecida ? O poder organizador do quadro de Mendéléeff é tal que o químico concebe a substância no seu aspecto formal antes de a compreender sob as espécies materiais. O gênero comanda a espécie." (Bachelard, PN, 1983: 57-58, tradução própria)

Não se trata mais de esperar do real o que ele empiricamente nos transmite. O processo de conhecimento se faz muito mais no processo de realização. A teoria não se constitui a partir do real, mas é capaz de constitui-lo, buscando não deixar nenhum espaço ao irracional. Realizando é que se conhece a realidade.

"É preciso forçar a natureza a ir tão longe quanto o nosso espírito." (Bachelard, PN, 1983: 36, tradução própria)

Como parecerão essas colocações aos olhos do químico no laboratório ? E suas mãos: como se sentirão elas, capazes de tocar nas substâncias reagentes, misturá-las, modificá-las, sendo de repente colocadas a criar e não a reproduzir a natureza ? Afinal o realismo é monótono, mas contém implícita uma razão segura porque monocórdia, previsível, sem riscos. Mas essa segurança não permite o avanço da ciência. É preciso haver a ruptura com os princípios constituídos, o risco da racionalidade a cada experiência. A razão que se volta para a constituição do desconhecido há de ser plural - nas suas formas de existir e não apenas nas suas manifestações -, polêmica, surracional.

"Colocando naturalmente o objecto antes do conhecimento, o realismo entrega-se à ocasião, ao dado sempre gratuito, sempre possível, nunca acabado. Pelo contrário, uma doutrina que se apóia sobre uma sistematização interna provoca a ocasião, constrói o que não lhe é dado, completa e acaba heroicamente uma experiência desarticulada. Por conseguinte, o desconhecido é formulado." (Bachelard, PN, 1983: 58, tradução própria)

Ao químico cabe reformular o trabalho das suas mãos pela aplicação teórica. A química lavoisieriana se fez no campo da análise, da descoberta das novas substâncias na natureza. A química não-lavoisieriana tem na síntese sua base. De posse da teoria concernente à estrutura das substâncias, um químico faz reações cujos produtos se mostram totalmente novos na natureza. Um químico orgânico se mostra por vezes o próprio engenheiro de moléculas: como num jogo, conhecendo-se as regras é possível exercer o lúdico de manipulá-las e mesmo romper com elas, criando uma nova ordem. Mais do que numa realização, podemos falar numa substancialização.

O processo que levou a essa crescente desrealização do arsenal químico pode também ser estudado a partir de uma visão histórica da ligação química.

Anteriormente já havíamos colocado o modelo de Newton da

atração e repulsão entre corpúsculos, visando explicar os fenômenos químicos. Temos uma primeira noção da afinidade como uma noção física.

Berzelius, em 1812, apresenta uma concepção igualmente influenciada pelo mecanicismo newtoniano, a qual visa comparar a força da afinidade química com a força mecânica. Seu objetivo claro era de, um dia, levar a química a poder expressar em números as afinidades dos elementos nas substâncias, tal como se expressavam forças mecânicas.

Tendo por base sua visão de afinidade e sua teoria eletroquímica, Berzelius desenvolve o sistema dualístico dos compostos químicos, teoria essa que, segundo Prelat e Papp (1950), exerceu influência desfavorável na evolução das idéias dos químicos. Segundo Rheinboldt (1984), o objetivo de Berzelius era de construir uma teoria capaz de permitir certa ordenação nos fatos e idéias científicas da época. Esse objetivo foi sem dúvida alcançado e suas implicações desfavoráveis se deveram mais a não percepção dos limites explicativos da teoria.

Resumidamente, Berzelius afirma que:

"Os átomos simples e compostos são eletropolares; na maior parte deles, um dos pólos está dotado de uma força preponderante, cuja intensidade varia de acordo com a natureza da substância. Aquelas substâncias em cujos átomos o pólo preponderante é o positivo, se chamam eletropositivas e no caso de ser o pólo negativo o predominante, se chamam eletronegativas. As primeiras se dirigem segundo a corrente elétrica do pólo positivo ao negativo e as últimas do lado negativo ao positivo." (Berzelius citado por Prelat & Papp, 1950: 145-146, tradução própria)

Nessa concepção, a ligação química assume para Berzelius uma natureza elétrica e as substâncias passam a ser representadas nesta dualidade: $SO_3.Na_2O$ para o caso de Na_2SO_4 , por exemplo. Ainda que o químico sueco afirmasse que tal representação indicava um todo contínuo, onde não se encontravam as partes constituintes, não deixa ele de ressaltar, segundo citação de Rheinboldt (1984), que, baseado em sua teoria, o sulfato de soda (sulfato de sódio, em nossa linguagem atual) não consiste de enxofre, oxigênio e sódio, mas sim de ácido sulfúrico $[SO_3]$ e soda $[Na_2O]$. Sua teoria reforça assim a visão substancialista, pois na representação enxerga-se um todo que guarda seus componentes, e não uma relação geradora de novo composto.

Com essa teoria, Berzelius explica claramente as reações então concebidas como de dupla troca ($AB + CD \rightleftharpoons AD + CB$) ou de deslocamento ($AB + C \rightleftharpoons AC + B$), onde nos produtos a polaridade elétrica se encontra melhor neutralizada (14).

Igualmente, em 1818, Berzelius arranja os corpos simples

Igualmente, em 1818, Berzelius arranja os corpos simples numa série eletroquímica por ordem de eletronegatividade, a qual se assemelha a nossa série moderna de potenciais de eletrodo (15).

A teoria de Berzelius, por ser essencialmente eletrostática, aplicava-se corretamente aos compostos inorgânicos. Quando Dumas sistematizou a teoria da substituição nos compostos orgânicos, encontrou a oposição de Berzelius. Já existia na química a noção de radical como parte invariável de uma substância nas reações, a qual se somou aos conhecimentos dos fenômenos de substituição nas reações orgânicas. Eram teorias capazes de relacionar as propriedades das substâncias com grupos de esquemas estruturais, sem nenhuma hipótese que justificasse as ligações entre esses grupos.

Berzelius se opôs à teoria de Dumas por possuir ela o pressuposto experimental de que um átomo de hidrogênio (eletropositivo) pode ser substituído por um átomo de cloro (eletronegativo) no processo de formação do derivado halogenado. A dificuldade residia no fato de não se ter meios de compreender a teoria das ligações covalentes. O avanço das teorias na química orgânica exatamente possibilitava maior compreensão da covalência, o que até certo ponto sofreu o bloqueio gerado pelas concepções de Berzelius (Ferreira, 1980).

Gerhardt com a teoria das séries homólogas - os compostos de uma série homóloga variam entre si de um ou mais grupamentos CH_2 - e depois a teoria dos tipos - as substâncias orgânicas derivam de moléculas simples ou compostas de poucos átomos que são tipos de base - , acabaram por culminar na teoria de valência de Kekulé (1829-1896). Esta última, admitindo o carbono como tetravalente, podendo se ligar de forma múltipla, formando cadeias, foi instrumento efetivo no desenvolvimento da química orgânica estrutural.

Quando surge a necessidade de representar estruturalmente as propriedades ópticas das substâncias químicas, as quais não conseguem ser explicadas por representações no plano, tem-se a idéia de Le Bell (1847-1939) e Van't Hoff de supor o carbono no centro de um tetraedro regular. Com isso surge a constatação de que o carbono assimétrico leva à isomeria óptica.

O simbolismo químico se complica, na medida em que a ciência progride pois a ciência se complica ao progredir. As representações estruturais adquirem cada vez mais uma realidade racional enquanto perdem em realidade empírica.

Da representação da substância água como H_2O até sua representação tetraédrica, indicando a existência dos pares eletrônicos não-ligantes, têm-se os passos das diferentes racionalidades químicas. De início era a representação que indicava as relações de massa da substância, expressava sua estequiometria, mas nada dizia sobre as ligações entre os átomos, nem fornecia subsídios para a compreensão das propriedades das substâncias frente às demais. A fórmula angular envolve conhecimentos de estrutura molecular, informa perspectivas de reação e possíveis propriedades. E o refinamento das fórmulas alcança seu ápice com os mapas de densidade eletrônica. Como afirma Bachelard (MR), institui-se uma verdadeira cartografia da molécula.

Mas a grande revolução da química não-lavoisieriana do século XX vem com a introdução das novas descobertas da mecânica quântica no âmbito da química, mais exatamente no campo da ligação química. A descoberta do elétron, o modelo atômico de Bohr e o modelo quântico permitem uma matematização crescente a qual levará a maior compreensão da ligação química. Com o modelo de Kossel e Lewis (1916) já surge a noção de estabilidade conferida pela configuração do gás nobre e a idéia da ligação formada por um par de elétrons. Com Heitler e London, em 1927, surge o primeiro tratamento teórico quantitativo: a ligação é descrita em termos quânticos como um sistema de mais baixa energia que os átomos separados. A afinidade adquire novo sentido. Todos os modelos posteriores - teoria dos orbitais moleculares, do campo auto-consistente - trabalharão em cima da noção de energia transformando o realismo materialista em realismo matemático.

II.3 - A Química Não-Lavoisieriana

A partir desse painel sucintamente traçado, podemos conduzir os raciocínios capazes de nos fazer compreender o perfil da ciência química contemporânea. Definida como "a ciência que tem por objeto a constituição íntima dos diversos corpos, das suas transformações e das suas propriedades" (Rosmorduc, 1983: 17), a química tem na substância palpável, concreta, sua matéria de trabalho. A substância que o químico manipula e da qual busca conhecer as unidades fundamentais.

Dai a postura substancialista e realista que por muito tempo constituiu a base dessa ciência, cujo traço de manualidade é ainda forte, sendo vista como a ciência experimental por excelência, a ciência da bancada de laboratório, encontrando-se extremamente ligada à tecnologia. Muito mais que a física, pois essa ligação não se dá apenas no sentido real, mas na sua imagem amplamente difundida.

A química do século XX, denominada por Bachelard química não-lavoisieriana, lança vozes contrárias ao substancialismo realista, ainda que ele permaneça presente em diversos campos dessa ciência. Existe uma dificuldade inegável em se falar de uma interpretação racional da química: a herança histórica do que começou nos sabores da cozinha e nas utilidades práticas artesanais é essencialmente materialista, anti-metafísica. Podemos perceber no químico a tentativa constante de concretizar o que é abstrato, dar o caráter de real ao que é modelar, tornar palpável o que possui existência racionalizada e se perde para o olhar.

Bachelard (PN) demonstra claramente o estabelecimento de um racionalismo na química, ainda que esse racionalismo comande todo um exército de realistas. Como já tivemos oportunidade de abordar (ver II.1), não há mais espaço para o racionalismo que não se renova ou para o empirismo de primeira aproximação; o empirismo precisa ser compreendido e o racionalismo, aplicado.

A química, em seu processo de evolução, rompe com o imediato e abre espaços para o construído, criando e atuando sobre a natureza através da técnica. Não temos mais a ciência natural, lidando fundamentalmente com processos de extração e análise, mas uma ciência elaborada sobre as bases de uma fenomenotécnica, rompendo com o substancialismo.

O substancialismo, para o qual já apontamos em alguns pontos dos textos anteriores, é considerado por Bachelard (FES) um dos grandes obstáculos ao conhecimento científico na química, a qual não é a única ciência em que esse obstáculo se apresenta, mas é aquela que o elege preferencialmente.

Para o conhecimento químico obstaculizado pelo substancialismo vigora o mito do interior, do mais profundo íntimo que encerra a qualidade. Essa qualidade guardada é tão mais valorizada quanto mais oculta, mais situada nas profundezas da substância: uma qualidade é tão mais substancial quanto mais íntima.

Estabelece-se então o que Bachelard (FES) classifica como substancialismo do íntimo articulado ao substancialismo do

oculto.

"(...) para o espírito pré-científico, a substância tem um interior; melhor, a substância é um interior." (Bachelard, FES, 1947: 99, tradução própria)

Assim o alquimista, cujo substancialismo se anima, como já tratamos, do fetichismo da vida, encara a substância como uma caixa a ser aberta (16), a fim de que se revelem seus segredos. No diálogo de amor estabelecido nas práticas alquímicas, nada mais evidente do que o desejo do sujeito-amante-manipulador conhecer os mistérios do sujeito-amada-substância. E, como consequência, ter seu discurso impregnado de imagens: é a substância estojo que ora contém o fogo, ora contém a vida.

Mas como bem aponta Bachelard (FES) o substancialismo se alterna do interior ao exterior, buscando no profundo as justificativas do evidente. Portanto, a idéia substancialista também se caracteriza pela noção de qualidade evidente, a qualidade superficial, dada ao empirismo imediato de um realismo estreito. Nessa perspectiva, um conjunto de propriedades é visto como pertencente a dada substância; na substância encontra-se a razão única para todas as suas qualidades, não podendo haver variação de qualidade sem variação da qualidade substancial. Em outras palavras, a qualidade é um atributo da substância, nunca sendo encarada como fruto das relações entre as substâncias. A afirmação "o ácido clorídrico é um ácido forte" só tem sentido se for discutida em relação a que substância discutimos o caráter ácido, é preciso fazer menção ao solvente utilizado: água ou ácido acético glacial? Como afirma Bachelard (PC) as substâncias químicas são inteiramente relativas umas às outras, embora o substancialismo assim não o conceba.

Igualmente não se considera a relação da propriedade substancial com a técnica. Um exemplo disso é dado por Bachelard (MR) no exame da cor do metal ouro. O amarelo, evidente ao conhecimento comum, é, dentro da idéia substancialista, exemplo típico de um predicado do ouro. Em qualquer propriedade desse metal a propriedade de ser amarelo deve se evidenciar.

No entanto, não é o que se dá na fenomenotécnica. Lâminas muito finas de ouro apresentam um jogo de cores variadas de acordo com a espessura. Obtem-se assim o ouro verde, o ouro azul, rosa-violáceo, transcendendo ao simples amarelo natural. Percebe-se que a natureza é pobre em fenômenos comparada com o que o homem promove pela técnica articulada à razão.

Haverá sentido, pois, em se considerar a química como ciência natural? Diz Bachelard (MR) que o químico pensa e trabalha em um mundo recomeçado. Se a natureza possui ordem, a química não se faz a partir dessa ordem: o químico constrói uma ordem artificial sobre a natureza.

A obstaculização substancialista sobre o conhecimento químico foi apontada anteriormente quando tratamos das teorias de ligação química de Berzelius (ver II.2): dentro da não aceitação pelo químico sueco de que o cloro substituísse o hidrogênio na

formação de um derivado halogenado, estava a concepção de que não havia como o cloro modificar seu caráter eletronegativo em função do composto no qual se estruturasse. Ser eletronegativo era, para Berzelius, um predicado do cloro.

Em Bachelard (FES) encontramos iguais exemplos dos equívocos cometidos pelo apego à concepção substancialista. Em um livro didático do início desse século temos: "O mentol, a mentona e o acetato de metila sabem a menta". A presença do prefixo ment parece garantir, sem sombra de dúvida, a equivalência nas propriedades organolépticas. Todas as espécies citadas contêm o ment, logo todas sabem a menta.

Contudo, trata-se de generalização equivocada: é preciso que o prefixo se refira ao radical osmóforo. Se o grupo osmóforo não é alterado não há porque o odor se alterar. Isso se dá entre as espécies citadas, mas como se daria se tratássemos de etano, etanol e acetato de etila? Nenhum deles sabe ao éter, pois não é a presença do radical etil que garante essa propriedade. Os derivados etanol e acetato de etila nada têm do composto de origem, etano: um corpo pode servir para produzir propriedades que não possui.

Ademais, salientará Bachelard (FES) não é o mentol que sabe à menta, mas a menta que sabe ao mentol: o mentol é que constitui a menta. Desejando-se o sabor de menta, é preciso se partir para a síntese de um composto possuidor do grupamento osmóforo do mentol.

Bachelard (FES) também enfatiza a existência, no substancialismo da qualidade evidente, de explicações das diferentes manifestações da qualidade íntima, a partir de uma intensidade variável da essência. Essa característica leva a um erro comum na química, principalmente no aprendizado inicial dessa ciência. Se a presença do próton (H^+) garante acidez, quanto mais hidrogênio houver na substância, maior a acidez. Com essa análise diríamos que o H_3PO_4 aquoso é bem mais ácido que o HCl aquoso, o que não se aplica na realidade (17).

Após essas considerações concluímos o quanto a definição de Rosmorduc (1983) para a química se mostra imprópria. A razão química constrói substâncias, não apenas as transforma, o termo íntimo só evidencia o obstáculo substancialista e as propriedades não são mais encaradas como atributos das substâncias.

"A atribuição de uma qualidade a uma substância era outrora de ordem descritiva. O real tinha apenas que ser mostrado. Era conhecido desde que fosse reconhecido. Na nova filosofia das ciências, é preciso compreender que a atribuição de uma qualidade a uma substância é de ordem normativa. A atribuição fixa as possibilidades coerentes. O real é sempre um objeto de demonstração." (Bachelard, PN, 1983: 89-90, tradução própria)

Com o advento da mecânica quântica, o substancialismo perderá completamente seu sentido. Cada elétron será

individualizado, na substância, por quatro números quânticos a partir de cálculos de probabilidade. O objeto de estudo químico, então, se matematiza, a substância adquire organização matemática, a ciência química caminha em direção oposta ao realismo.

"Expressemos portanto esta dupla supremacia do número sobre a coisa e do provável sobre o número por uma fórmula polêmica: a substância química não é mais do que a sombra de um número." (Bachelard, NEC, 1983: 86, tradução própria)

Rompendo com o já estabelecido, se institui outra racionalidade, não-substancialista, totalmente sem precedentes. A razão química, em seu diálogo com a técnica, avança no processo de realização do possível. E como afirma Bachelard (PC), o possível nunca é gratuito, mas já está incluído em um programa de realização, já ordena experiências para a realização. O possível não é o que existe naturalmente, mas certamente pode ser produzido artificialmente.

Esse programa de realização das substâncias já se vê inscrito nas fórmulas das mesmas. No dizer de Bachelard (PN), as fórmulas químicas deixam de ser uma representação e passam a ser uma **apresentação** sugerindo experiências. A fórmula torna-se o substituto racional que indica as possibilidades claras de experiências a serem desenvolvidas. Através dela constata-se as experiências possíveis e impossíveis. A fórmula é uma forma de raciocínio.

Outro conceito que nos coloca diante do processo de realização química é o de pureza das substâncias. A pureza das substâncias pertence ao reino humano, à fenomenotécnica, não pertence ao reino natural. Não existe critério de pureza dissociado da técnica de purificação (Bachelard, ECA). Uma substância purificada por determinado método pode apresentar impurezas se submetida à análise por método diverso.

É o caso, discutido por Bachelard (ECA): o cloreto de potássio puro contém cloreto de sódio detectável apenas por análise espectral. Por conseguinte, podemos afirmar que o cloreto de potássio é quimicamente puro, mas não é espectroscopicamente puro.

Associando-se ao método, existe também o fato de utilizarmos no processo de purificação substâncias que possuem o aval de pureza conferido pela cidade científica.

Ao contrário, então, do que o conhecimento comum pode perceber, afirmar que uma substância é 100 % pura não indica um produto perfeitamente purificado, o qual será certamente utilizado em experimentos refinados. Esse percentual absoluto apenas indica não haver sido utilizada uma técnica suficientemente fina para detectar traços mínimos de impurezas. Só quando se tem conhecimento dos valores de impureza acima de zero, pode-se decidir se o reagente se aplica a este ou aquele tipo de análise: o 0 % de impurezas nada informa sobre a pureza

de uma substância. Daí Bachelard (PN) dizer que o conceito de pureza só é válido para substâncias impuras.

Dessa forma, uma dada substância natural não é considerada pura enquanto a técnica socializada não a tiver purificado.

"É necessário fazer existir corpos que não existem. Quanto aqueles que existem, o químico deve, de alguma forma, refazê-los para outorgar-lhes o status de pureza conveniente, para colocá-los em igualdade de 'artificialidade' com outros corpos criados pelo homem." (Bachelard, MR, 1972: 22, tradução própria)

A química não-lavoiseriana faz o químico rever suas posições: a substância escorrega das suas mãos e com ela as fáceis e sedutoras imagens geométricas. Não mais podemos pensar no carbono tetraédrico e no átomo planetário como sólidos em miniatura. A ligação iônica não se explica simplesmente pela atração de cargas pontuais, na medida em que temos de pensar também na ligação covalente apolar - como se ligam os átomos que não se atraem eletrostaticamente? As ligações por ponte de hidrogênio questionam a monovalência desse elemento singular. A mesomeria inclui a interdição da localização absoluta no nível da estrutura molecular. O realismo geométrico fracassa em todas as instâncias.

Como afirma Bachelard (NEC) a substância na sua complexidade matemática é pouco mais que uma chance de reação. A matematização crescente não se coloca apenas como linguagem, mas como ordenadora do pensamento e do fenômeno.

"(...) a química contemporânea não poderia portanto, ser espacial, ela é probabilística. Segue-se uma luta entre um espírito desejoso de solidificação ou de imagens e uma química que as retira no momento em que parece caucioná-las." (Dagognet, 1986: 17)

A razão, portanto, não simplifica, não é o olho divino cada vez enxergando mais na escuridão, movendo-se do terreno pantanoso ao terreno das idéias claras e das partículas fundamentais que tudo explicam. A complexidade aumenta na medida das nossas realizações e da própria subdivisão da matéria: estranho ardil que faz a parte se mostrar mais obscura que o todo, além de não explicá-lo.

"(...) se as substâncias químicas compostas, se as substâncias elementares se revelaram possuidoras de estruturas complicadas em que

as leis da organização dão lugar ao pensamento racional, não será no nível do elemento último, por exemplo no nível do elétron, que deve ser associada, desta vez solidamente, a noção de substância, a raiz do real ? Ora é precisamente nesse nível que a revolução do pensamento contemporâneo se torna extraordinária." (Bachelard, PN, 1983: 63, tradução própria)

O elétron não é um corpúsculo no sentido que se dá comumente ao termo - corpo pequeno, obtido pela divisão sistemática da substância -, nem tampouco possui as propriedades substanciais. Não possui forma nem dimensão mensurável, antes apresenta um espaço de atuação: ora como onda ora como partícula, não sendo tão somente uma coisa nem outra, nem tampouco síntese das duas. E diante de seu contrário aniquila-se, não havendo conservação da massa, exceto por sua transformação em energia. Como se revela então sua identidade ? Transcende a nossa simples imaginação cartesiana.

Mas o elétron, desvinculado do átomo, mais se aproxima do campo da física, diriam substancialistas convictos. Fiquemos com os átomos, esta partícula fundamental tão cara aos químicos, ou, ainda melhor, nos restrinjamos às moléculas: a menor parte de uma substância que guarda as suas propriedades, como bem gostam de definir nossos mestres nos bancos de escola (18).

Pois pensemos então na molécula, imaginemos uma única molécula de água, líquido por nós muito conhecido. Quem nos responderá qual o estado de agregação desta molécula: líquido, sólido ou gás ? Será ela capaz de nos matar a sede como o faz a água que nos sai das torneiras ? Possuirá ela tensão superficial, densidade, viscosidade ? Será ela água ?

Vê-se que não é possível conceder à molécula propriedades da substância, as quais existem como fruto de uma coletividade de milhões de moléculas interagindo umas com as outras. Não podemos, portanto, conferir os mesmos coeficientes de realidade para entidades diversas sem levar em conta a teoria subjacente a essa realidade. O coeficiente de realidade de uma molécula não é igual ao da substância: a substância possui realidade empírica enquanto a molécula possui uma realidade constituída pela teoria molecular por nós utilizada. Acima de tudo a molécula é um instrumento para o uso da razão.

"(...) seria demasiado cômodo entregar-se uma vez mais a um realismo totalitário e unitário, e responder-nos: tudo é real, o elétron, o núcleo, o átomo, a molécula, a micela, o mineral, o planeta, o astro, a nebulosa. Em nosso ponto de vista, nem tudo é real da mesma maneira, a substância não tem, em todos os níveis, a mesma coerência; a existência não é uma função monótona; não pode afirmar-se por toda parte e sempre no mesmo tom." (Bachelard,

Mas independentemente da química de ponta romper com seu passado estreitamente ligado ao positivismo da balança e ao realismo do empirismo imediato, o mesmo não se dá entre muitos químicos e, principalmente, professores de química. Um obstáculo que se observa no trabalho do químico e, mais ainda, no ensino de ciências químicas, é gerado pela tendência que o químico tem de dar valor real às estruturas racionais. Não podendo manipular as moléculas, nem vê-las, sente o químico a ânsia de concretizar a matéria de seu trabalho. E o faz visualizando as fórmulas como se fossem representações do real. O mesmo ocorre com os diferentes modelos atômicos, dos quais são feitos desenhos que ganham existência empírica nas mãos de químicos realistas. Não se trata do olhar racional enxergando uma teoria, mas o olhar de quem quer sentir nas pontas dos dedos a realidade da coisa. Aquele que vê elétrons pontuais elipsando em torno de um núcleo massivo quando se coloca diante dos postulados do modelo atômico de Bohr.

É fácil imaginar a revolução provocada entre os químicos a partir das teorias da microfísica. Como visualizar zonas de probabilidade? De concreto, o que é uma partícula-onda? Como segurar com as mãos o movimento daquilo que ora é ora não é? O edifício bem construído por químicos substancialistas perde seus alicerces; faz-se o malabarismo de manter sua estrutura sobre um terreno de areia movediça.

Como diz Bachelard (AR), instaura-se a derrota do coisismo, pois elétrons, fótons, prótons são coisas não-coisas, dadas suas propriedades singulares. Mas isso não impede químicos e, principalmente, professores de química, de falar nas colisões entre as moléculas como se fossem bolas de bilhar. Perigosa metáfora senão for vista enquanto tal, suporte de uma teoria. Leva-nos a tal concretização, que passa a ser um obstáculo à compreensão de concepções não corpusculares.

Encarando-se a molécula como corpúsculo - bola de bilhar no constante processo de bater e voltar, bater e se modificar, reagindo - difícil fica compreender e trabalhar com a relação matéria-energia. A energia passa a ser vista como estando contida no corpo-molécula, numa tardia influência da teoria do calórico ora se manifestando como cinética ora como potencial. O complexo matéria - energia se dicotomiza, adquirindo a matéria, nas mãos do químico, uma realidade maior; enquanto nas mãos do físico, quando o realismo se manifesta, a energia é encarada como transcendente à matéria, mero veículo, tal qual na microfísica do século passado.

"(...) a matéria não era freqüentemente mais que uma espécie de causa ocasional, que um meio de expressão para uma ciência que desejava permanecer realista. (...) Era o tempo em que Ostwald dizia: 'o bastão, que espanca Scapin não prova a existência do mundo exterior. Este bastão não existe. Não existe senão sua energia cinética.'" (Bachelard, NEC,

Dentro da química a maior realidade conferida à matéria pode ser constatada a partir da discussão do conceito de entalpia. Do ponto de vista físico-químico, entalpia é a troca térmica de um processo a pressão constante; uma função de estado, ou seja, dependente apenas dos estados inicial e final do processo, não dependendo das etapas intermediárias, logo só podendo ser medido enquanto variação. A partir de uma convenção arbitrária, tomamos determinadas substâncias como sendo de entalpia igual a zero e calculamos entalpias padronizadas para as mais diferentes substâncias; através de um raciocínio matemático utilíssimo, consideramos absolutos valores que são relativos. Em vista disso, como muitos professores, e mesmo muitos químicos, passam a considerar a entalpia ? Sintomaticamente como o "conteúdo" de calor da substância, substancializando-se a energia. Alguns chegam a salientar ser essa definição aproximativa, pois o calor apenas se manifesta enquanto troca, movimento. Igualmente não se estabelece a compreensão da equivalência matéria-energia, nem de como ocorre o processo de formação ou absorção do calor na reação química: diferentes estados da matéria correspondendo a diferentes energias.

"A energia é parte integral da substância; substância e energia são igualmente ser."
(Bachelard, PN, 1983: 66, tradução própria)

Uma teoria capaz de questionar essa concepção substancialista da energia é a teoria acerca da ativação das moléculas nas reações químicas. A partir dos estudos de cinética química, as reações deixaram de ser resumidas a dados e resultados: reagentes e produtos. Houve a necessidade de encararmos as fases intermediárias do processo reacional e o problema da ativação das partículas reagentes. Uma ativação - mudança de estrutura das moléculas, conferindo-lhes um estado de energia maior - que só ocorre enquanto consequência de uma interação. A energia não é absorvida ou liberada sem que com isso não esteja em jogo um processo de transformação. Uma substância não se ativa nem é ativada caso não esteja em jogo um devir.

"Ora este devir não é unitário, nem contínuo. Apresenta-se como uma espécie de diálogo entre a matéria e a energia. As trocas energéticas determinam modificações materiais e as modificações materiais determinam trocas energéticas." (Bachelard, PN, 1983: 66, tradução própria)

E como afirma Bachelard (NEC), o complexo matéria-energia com o qual o químico passa a trabalhar, não possui

distribuição energética uniforme, logo só permite uma definição estatística, não determinista.

A química não-lavoiseriana constitui-se no devir, com a cinética química abrindo novos espaços pela ênfase na trajetória química, negando a substância estabilizada, com o seu rol de propriedades devidamente definidas. Mais que nunca, hoje, as propriedades se definem no processo de transformação.

O avanço racional da química desapega o químico da matéria imutável, da primazia empírica da balança, quando os princípios se faziam verdadeiros casos comprovados por balanços de massa. Como se vêem os químicos com as mãos impedidas de tudo manusear e os olhos precisando abandonar o espetáculo natural?

Delhez, criticando Bachelard por fazer uma química de livros e não de laboratório, portanto sujeita a infiltrações do imaginário, aponta alguns indícios de resposta:

"Portanto, a química é um desses campos em que a erudição pura, mesmo integrada a um elevado esforço de reflexão, não é suficiente para assegurar o domínio de seu objeto. A despeito do maravilhoso progresso da teoria, a química permanece em parte, como dizia Valéry acerca da cirurgia, 'uma arte da mão'." (Delhez, 1974: 130, tradução própria)

Sem dúvida a química permanece um trabalho da mão, e Bachelard não o nega. Mais de uma vez enfatiza ele em sua obra que a filosofia do não não é a filosofia da negação: assim como a mecânica relativística envolve a mecânica newtoniana, a química lavoiseriana é envolvida pela química não-lavoiseriana. A filosofia deve, sim, pluralizar suas abordagens em vista do fato da ciência não se apresentar como um todo homogêneo. Não adianta defender o racionalismo mostrando apenas os aspectos racionalistas da ciência, nem ser realista analisando apenas setores realistas. As contribuições são mútuas, tanto do racionalismo ao empirismo, quanto do empirismo ao racionalismo. A mão precisa se colocar enquanto fenomenotécnica e o olhar precisa adquirir uma razão nova, plural e distante do dado imediato.

A mão do químico deve pois ter como bisturi a razão. O laboratório deve perder o empirismo da cozinha com suas misturas sem medida, apenas constituídas pela experiência, e adquirir a precisão teórica da sala de cirurgia. A química não é antes de tudo uma ciência experimental, não tem todas as teorias obtidas e validadas pela experiência, mas racionalmente se consolida na experiência.

Se da culinária a química há de extrair alguma coisa, que extraia a capacidade de lidar com o sabor: nos meandros do olhar e da mão, por vezes o químico, e o cientista em geral, organiza um saber insípido, porque cheio de verdades cristalizadas. O pluralismo das razões setoriais, defendido por Bachelard, investe nessa direção: tornar a ciência livre para renovar todas as noções e simultaneamente apresentar múltiplas soluções para diferentes problemas.

"Para tanto, é necessário, por meio de tentativas sutis, levar a razão, não somente a duvidar de sua obra, mas também a se dividir sistematicamente em cada uma de suas atividades. Em suma, é necessário devolver à razão humana sua função de turbulência e de agressividade. Contribuir-se-à, assim, para a fundamentação de um surracionalismo que pluralizará as ocasiões de pensar." (Bachelard, ER, 1973: 7, tradução própria)

Pluralizando a razão multiplicam-se os processos de conhecer. Por que então a supremacia do olhar ? E, já que falamos da química, por que insistir na força da mão que manipula ?

"Mas agora examina de todos os modos possíveis de que maneira cada coisa se torna evidente, e não acredites mais em tua vista do que em teu ouvido, em teu ouvido que ressoa mais do que nas claras indicações de tua língua. Não recuses também a confiança a teus outros membros, pelo que representam também de meio de conhecimento; mas toma conhecimento de cada coisa de modo que a torne clara." (Empédocles de Agrigento, In: Sobre a Natureza, citado por Pessanha, 1987: 68)

Estabelecer-se-ia assim, uma democracia dos sentidos. Nenhum conhecimento possuindo maior valor por ser obtido a partir deste ou daquele sentido, mas por sua própria clareza racional.

A química já se coloca na perspectiva do racionalismo aplicado pela crítica de suas bases realistas; que se faça a vez dos químicos, e professores de química, psicanalisarem os seus princípios, suplantando os obstáculos epistemológicos que os impedem de compreender o novo espírito científico.

- N O T I A S

(1) O conceito de psicanálise em Bachelard possui orientação própria, diversa da orientação freudiana. Psicanalisar um conhecimento é retirar dele o caráter subjetivo, "(...) descortinar a influência dos valores inconscientes na própria base do conhecimento empírico e científico" (Bachelard, PF, 1989: 16). Ou seja, os sonhos apenas entorpecem e obstaculizam o conhecimento científico. É interessante ressaltar que, no campo da imaginação e da poética, Bachelard condenará sobretudo a concepção psicanalítica de que os sonhos são simplesmente reflexos de desejos inconscientes, havendo sempre que se proceder a busca de seus antecedentes, nunca se concebendo o lado autônomo do simbolismo, da imagem.

(2) A discussão dos obstáculos epistemológicos no ensino de química, feita a partir da análise dos livros didáticos, será tratada no capítulo V.

(3) O animismo, enquanto obstáculo epistemológico, será tratado mais detidamente no capítulo V.

(4) Bachelard (AS), no campo noturno, se propôs a analisar os diferentes tipos de imaginação pelo signo dos elementos materiais - água, terra, fogo e ar. Seria uma lei dos quatro elementos, classificando as imaginações materiais através de suas associações com os elementos que inspiraram a filosofia de Empédocles, além de outras filosofias e cosmologias antigas.

(5) No capítulo de análise dos livros didáticos (V) teremos oportunidade de discutir como o caráter racional da equação química é sufocado no ensino, substituído por uma visão meramente operacional.

(6) São denominados bertolideos, numa clara homenagem ao questionador da lei das proporções constantes de Proust, compostos químicos cuja relação entre íons positivos e negativos difere do previsto idealmente na formulação química. O equilíbrio entre cargas positivas e negativas é mantido pela presença de elétrons e cargas positivas adicionais.

(7) Se supusermos hidrogênio como H e oxigênio como O, a experiência de Gay-Lussac deveria ter por resultado um volume de água: $2H + O \implies H_2O$. Ou se, ao contrário, como Dalton, supusermos a água como HO, teríamos que ter volumes iguais de hidrogênio e oxigênio.

(8) Como trataremos mais adiante, Berzelius concebia a atração entre os átomos em uma substância como sendo essencialmente eletrostática. Logo, não aceitava ele que átomos de um mesmo elemento pudessem se unir. Iguais deveriam se repelir.

(9) Mitscherlich (1794-1863) foi um estudioso do isomorfismo e afirmou que duas substâncias isomorfas têm constituições químicas

similares. São isomorfas substâncias que possuem forma cristalina semelhante, de maneira que o cristal de uma provoque precipitação na solução saturada da outra. Ex: Na_2HPO_4 e Na_2HASO_4 .

(10) A lei de Dulong e Petit é um enunciado de certa regularidade que foi constituído em 1816. Essa lei afirma que a multiplicação dos calores específicos de corpos puros e simples pelos respectivos pesos atômicos dos sólidos, fornece um valor aproximadamente igual a 6.4, ou múltiplos desse valor.

(11) Em muitos casos, químicos inorgânicos e químicos orgânicos parecem utilizar teorias díspares, principalmente no que se refere à ligação química, tratada na orgânica sem os modelos da mecânica quântica. No ensino essa fissura se faz ainda maior, dando-se a entender aos alunos que a química possui dois campos fundados em bases diversas: a química do carbono e a química dos demais elementos. Trataremos da questão em V.3.

(12) Por isomeria óptica entende-se a isomeria em compostos de mesma fórmula molecular e estrutural plana, apresentando cada isômero a capacidade de girar o plano da luz polarizada em sentidos opostos: dextrógiro gira o plano para a direita e levógiro gira o plano para a esquerda.

(13) É interessante ressaltar que, a despeito desse avanço da Físico-química, muito tempo ainda se passa até que as conquistas desta área sejam enfocadas nos livros didáticos. Trataremos desta questão em mais detalhes no capítulo de análise dos livros didáticos.

(14) Apesar de hoje em dia termos pleno conhecimento de que as reações em solução não são de dupla troca e deslocamento, porém de síntese e oxi-redução, respectivamente, ainda se ensina segundo os princípios de Berzelius, ressaltando nas reações apenas o aspecto de jogo esquemático. Voltaremos a essa questão no capítulo de análise dos livros didáticos.

(15) Compreende-se melhor, através desse aspecto histórico, a confusão conceitual entre eletronegatividade e potencial de eletrodo. De uma maneira geral, são cometidos erros como os de afirmar que quanto maior a eletronegatividade de um elemento maior é o seu potencial de eletrodo para a reação de redução. Não se visualiza que o conceito de eletronegatividade se refere a ligação enquanto o potencial de eletrodo se refere a uma reação envolvendo a substância. Permanecem os princípios e termos de Berzelius. Tornaremos a tratar dessa questão no capítulo de análise dos livros didáticos.

(16) Ainda hoje os químicos conservam a terminologia abertura de amostra, se referindo ao tratamento de um minério para sua transformação em compostos solúveis, passíveis de serem analisados.

(17) Voltaremos a essa questão no capítulo de análise dos livros didáticos (cap. V).

(18) Pesquisamos o conceito de molécula em dezessete livros de Química Geral do período mais recente (vigência da 5692). Dentre esses livros seis apresentam-na como a menor parte da substância que ainda possui suas propriedades. Ver maiores detalhes na página 207.

III - ENSINO SECUNDARIO DE QUIMICA: UM POUCO DE SUA HISTORIA

"O pensamento científico está em estado de pedagogia permanente."

Bachelard, Le Rationalisme Appliqué

III.1 - Processo de Consolidação do Ensino de Química

A química, enquanto disciplina isolada das demais ciências, surge no currículo da escola secundária brasileira apenas com a Reforma Rocha Vaz em 1925 e se vê consolidada pela Reforma Francisco Campos em 1930. Anteriormente a 1925, encontramo-la sempre sendo ensinada junto à física ou às ciências naturais. Mesmo na Reforma Benjamin Constant, de 1890, a qual garantiu maior peso para o ensino de ciências físicas, a química aparece no currículo do Ginásio Nacional (atual Colégio Pedro II), numa cadeira de 6 h no quinto ano, cadeira essa denominada Física Geral e Química Geral, sendo alternadas as aulas de física e química.

Esse atraso no desenvolvimento da ciência química no Brasil, bem perceptível na medida em que tivermos em mente o fato do ensino público secundário ter se iniciado com a criação do Colégio Pedro II em 1837, nada mais é que um reflexo do atraso maior no desenvolvimento do ensino de ciências, condicionando e sendo condicionado por um igualmente precário desenvolvimento da pesquisa brasileira em química até o início desse século. Passaremos a analisar aqui os aspectos que envolvem essa questão.

O primeiro deles é o perfil excessivamente letrado de nossa educação, consequência de um passado vinculado à educação jesuítica. No Brasil Colônia, os jesuítas representavam para a classe dominante a fonte de bens culturais importados, garantia do status capaz de fazê-la distinta da população nativa, e o controle social sobre essa mesma população. De tal forma que, como afirma Romanelli (1987), a obra de catequese, visando recrutar fiéis e servidores, cedeu lugar em importância à educação da elite. Segundo Fernando Azevedo, citado por Romanelli (1987), a situação social dos colonos podia ser medida não só pela extensão de suas terras e pelo número de escravos, mas também pelo número de graus de bacharel e de mestre em arte dados pelos colégios. A educação existia, portanto, como símbolo de classe.

Mas que educação era essa? Quais conhecimentos seriam claramente identificados como capazes de fornecer essa distinção de classe?

"Era, antes de tudo, a materialização do próprio espírito da Contra-Reforma, que se caracterizou sobretudo por uma enérgica reação contra o pensamento crítico, que começava a despontar na Europa, por um apego às formas dogmáticas de pensamento, pela revalorização da Escolástica, como método e como filosofia, pela reafirmação da autoridade, quer da Igreja, quer dos antigos, enfim pela prática de exercícios intelectuais com a finalidade de robustecer a memória e capacitar o raciocínio para fazer comentários de textos. Se aos jesuítas de então faltava o gosto pela

ciência, sobrava-lhes, todavia, um entranhado amor às letras, cujo ensino era a maior preocupação." (Romanelli, 1987: 34)

A classe dominante estigmatizava o trabalho manual e a ele opunha a educação letrada, uma cultura julgada superior, enfatizadora das relações vigentes. Nessa cultura não havia espaço para o ensino de ciências e matemática, não desenvolvidos pela visão escolástica. Como afirma Freitag (1986), ainda não havia necessidade de que a escola cumprisse seu papel de re-alocadora dos indivíduos na sociedade de classes. Numa sociedade em que a monocultura latifundiária exigia um mínimo de qualidade e diversificação do trabalho, a estrutura de classes se reproduzia pela própria organização da produção. Não se fazia necessária uma escola que preparasse para o trabalho ou garantisse a possibilidade de alguns ascenderem socialmente. E, como veremos no tópico posterior, o desenvolvimento do ensino de ciências no Brasil está essencialmente vinculado ao sentido prático de preparação para o trabalho. Daí esse perfil educacional ter se mantido mesmo após a expulsão dos jesuítas em 1759.

De acordo com Romanelli (1987), o descontentamento da Coroa portuguesa em relação aos jesuítas é consequência da decadência econômica no reino, do atraso cultural de Portugal em relação à Europa como um todo e dos atritos já existentes entre os colonos e a Companhia de Jesus, a respeito da escravização indígena.

Ademais, no século XVIII, a Europa vê-se desenvolver o Iluminismo. A exaltação dos poderes da razão soberana, a valorização do homem, o universo sendo visto como campo de exploração submetido à capacidade do homem, se contrapõem à visão escolástica e aos dogmas religiosos jesuíticos. Assim, ascendendo Marquês de Pombal ao poder da Coroa, e junto a ele idéias vinculadas ao enciclopedismo iluminista e aos trabalhos de Luís Verney, a educação em Portugal e na Colônia muda seus caminhos. Constituem-se na Universidade de Coimbra os cursos de Matemática e Filosofia, esta última compreendida como Lógica, segundo visão de Verney. Introduzem-se no ensino português os cursos de ciências físicas e naturais e em 1772 surge o primeiro curso superior de química. Não cabe aqui a discussão das falhas dessa reforma pombalina no ensino português, tão criticada por Rheinboldt (1953) e Tobias (1986), apenas queremos apontar para o surgimento inegável do ensino científico, ainda que com os males advindos de um cunho anti-metafísico e anti-filosófico.

Já na Colônia, o controle da educação por Pombal se formaliza através do Alvará Régio de 28 de junho de 1759, determinando a expulsão dos jesuítas e estabelecendo o novo regime educacional, a partir da crítica incisiva do regime anterior.

"... Tenho consideração outrossim, a que, sendo o estudo das Letras Humanas a base de todas as Ciências, se vê nestes Reinos

extraordinariamente decaídos daquele auge, em que se achavam quando as aulas se confiam aos Religiosos Jesuítas; em razão de que estes com o escuro, e fastidioso Método, que introduzirão nas Escolas destes Reinos, e seus Domínios, e muito mais com a inflexível tenacidade com que sempre procurarão sustentá-lo contra a evidência das sólidas verdades, que lhe descobrirão os defeitos e os prejuízos do uso de um Método." (trecho do Alvará Régio, citado por Trevisan, 1987: 27 - os grifos são nossos)

O fastidioso Método, calcado na retórica e na memorização, só pode ser combatido com as evidentes sólidas verdades, ou seja, os estudos científicos anti-metafísicos propugnados por Verney.

Contudo, as providências da metrópole para o controle efetivo da educação na Colônia tardam a vir preencher o vazio deixado pelo sistema anterior. Após treze anos foram instituídas, paulatinamente, as escolas menores, de grau elementar, leigas e públicas. Para o grau médio foram criadas as aulas régias: escolas de disciplinas isoladas. E o clero secular formado pelos jesuítas assumiu muitas dessas aulas ou tornou-se preceptor dos filhos da aristocracia rural, mantendo sua influência.

Por outro lado, o enciclopedismo pombalino não estimulou na Colônia o desenvolvimento do ensino das ciências naturais como o fez em Portugal. Prevalencia o currículo humanista, tendo sido instituídas em 1772, 17 aulas de Ler e Escrever, 15 aulas de Gramática Latina, 6 aulas de Retórica, 3 aulas de Língua Grega e 3 de Filosofia (citado por Piletti, 1987).

Temos, portanto, a desarticulação do sistema de ensino anteriormente montado, e sua substituição por um ensino fragmentado.

Em vista desse quadro, não é de causar estranheza o crescimento nulo da ciência química no Brasil nos séculos XVII e XVIII. O exclusivo interesse das elites dirigentes pela educação letrada e a marcada dependência econômica do país frente ao Reino português não permitiam supor situação diversa. Além do que, Portugal se encontrava meio que à margem do surto de desenvolvimento científico de outros países europeus, típico do Renascimento, devido à cultura escolástica com fortes raízes na Idade Média (Mathias, 1979).

Uma produção original incipiente na área de química começa a surgir no Brasil com a vinda da Corte portuguesa em 1808, quando são criados os primeiros cursos superiores, laboratórios, escolas técnicas e academias, como a Academia Militar onde criou-se a cadeira de Química (Bittencourt, 1953). Essas medidas visavam a formação dos novos quadros técnicos e administrativos, capazes de assessorar a Coroa.

Porém, como afirma Rheinboldt (1953), em nenhum lugar se ensina, se estuda ou se cultiva química por si mesma. A química surge de trabalhos de outras áreas - mineralogia, metalurgia, farmácia, medicina. Tanto que no "aviso ao leitor" do

primeiro compêndio de assuntos químicos produzido no Brasil em 1825, "Nova Nomenclatura Chimica Portuguesa, Latina e Franceza", de Silveira Caldeira consta:

"A Química, ciência tão necessária como útil aos usos da vida, é desgraçadamente desconhecida neste vasto e rico país; e forçosamente assim deveria ser. Têm faltado laboratórios, mestres e livros." (citado por Rheinboldt, 1953: 28)

Esse panorama na química é o que se encontra nos primeiros anos do Império e o que se estenderá pelos primeiros anos da República.

O século XIX vê se constituir no Brasil uma estratificação social mais complexa, com o surgimento de uma camada intermediária entre a oligarquia e os escravos - artesãos, burocratas e pequenos comerciantes. Assim sendo, não apenas a classe oligárquica rural procura a educação, surgindo daí a necessidade da escola se modificar para atender essa camada média que vê na educação o instrumento capaz de afirmá-la como classe.

Mas a modificação empreendida na escola não atinge sua forma e conteúdo, apenas a capacidade de absorver maior número de alunos. Isso porque o modelo de educação objetivado por essa nova classe é o modelo letrado das classes dominantes, seu status depende dos padrões dessas classes.

"Numa estrutura social, como a existente no Brasil no início do século XIX, a camada intermediária, em que são recrutados os intelectuais, deveria depender da classe dominante, cujos padrões aceita e consagra. Nada a aproxima das classes dominadas, que fornecem trabalho." (Werneck Sodré, citado por Romanelli, 1987: 37)

Desse modo, o ato adicional de 1834, considerado por alguns o primeiro ato brasileiro para a educação (Saad, 1981), apresenta os primeiros esforços de organização dos estudos públicos secundários. Opera-se a descentralização, as províncias passam a atender as necessidades locais, ficando para o poder central os estudos superiores.

O Colégio Pedro II surge com o objetivo de servir de modelo para os demais estabelecimentos do país, organizando o ensino secundário. Através do decreto de criação do colégio podemos avaliar qual era essa educação considerada padrão.

"Serão ensinadas as línguas latina, grega, francesa e inglesa, retórica e os princípios de geografia, história, filosofia, zoologia,

mineralogia, botânica, química, física, álgebra, geometria e astronomia." (artigo terceiro do decreto de 02/12/1837, citado por Miranda, 1966: 48)

As línguas eram estudadas nas sete séries, excetuando o grego que era estudado em quatro séries. As ciências eram estudadas nos três últimos anos.

A partir desse currículo poderíamos concluir quanto à permanência do ensino humanístico caracteristicamente jesuítico e quanto à substantiva conquista de espaço pelas ciências. O contexto contudo era outro.

Primeiro, como salienta Miranda (1966), o ensino humanístico do Colégio Pedro II não é sequência direta do humanismo da Companhia de Jesus, ainda que dele recebesse influências. O ensino dos jesuitas possuía um programa restrito, clássico-humanista e formativo, enquanto o ensino do Colégio Pedro II era informativo, enciclopédico, tendo suas matrizes no enciclopedismo iluminista da Revolução Francesa. Era a educação almejada pelas classes médias e superiores do Império.

Em segundo lugar, as ciências não tinham espaço garantido na prática, devido ao sistema de exames parcelados e a possibilidade do aluno se matricular em aulas avulsas. Aos bacharéis em letras formados pelo antigo Seminário São Joaquim era concedido o direito à matrícula em qualquer das faculdades do Império, independente de prova. Para os demais havia o sistema de exames nos próprios cursos superiores, segundo critérios próprios da instituição examinadora, para os quais não era exigida nenhuma habilitação, configurando dessa forma o caráter propedêutico do ensino secundário.

"Se alguns dos liceus provinciais - testemunhava Gonçalves Dias que, em 1851, inspecionara o estado da instrução pública nas províncias do norte e nordeste - têm querido introduzir no ensino secundário noções de ciências naturais e exatas como as matemáticas puras, a química, a física, a botânica, a agricultura, a agrimensura, vêem definhar estes estudos porque não são necessários para nenhum grau literário. As duas cadeiras de química e física e a de botânica e agricultura da Bahia contam um aluno apenas." (citado por Haidar, 1972: 22)

E mesmo cursos de caráter não literário como Medicina e os cursos das Escolas Militares e da Academia da Marinha não exigiam ciências físicas e naturais em seus exames.

Conseqüentemente, só o aluno que cumprisse o bacharelado do Colégio Pedro II se via na contingência de estudar essas matérias. E, segundo Haidar (1972), as matrículas nas aulas avulsas, necessárias aos exames parcelados, eram maiores do que

no curso seriado do colégio. Ou seja, ao aluno interessava mais frequentar as aulas avulsas preparatórias, as quais rapidamente lhe permitiam alcançar aprovação no curso superior, do que cumprir os sete anos de bacharelado: raros eram os alunos que concluíam regularmente o curso.

Até o final do Império esse perfil de estudos avulsos permanece, tornando o ensino secundário desorganizado, mera ponte para o ensino superior, onde os alunos chegavam de maneira geral despreparados.

Do ponto de vista do incremento do ensino das ciências físicas e naturais, a situação se modifica um pouco em 1887, quando as noções da disciplina passam a ser acrescentadas aos preparatórios para Medicina. Podemos considerar, então, que, a partir daí, o ensino sistemático de ciências físicas e naturais passa a existir no ensino secundário brasileiro para aqueles que buscavam a formação médica.

Com o advento da República, objetiva-se dar fim na situação caótica em que se encontrava o ensino secundário. No decreto 981, de 8 de novembro de 1890, Benjamin Constant, então Ministro dos Negócios da Instrução Pública, Correios e Telégrafos, procura acabar com os exames parcelados instituindo que o direito de matrícula nos cursos superiores será igual nos estabelecimentos de ensino secundário integral segundo o Plano do Ginásio Nacional, nova denominação do Colégio Pedro II.

A Reforma Benjamin Constant, cujo cunho positivista será analisado adiante, estabelece um currículo com maior peso para as matemáticas e as ciências físicas e naturais e consagra o ensino seriado.

Contudo, o texto legal não teve sua implantação consolidada, na medida em que as elites tinham-no como ameaça aos padrões pautados na velha mentalidade. Assim, enquanto o poder se conservou nas mãos da classe letrada, cuja educação humanística possuía origens no ensino dos jesuítas, nenhuma modificação real se configurou no ensino secundário.

"A permanência, portanto, da velha ordem acadêmica e aristocrática e a pouca importância dada à educação popular fundavam-se na estrutura e organização da sociedade. Foi somente quando essa estrutura deu sinais de ruptura que a situação educacional principiou a tomar rumos diferentes."
(Romanelli, 1987: 45)

E, como veremos mais adiante, a consolidação do ensino de química em particular, e das ciências físicas e naturais de um modo geral, dependerá dessa ruptura com a educação aristocrática. Duas instâncias serão preponderantes nesse processo: o desenvolvimento paulatino de uma "mentalidade pragmática e tecnológica" (Bosi, 1987: 135) que buscará o estabelecimento de uma educação voltada para o trabalho e a proliferação de idéias positivistas e cientificistas constituintes do reconhecimento do papel das ciências físicas na educação.

Quando Vargas assume o poder em 1930, apoiado pela classe burguesa e por certos grupos militares, rompendo com a ordem constituída, isso implica na criação do Ministério da Educação e Saúde, sob o comando de Francisco Campos, o qual organizará uma reforma onde se firmará o ensino de química - constante nas terceira, quarta e quintas séries -, apresentando-se inclusive, claramente, sua proposta metodológica.

III.2 - Antagonismo entre Ciências e Humanidades

Lorenz e Vechia (1984) demonstraram pela análise de dezenove currículos da escola secundária brasileira de 1838 a 1942, haver uma correlação negativa entre a proporção de carga-horária designada aos estudos de humanidades e ciências. Ou seja, não só os estudos de humanidades predominam sobre os estudos científicos, como sempre que existe maior ênfase na área de ciências, há ênfase reduzida na área de humanidades, não se dando igual alteração em outras áreas como matemática e estudos sociais (ver gráfico a seguir).

Buscaremos analisar aqui porque existe esse estreito antagonismo entre as áreas de ciências e humanidades e como vem se dando a cada reforma do ensino a modificação do conceito de ciência. Igualmente trataremos a questão de que a maior ênfase no ensino de ciências vem acompanhada da defesa do ensino para o trabalho, sendo incorporada à ciência a idéia do fazer e não do pensar.

O reconhecimento da importância da ciência na educação brasileira começa a se desenvolver, como veremos no próximo tópico, a partir da influência das idéias positivistas, aproximadamente na década de 70 do século passado. Nas idéias desta época já encontrávamos delineadas as origens da divisão saber científico, que prepara para o trabalho, e saber clássico, que prepara o espírito. O saber científico é visto portanto como necessário; o saber clássico como superior.

"A Providência distribuiu a todos os homens papéis diversos para o cumprimento de seus desígnios eternos sobre os destinos da humanidade. Se os homens que se dedicam à indústria, à agricultura e ao comércio têm necessidade de uma instrução prática que é condição indispensável do desenvolvimento material, outros que se dedicam às sábias profissões do espírito têm necessidade da instrução literária que é condição essencial do desenvolvimento moral." (Liberato Barroso, em 1867, citado por Haidar, 1972: 121-122)

E mesmo dentre os defensores de uma formação mais rica em conhecimentos científicos, como o foi a Faculdade de Medicina da Bahia, encontramos a defesa ardente da formação humanista, baseada nos mesmos pressupostos acima colocados.

"Se pois, as letras protegidas pelo gênio imortal das nações, resplandecem no meio delas, como a luz nos páramos do céu, difundem a civilização, elevam o espírito, esclarecem a inteligência, despertam no coração sentimentos

CIÊNCIA E CULTURA, 36(1), JANEIRO DE 1984

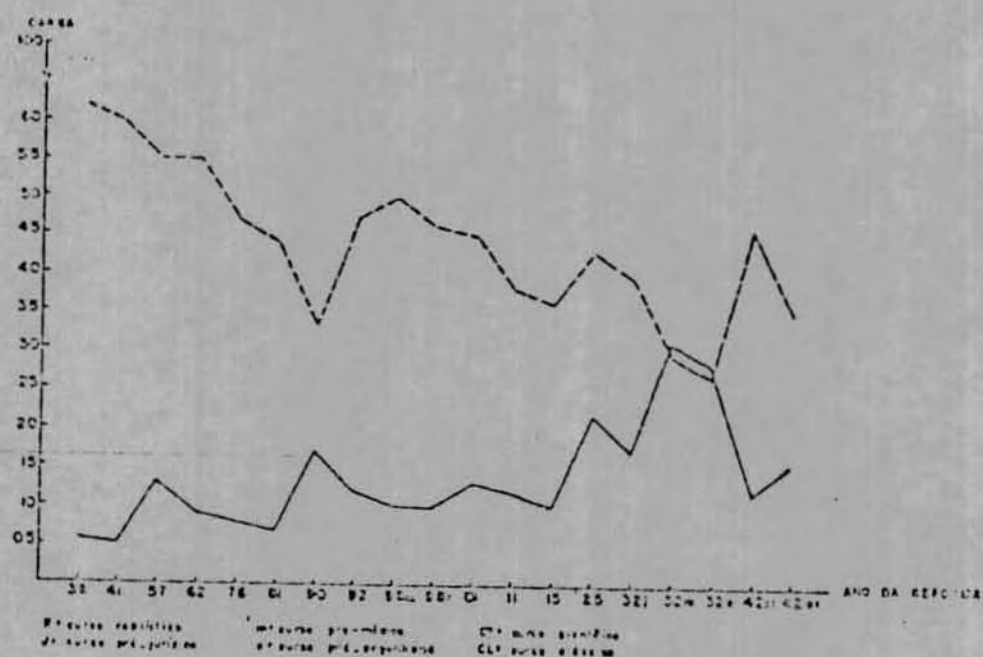


Gráfico 1. Variação de carga horária das áreas de ciências e humanidades - 1838-1942.

Fonte: Lorenz & Vechia, 1984: 23

generosos, adoçam os costumes, amenizam os campos áridos da ciência, quem se não o médico há de ser delas o seu cultor mais desvelado ?" (citado por Haidar, 1972: 67-68)

Dentro dessa concepção, o ensino de humanidades representa tradição, a garantia dos valores perenes, impregnado do objetivo de contenção da barbárie, existente na ação jesuítica. Os professores transmitem a noção do dever, da verdade, na crença de que o fazem pelo texto dos antigos em si, não por sua interpretação dogmática. Senão com esse objetivo surge o Colégio Pedro II: fortalecer os estudos clássicos entre nós.

"Qual será o homem tão insensível às idéias liberais, aos sentimentos generosos que não adote as grandes idéias que sobre o amor da pátria se lê nos oradores da antiguidade; sobre os deveres do homem nos filósofos; e sobre a ação dos grandes homens nos poetas ? Quando estas idéias são exprimidas na linguagem, permita-se-me dizer, de Deus ? (Bernardo Vasconcelos no Regulamento de 1838 do Colégio Pedro II, citado por Haidar, 1972: 100)

Assim sendo, o ensino de ciências é visto como o ensino preponderantemente informativo, enquanto o ensino de humanidades é o ensino formativo por excelência. Ensinar ciências é ensinar fatos e princípios interessantes na medida em que possuem utilização prática; afinal somos dotados de existência material. Como teremos a oportunidade de colocar no tópico seguinte, não será essa a posição defendida pelos positivistas, capazes de conceber a ciência como formadora de nova maneira de pensar.

Uma grande contribuição virá para maior desenvolvimento do ensino de ciências, através do movimento da escola nova. O escolanovismo combaterá a escola tradicional, defendendo uma renovação educacional no Brasil - baseada primordialmente nas idéias de Dewey - capaz de responder às necessidades do país, renovação que adviria da determinação dos fins da educação e da aplicação dos métodos científicos a seus problemas.

São claras as palavras do Manifesto dos Pioneiros de 1932:

"(...) a educação nova não pode deixar de ser uma reação categórica, intencional e sistemática contra a velha estrutura do serviço educacional, artificial e verbalista, montada para uma concepção vencida." (p. 64)

E os argumentos utilizados para crítica da escola tradicional são os de que ela não prepara para a vida e para o trabalho e se alija da modernidade ao não absorver as novas conquistas científicas. É feita a defesa do aprender fazendo, como forma de estímulo constante do educando, adaptando a atividade educativa às suas necessidades psicobiológicas, contrário a nossa tradição escolástica e enciclopedista que despreza o trabalho manual.

"A nossa política educacional rompendo, de um lado, contra a formação excessivamente literária de nossa cultura, para lhe dar um caráter científico e técnico, e contra esse espírito de desintegração da escola, em relação ao meio social, impõe reformas profundas, orientadas no sentido da produção e procura reforçar, por todos os meios, a intenção e o valor social da escola, sem negar a arte, a literatura e os valores culturais." (Manifesto dos Pioneiros, 1932: 72-73)

Igualmente a ciência é relacionada com o fazer, mas esse fazer é valorizado e encarado como parte integrante da modernidade. A educação humanista se opõe à educação profissional, todavia é encarada sem o divórcio do intelectual e manual. Ou seja, concebe-se a importância da ciência no preparo do espírito.

"A partir da escola infantil (4 a 6 anos) até à Universidade (...), 'a continuação ininterrupta de esforços criadores' deve levar à formação da personalidade integral do aluno e ao desenvolvimento de sua faculdade produtora e de seu poder criador, pela aplicação, na escola, para a aquisição ativa de conhecimentos, dos mesmos métodos (observação, pesquisa e experimentação), que segue o espírito maduro nas investigações científicas." (Manifesto dos Pioneiros, 1932: 73)

Já existe aqui a concepção que será forte mais tarde, segundo a qual ensinar ciência é ensinar a fazer ciência a partir do ensino do método científico. Trataremos dessa questão no tópico III.4.

Por outro lado, defende-se também não dever ser o ensino desvinculado do processo integral de formação da personalidade do educando, inclusive sendo esse o ponto de maior crítica à reforma educacional vigente (Reforma Francisco Campos), devido haver nela a distinção entre os ramos profissional e secundário de ensino, sendo apenas este vinculado aos estudos superiores. O que, por

sinal, gerava maior demanda para o ensino acadêmico.

A Reforma Campos possui o mérito de haver dado estrutura orgânica ao ensino secundário, comercial e superior, visando todo território nacional, estabelecendo o currículo seriado, a frequência obrigatória, sendo extintos os exames preparatórios, devido a equiparação de todos os colégios secundários ao Colégio Pedro II. Em contrapartida, o desprezo por uma organização dos cursos profissionais e o caráter enciclopedista dos programas ainda denota a força da educação para a elite.

Mas podemos constatar pelo gráfico de Lorenz e Vechia que, apesar dos programas dos cursos pré-jurídicos ainda possuírem maior percentual de humanidades, fato compreensível por serem os cursos jurídicos o tradicional reduto das humanidades e das elites, os programas dos cursos pré-médico e pré-engenharia são os únicos pontos da curva - interrompida em 1942 - onde os percentuais de ciências ultrapassam os de humanidades. Isso se coaduna com o momento histórico que tenta deixar marcada a posição de rompimento com o período anterior. É hora de mudanças.

Segundo Rodrigues (1981), os objetivos fundamentais da Reforma Campos eram os de, junto ao sistema trabalhista-sindical montado por Vargas, compor o quadro institucional de controle burocrático do cidadão, ao mesmo tempo em que atendia às necessidades das novas categorias sociais em ascensão nos grandes centros urbano-industriais. Tratava-se de conferir novo papel à educação, consolidando as mudanças ocorridas. Surgem, portanto, novas idéias a respeito do ensino secundário e do ensino profissionalizante.

"Nesse sentido, a expansão industrial brasileira, entre outros fatores, criou condições não só para o questionamento da tradicional função propedêutica do curso secundário destinado, desde o período colonial, à elite mas, também, para a introdução e difusão gradativa de uma nova compreensão de ensino secundário, como continuação do ensino elementar, orientado no sentido de possibilitar ao adolescente uma formação básica da qual fariam parte as práticas do trabalho." (Nunes, 1980: 21-22)

E no texto da exposição de motivos, Francisco Campos aponta para essa época de mudanças, associando-a com uma nova mentalidade no ensino.

"A humanidade (...) verifica que começou para ela uma época de transformações e de mudança. O mundo se encontra largamente aberto diante dos espíritos, e o presente e o futuro, ao invés de constituírem aquele tecido de recurrencia, graças ao qual os problemas e as

situações continuam a ser os mesmos e a satisfazer-se com as mesmas soluções, apresentam a cada dia aspectos complexos e novos, que demandam não apenas as noções e os conceitos adquiridos sinão qualidades, hábitos, processos, atitudes e comportamentos de espírito capazes e orientar no sentido de soluções novas, próprias e seguras." (Francisco Campos, Exposição de Motivos, 1931: 6)

Há maior preocupação com a vida prática, com a modernidade, na qual se deve conhecer os processos de aquisição do conhecimento, preferencialmente aos conhecimentos em si, abrindo-se mão, portanto, do aprendizado mnemônico. Veremos no tópico III.4 como, no ensino de química, esse objetivo não saiu do papel, bloqueado por programas extensos e descritivos.

As ciências são também citadas na exposição de motivos de Francisco Campos:

"Foi possível, também, graças ao aumento na duração do curso, dar a devida importância ao estudo das ciências físicas e naturais, sendo o conhecimento de seus métodos e dos processos mentais que eles implicam cada vez mais úteis e necessários." (Idem)

São significativas as palavras do Ministro da Educação de Vargas: para que a carga horária de ciências aumentasse era preciso que a carga horária total do curso aumentasse, uma vez que assim não se alteravam as aulas de humanidades. É aceita a idéia de se precisar aprender ciências, mas não se questiona o tanto que se estuda de línguas. Trata-se da postura do "devemos mudar, para estruturalmente manter certas premissas exatamente como estão".

Um dado importante a se diferenciar é o aprender fazendo defendido pelos adeptos do escolanovismo e o aprender fazendo defendido por Campos. O constante da exposição de motivos de 1931 é o fazer do espírito: era preciso fazer a democracia, cumprir o civismo, não implicando necessariamente em trabalho manual.

Já no discurso de Gustavo Capanema, sendo ele Ministro da Educação, as colocações no âmbito da educação se voltam para sua função de modeladora do indivíduo. É preciso preparar para a vida, mas antes é preciso que se defina para qual vida. O ensino secundário seguramente tem por meta formar as elites intelectuais do país, enquanto o ensino profissional deve existir para todos em todos os níveis: ou seja enfatiza o artigo 129 da Constituição de 1937 que afirma ser o ensino profissional destinado às classes menos favorecidas.

Mas como esses objetivos de formação das elites, dentro dos moldes que os façam servidores à nação, serão atingidos ?

"Para isso, força é excluir toda a preocupação de enciclopedismo, que é de natureza estéril, para que tomem primeiro lugar, no programa secundário, sólidos estudos de humanidades." (Discurso de Gustavo Capanema no Colégio Pedro II, 1937: 32)

A crítica a Campos é explícita: enciclopedismo foi o aumento da carga horária para a inclusão mais significativa das ciências físicas. A ciência, não tendo pátria, dado o caráter de neutralidade a ela conferido, não pode ser base do ensino secundário, pois o ensino deve ser essencialmente patriótico.

Alguns dos princípios colocados por Capanema em seu discurso de 1937 são igualmente encontrados na exposição de motivos da Lei Orgânica do Ensino Secundário de 1942, por ele assinada.

A finalidade fundamental do ensino secundário é a formação da personalidade do adolescente. O ensino primário é caracterizado como base dessa formação, o ensino básico para todos. Por sua vez o ensino secundário possui a finalidade precípua de formar a consciência patriótica do adolescente, já que daí saíra as "individualidades condutoras", capazes de assumir responsabilidades na sociedade. É forte a visão nacionalista, a necessidade de formar os indivíduos para servir a pátria, reflexos do estado novo vigente e do período de guerra mundial.

E mais uma vez temos a educação letrada defendida como a geradora de meios para a formação do adolescente capaz de servir ao Estado.

"O que constitui o caráter específico do ensino secundário é a sua função de formar nos adolescentes uma sólida cultura geral, marcada pelo cultivo a um tempo das humanidades antigas e das humanidades modernas, e bem assim, de nêles acentuar e elevar a consciência patriótica e a consciência humanística." (G. Capanema, Exposição de Motivos, 1942: 23)

Por humanidades modernas entendamos as línguas vivas e por humanidades antigas as línguas mortas. Assim sendo, mesmo havendo a divisão do colegial em dois ciclos - clássico e científico - o peso das humanidades é maior do que na Reforma Campos, como podemos comprovar pelo gráfico de Lorenz e Vechia (ver p. 72)

Podemos concluir que, se o objetivo do ensino envolve o civismo, os valores tradicionais e a formação das elites, o ensino se encaminha sistematicamente para as humanidades: trata-se da garantia de um caminho para o futuro dentro da visão conservadora. Faz-se coerente, portanto, a defesa, feita por

Capanema, do ensino de línguas grega e latina, anteriormente retiradas do currículo secundário por Francisco Campos.

"(...) por mais que esteja o nosso país voltado para a modernidade e para o futuro, por mais vigorosa que seja a sua participação na vida nova do mundo, não lhe é possível desconhecer a irremovível vinculação de sua cultura com as origens helênicas e latinas. Não seria conveniente romper com essas fontes. Com este rompimento perderíamos o contato e a influência de uma velha cultura que consubstanciou e elevou os valores espirituais maiores da antiguidade e representa uma experiência sem par do destino humano." (Capanema, Exposição de Motivos, 1942: 25)

Esses objetivos não poderiam ser alcançados pelo ensino de ciências, segundo a concepção de ciência vigente. As ciências contribuem para a "madureza intelectual" e habilitam aos estudos universitários, logo seu ensino não pode "ser tão abundante e minucioso no curso científico que possa tornar-se inconveniente demais, nem de tal modo reduzido no curso clássico, que não baste à formação de uma cultura científica adequada aos fins do ensino secundário." (Gustavo Capanema, Exposição de Motivos, 1942: 26 - os grifos são nossos)

Permanece a crítica ao ensino mnemônico de ciências, privilegiando o aprendizado das formas de aquisição dos conhecimentos científicos e do aprendizado de suas utilidades práticas, o que não será observado na disciplina de química, como viremos a tratar no tópico III.4.

Por conseguinte, do ponto de vista do desenvolvimento do ensino de ciências, a Reforma Capanema foi um retrocesso em relação à Reforma Campos, inclusive revivendo posições antigas a respeito da conciliação ou não das ciências e das humanidades.

Dessa forma, muitos se colocarão como críticos do humanismo retrógrado, capaz de ver na ciência quase como que um mal necessário.

Nas conclusões do IX Congresso Brasileiro de Educação, em junho de 1945, no Rio de Janeiro, organizado por iniciativa da Associação Brasileira de Educação, podemos constatar a crítica a essa educação humanística, exatamente por seu caráter anti-democrático. Já no ano da queda do Estado Novo, a Carta Brasileira de Educação Democrática inclui como um dos objetivos da educação democrática dar a maior ênfase possível ao ensino de ciências. E temos a ciência associada à verdade, ao progresso, ao espírito crítico e experimental e a um obscuro "sentimento de tolerância".

Com os fluidos democráticos e solidários, frutos do fim da guerra, a ciência também adquire maior relevo, dado seu caráter, questionável, mas em voga na época, de neutralidade política. Assim, um dos votos aprovados no Congresso é de:

"Generalizar, na máxima extensão possível, uma estrutura científica homogênea, gratuitamente dada aos dois sexos de todas as classes, no conjunto dos países (...) Dêsse modo estender-se-à sobre todo o mundo uma trama de opiniões comuns, acima de quaisquer divergências de credos e de partidos, primeira base para uma cooperação intelectual estável e fecunda." (p. 11)

Outro grande crítico do ensino preponderantemente de humanidades foi Anísio Teixeira, que em artigo de 1954, já em plena luta pela nova Lei de Diretrizes e Bases, chega a afirmar:

"Não sou contra o humanismo, nem contra o humanismo clássico. Apenas acho que pode ser humanística, também, a educação dada com os conhecimentos de hoje, sejam eles literários, científicos ou técnicos. Por isso, há pouco o disse, se os homens antigos estivessem aqui, acredito que todos estariam apoiando francamente o estudo das técnicas, da ciência, pois este é o conhecimento mais importante de nossa época." (citado por Werebe: 145)

Após a Constituição de 1946 começam as lutas pela promulgação da nova Lei de Diretrizes e Bases para a Educação.

Em 1948, o então Ministro da Educação, Clemente Mariani, apresentou um anteprojeto para a LDB, no qual consta um dos pontos de derrubada de nossa educação humanista e elitista: a articulação do ensino técnico com a universidade. Clemente Mariani, na exposição de motivos do anteprojeto, cita as palavras do então Diretor de Ensino Secundário, proferidas em sua posse:

"Basilarmente, a educação secundária terá de ser democratizada. Não poderá continuar como um curso para privilegiados, nem como estágio preparatório para estudos superiores. Há de elevar-se à altura do seu destino - o de produtiva e de expressão social. Para isso, temos de encontrar o modo de articular os vários ramos e modalidades do ensino de segundo grau, separando barreiras entre estudos acadêmicos e estudos técnicos, de maneira que aqueles se tornem socialmente úteis e estes se enriqueçam de uma formação humanística, a todos necessária." (p. 9)

Para o curso colegial, atual segundo grau, o anteprojeto

previa como obrigatórias, perfazendo um conjunto de dezoito aulas semanais, as disciplinas: português, matemática, história geral e do Brasil, uma língua estrangeira, física, química e biologia. Para completar o currículo haveria disciplinas optativas, fixadas pelo poder público, federal ou local. Dessa forma obtinha-se maior equilíbrio entre as humanidades e as ciências.

As lutas pela LDB se estendem até 1961, quando finalmente é aprovada, com algumas mudanças no projeto original. Segundo Rodrigues (1981), a LDB correspondeu a um compromisso entre grupos de interesses privados e religiosos com as elites culturais defensoras da ação do Estado sobre a educação.

Os currículos secundários são reduzidos significativamente. Na vigência da Reforma Capanema eram estudadas catorze matérias no curso clássico e catorze no curso científico, em média de nove por série. Com a 4024/61, temos oito matérias nas duas primeiras séries, sendo no máximo sete por série. Na terceira série havia no máximo seis matérias.

Uma característica totalmente nova é o currículo diversificado: ao Conselho Federal de Educação competia indicar até cinco disciplinas obrigatórias, cabendo aos conselhos estaduais indicar outras, inclusive optativas.

Na definição dos novos currículos para o ensino médio (ginásio e colegial), por parte do CFE, foram fixadas como disciplinas obrigatórias: português (sete séries), história (seis séries), geografia (cinco séries), matemática (seis séries) e ciências (sob a forma de iniciação à ciência, duas séries, sob a forma de ciências físicas e biológicas, quatro séries). No parágrafo segundo, artigo terceiro, era ainda especificado que as ciências físicas e biológicas, poderiam se desdobrar em física, química e biologia.

As matemáticas e as ciências são defendidas por seu caráter de disciplinas universais, já se fazendo referência a seu valor formativo, ao lado de sua utilidade prática. Nas palavras de Gildásio Amado, então Diretor do Ensino Secundário:

"Queríamos que se começasse a vencer o velho preconceito da antinomia entre educação para a cultura e educação para o trabalho e, simultaneamente, dar avanço ao objetivo de unificação do ensino médio, em seu primeiro ciclo pelo menos." (Amado, 1973: 143)

Mas apenas a mudança na legislação não resolve as questões da educação: muitos ainda eram os obstáculos a serem vencidos pelo ensino de ciências, especialmente o de química que, como vimos, não necessariamente estaria presente entre as disciplinas do segundo ciclo do ensino médio de todo Brasil.

Um dos entraves sérios para o incremento do ensino de ciências era a formação de professores. A situação de expansão do ensino secundário aumentava a demanda de professores, a qual, não sendo suprida apenas pelos egressos dos cursos de licenciatura, provocava a necessidade de processos emergenciais de suplência - exame de suficiência e autorização a título precário. De acordo

com a portaria ministerial 478 de 1954, relativa ao registro de licenciados como professores na Diretoria do Ensino Secundário, o registro poderia ser concedido desde que a matéria a ser lecionada tivesse sido estudada em qualquer medida ou caráter no curso por ele seguido. Essa situação é mais grave nas carreiras de ciências, cujos cursos de licenciatura eram em menor número, por exigirem investimentos maiores em laboratórios e equipamentos, além de igualmente raros docentes. Segundo Bastos Silva (1969), de um total de 507 cursos das faculdades de filosofia em todo país, em 1960, apenas 86, ou seja, 17 %, eram de ciências físicas e naturais e matemáticas.

Por outro lado, a qualidade desses cursos não era a melhor, fossem eles de ciências ou não, dado o caráter assumido pelas instituições superiores, como atestam as linhas abaixo.

"Na medida em que as faculdades de filosofia não encontraram condições de operarem como centro básico de ensino universitário comum, elas foram assimiladas, progressivamente, por aquele padrão acabando por se tornarem uma nova modalidade de escola superior, isolada e especializada, ou seja reproduziram em escala maior ou menor, a tendência incoercível de nossas escolas superiores de se concentrarem em alguma sorte de preparação técnica dos alunos - no caso, a formação de docentes para o ensino secundário ou normal. (...) Entendidas como meros equivalentes das demais escolas superiores, delas se distinguindo pela qualidade de sua contribuição técnica (a formação de professores secundaristas e normalistas), a criação dessas faculdades deixou de ser empreendimento complexo, arriscado e difícil. Qualquer cidade brasileira podia-se arrogar tal aventura, já que o mister de 'formar professores de ensino médio' parecia acessível aos nossos letrados comuns, mesmo à custa de algumas improvisações notórias." (Florestan Fernandes citado por Bastos Silva, 1969: 403-404)

Conforme o registro de professores na Diretoria do Ensino Secundário de 1955 a 1960, ou seja, no período imediatamente anterior à LDB, os menores totais de professores registrados no segundo ciclo se encontram nas disciplinas química e história natural (desconsideramos o grego por ter deixado a matéria de ser obrigatória). A física apenas ultrapassava grego e inglês. E de todas a que apresentava o menor número de professores registrados era a química. Tornando a situação da química ainda mais preocupante, havia seu baixo percentual de professores licenciados.

REGISTRO DE PROFESSORES NA DIRETORIA DO ENSINO SECUNDARIO -
- 1955 A 1960

Os dados abaixo se referem aos menores totais em comparação com o maior total.

Disciplina	Total de Professores Registrados
Português	2427
Química	306
Física	931
Hist. Nat	521
Inglês	893
Grego	467

Fonte: Bastos Silva, 1969: 313

Os dados abaixo referem-se aos percentuais de professores, segundo a forma de habilitação, para cada disciplina de ciências físicas e naturais.

Disciplina	Forma de Habilitação		
	Licenciado	Exames de Suficiên.	Outras Formas
Histór. Nat.	71.0 %	16.3 %	12.7 %
Física	83.4 %	9.6 %	7.1 %
Química	45.4 %	29.1 %	25.5 %

Fonte: percentuais calculados com base em dados de Bastos Silva, 1969: 313

Como podemos constatar, menos de 50 % dos professores de Química possuíam formação adequada. Resultados mais alarmantes são encontrados na análise dos dados referentes ao corpo docente dos estabelecimentos no Estado de São Paulo em 1964. Dentre os professores de química registrados, apenas 18 % são licenciados.

As justificativas para esses índices baixos podem ser encontradas também no fato de ser muito pequeno o contingente de químicos que se dirigia ao magistério. Schnetzler (1980) citando Beisiegel afirma que de 1937 a 1965 somente 12 % dos 316 formados em química na USP se interessaram pelo magistério. As razões para isso não são difíceis de serem apontadas: outras oportunidades de empregos melhores, baixos salários no magistério, localização das vagas do ensino público. A situação da química se mostrou sempre mais preocupante do que a das demais ciências físicas e naturais, dado o maior espaço existente para o formando nessa área se aplicar na indústria, o que não ocorre com a física e a biologia, mais dependentes do setor de pesquisa.

Um fato significativo é que, se hoje nas grandes cidades como São Paulo e Rio de Janeiro essa situação pode ter se invertido, não havendo mais o grande número de professores de química não licenciados como havia antes (1), em outras regiões do país nada parece haver se modificado. Na pesquisa de Rocha e Sousa (1988) na rede oficial do Rio Grande do Norte foram encontrados 40 % dos professores de química com formações outras que não a licenciatura em química, dentre elas: dentistas, licenciados em português, licenciados em educação física e outros. Sem dúvida esse é mais um fator justificativo da baixa qualidade de ensino na área de química.

A reforma do ensino de 1971, onde o planejamento tecnicista imperou sobre a visão educacional, preconizando a Revolução pela educação, possui em seu bojo o pensamento educacional dos grupos militares e econômicos que ascenderam ao poder em 1964.

Em 1967, diante da pressão exercida pelos excedentes - alunos aprovados no vestibular e não admitidos na universidade por falta de vagas - a resposta governamental não se deu no sentido da ampliação das vagas universitárias, mas de um projeto de garantia da terminalidade no grau médio, explicitado na Indicação 48/67 do CFE.

"(...) o que a Indicação 48/67 [CFE] sugeriu foi (...) uma reforma da escola média, que lhe acentuasse o caráter de terminalidade, o que, no entender da comissão, acabaria por desestimular a continuidade dos estudos, através da 'auto-exclusão natural' de muitos não-dotados que, de outra forma, continuariam a tumultuar os trabalhos do ensino, quer por terem nele ingressado, quer por não

conseguirem fazê-lo." (Piletti, 1988: 26)

Assim, na reforma 5692/71, o acentuado caráter propedêutico do ensino secundário é combatido com a preponderância da formação para o trabalho sobre a formação geral, a qual significou na prática a desarticulação com o ensino de terceiro grau, na medida em que a formação geral era deficiente. Houve também a igual desarticulação com o mercado de trabalho, pois a formação especial não se deu ao nível das escolas técnicas, gerando uma profissionalização artificial. Como afirma Piletti (1988) combatendo o ensino "verbalístico e academizante", a reforma 5692/71 transformou o próprio ensino profissional em "verbalístico e academizante".

No Relatório do Grupo de Trabalho que elaborou o anteprojeto da 5692/71 existe a crítica do ensino secundário por não apresentar uma integração entre os diversos ramos - técnico, comercial -, refletindo a estratificação social mantenedora do dualismo de ensino secundário para os nossos filhos e ensino profissional para os filhos dos outros. Mas vemos que claramente se estabelece novo dualismo: terminalidade real para os nossos filhos e terminalidade geral para os filhos dos outros.

"Num planejamento global, como o que implica o anteprojeto proposto, parece-nos lícito cogitar de uma terminalidade geral coincidente com as faixas etárias de surgimento e cultivo das aptidões específicas, porque só então existem condições de treinamento para o trabalho. Além dessa, porém, haverá a terminalidade real ditada ora pelas capacidades individuais ora pelas possibilidades de cada sistema." (Relatório do Grupo de Trabalho, 1971: 97-98)

"Para o tipo de aluno dos meios pobres, amadurecido precocemente pelas dificuldades da vida, a iniciação antecipada numa atividade produtiva será mal menor, decerto, que um acréscimo de estudos gerais cuja função se perderá e cuja utilidade ele não poderá perceber." (Rel. Grupo de Trab, 1971: 100)

Dentro dessa reforma tecnicista, valorizadora do trabalho, como ficou o ensino de ciências? No decorrer da história analisamos que a valorização do ensino de ciências veio a reboque da valorização da aplicação prática dos conhecimentos, sendo então de se esperar uma grande ênfase no ensino de ciências nos currículos da 5692/71.

A primeira vista isso se deu, como atestam os dados abaixo relacionados.

PARTICIPAÇÃO RELATIVA DAS DIVERSAS ÁREAS NOS CURRÍCULOS NO ENSINO MÉDIO SEGUNDO O PARECER 45/72 (EM %)

Áreas	Adm	Eletr	Agr
Human	25.7	17.5	19.6
Ciênc	27.1	60.8	58.7
Est Soc	35.1	12.4	12.4
Outras	12.1	9.3	9.3

Fonte: Piletti, 1988: 63

No entanto, como a parte de ciências estava inclusa na parte profissional e a profissionalização se deu artificialmente, podemos concluir que essa ênfase nas ciências ocorreu apenas em números. Na prática não houve condições estruturais para empreendimento do processo de profissionalização e o ensino secundário se viu sem a antiga formação geral e sem nada que a substituísse.

Os currículos, de acordo com a reforma de 1971, permanecem com um núcleo comum obrigatório em âmbito nacional e uma parte diversificada. O núcleo comum, de acordo com a Resolução 8 de 1971, constitui-se de: comunicação e expressão, estudos sociais e ciências, incluindo-se em ciências, a matemática e as ciências físicas e biológicas.

Segundo a doutrina do Parecer 853/71, esses núcleos básicos se interpenetram, na medida em que os Estudos Sociais, por terem abordagem mais científica que a Comunicação e Expressão, constituem a ligação entre esta e as ciências. Sendo que, mesmo a Comunicação e Expressão não prescinde do conhecimento científico, além de estarem sempre no desenvolvimento das ciências: "(...) afinal, o ato de criação é substancialmente o mesmo nestes campos e nos Estudos Sociais." (p. 41)

Quanto ao ato de criação ser o mesmo, é extremamente discutível. Subliminarmente transmite-se a visão do método único para as ciências sociais e físicas, a visão monista da criação. A criação enquanto tal, é própria de cada processo científico, possuindo características construídas no ato de produção científica e não se repetem em campos tão diversos quanto as ciências sociais e as ciências físicas. Utilizar a linguagem como unificadora trata-se de um equívoco: a própria linguagem se constitui nova para cada nova teoria.

Constata-se também, no Parecer 45/72, a crítica ao antagonismo humanismo - ciências, mas temos aqui a ciência identificada com a tecnologia. Retoma-se o ponto de identificar a ciência com o fazer e não com o pensar racional.

"Até pouco tempo, quando se falava de tecnologia e confronto com educação acadêmica, notavam-se dois falsos subentendidos. O primeiro era identificar-se humanismo com cultura acadêmica, como se as matérias de cultura geral, de sua natureza, aperfeiçoassem o homem e as disciplinas técnicas o deformassem. Na verdade, umas e outras aperfeiçoam o homem se o servem, e deformam-no se fazem dele um instrumento. Neste contexto, humanismo é ponto de vista e orientação mais que área de conhecimento." (Parecer CFE 45/72: 102)

Se não cabe desvincular técnica e humanismo, por que universalizar a educação técnica? Por que não uma educação mais plural, com faces científica, humanista, social e técnica?

Como afirma Hamburger (1983):

"Há uma pretensão de integrar o ensino técnico e o ensino acadêmico, anteriormente claramente separados pela existência de escolas técnicas e escolas propedêuticas. As primeiras transformaram-se então em escolas regulares, deixando de formar pessoal técnico qualificado. As segundas, escolas pretensamente profissionalizantes, entretanto, não tiveram condições de formar profissionais e continuaram a visar o vestibular para a universidade, apresentando profissionalização fictícia." (p. 307)

Com isso, a Reforma 5692/71 não resolveu o antagonismo humanidades - ciências, mas simplesmente desconstruiu todo o espaço das humanidades, sem sequer substituí-lo de fato pelas ciências. Autores como Arroyo (1988) atentam para o fato de que a ilusão do tecnicismo desenvolvimentista dos anos 60 e 70 levou ao reducionismo utilitarista que em nada contribui para o avanço das ciências. Ou seja, a ciência é encarada como campo de formação para o trabalho, saber de indiscutível utilidade, com uma neutralidade garantida pela matematização compulsória.

Mas o que deveria estar em jogo era a discussão: que humanidades? que ciências? Como afirma Posi (1987), dependendo do contexto a ação humanista tradicional pode ter função bivalente: reforça um projeto autoritário ou relativiza discursos pragmáticos e tecnocráticos de caráter mecânico superficial ou

mesmo opressor. E o mesmo podemos dizer das ciências: ou se avança no tecnicismo, na defesa de um saber superior detentor do poder de ditar regras a outros campos do saber, ou se desenvolve o pensar criticamente, a elaboração de raciocínios não-dogmáticos e, portanto, potencialmente anti-opressores. Ou seja, nem as humanidades representam, por si só, conservadorismo e academicismo, nem as ciências físicas, apenas pelo caráter de aplicação tecnológica, indicam modernização. Principalmente se estão as primeiras articuladas com uma visão crítica do mundo e as segundas meramente relacionadas com o saber prático.

Não cabe discutir se um ou outro saber deve prevalecer, mas estabelecer uma alternativa argumentativa para o ensino de humanidades, introduzindo uma lógica não-demonstrativa, capaz, inclusive, de subsidiar a crítica à ciência empirista. São necessários caminhos não tecnicistas para as ciências, nos quais valorizemos os aspectos racionais sobre os aspectos operacionais.

Assim como as novas conquistas do século XX mudaram a face da ciência, é preciso retirar o ensino do total de descompasso em que se encontra, veiculando uma ciência neutra e dogmática, composta de verdades cristalizadas, tal como era concebida no século XIX.

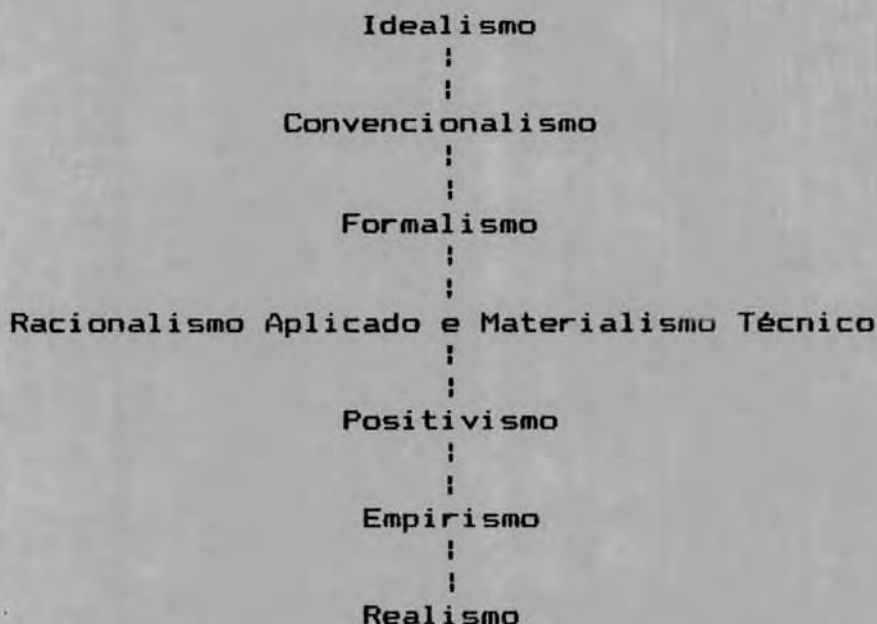
A ciência precisa ser vista no ensino dentro de sua lógica própria, sendo transmitida aos alunos enquanto parte de uma cultura crítica, polêmica. Limitar a ciência a seu caráter de aplicação técnico, ou suprimir essa relação igualmente impedem o conhecimento da totalidade do processo de construção científica.

III.3 - Influência do Positivismo no Ensino de Ciências

Um ponto importante de ser discutido é quanto ao papel do positivismo na educação brasileira, em especial no ensino de ciências. O positivismo, e aqui é necessário explicitar que com esse termo pretendemos englobar o corpo de idéias ligadas direta ou indiretamente à doutrina de Auguste Comte, vem sendo considerado em diferentes análises (Höfiling, 1982; Bergo, 1983; Callonni, 1984; Tobias, 1986) como um grande vilão filosófico, inclusive no ensino.

Mais uma vez, encontramos em Bachelard subsídios importantes para a discussão dessa questão. E, ao contrário do que inicialmente poderíamos pensar, o autor do Novo Espírito Científico não coloca a obra filosófica de Comte como ponto central de suas críticas.

Na abordagem de como as filosofias do conhecimento científico se organizam a partir do racionalismo aplicado, Bachelard (RA) apresenta o seguinte quadro:



Enquanto o racionalismo aplicado e o materialismo técnico correspondem à realidade que recebeu a marca humana do racionalismo, as demais filosofias se afastam desse duplo diálogo real-racional, por um lado caminhando para o realismo, onde a ciência é a descrição da realidade, e por outro lado indo de encontro ao idealismo, onde prevalece o sensacionismo etéreo, quando a ciência se institui pelas imagens do real. Como afirma Bachelard (RA), o realismo é definitivo e o idealismo é prematuro.

Em contrapartida, interpretando o conhecimento racional como apenas constituído de formas, caminhamos para o formalismo e enfraquecemos o racionalismo aplicado, assim como, ao seguirmos

para o positivismo, adentramos uma filosofia que não dá conta dos "valores de coerência" da física contemporânea.

Mas indubitavelmente o positivismo para Bachelard se mostra superior ao empirismo puro e sobretudo superior ao realismo. Sua superioridade está centrada na capacidade de hierarquização das leis gerais, no trabalho de teorizar sobre os dados obtidos pelo empirismo indutivista. O positivismo não deixa de combater o realismo ingênuo, apegado unicamente ao dado concreto ao alcance das mãos, às concepções primárias dos fenômenos, defendendo a organização matemática dos fatos.

"A pura erudição, onde os conhecimentos reais, mas incoerentes, consistem em fatos e não em leis, não poderia evidentemente bastar para dirigir nossa atividade." (Comte, Discurso Sobre o Espírito Positivo, p. 55)

A crítica de Bachelard à filosofia de Comte se dá quanto a sua impotência frente à nova razão constituída a partir das rupturas ocorridas na ciência do século XX.

"O positivismo nada tem do que é necessário para decidir quanto às ordens de aproximações, para sentir essa estranha sensibilidade de racionalidade que as aproximações de segunda ordem dão, esses conhecimentos mais aproximados, mais discutidos, mais coerentes que encontramos no exame atento das experiências sutis e nos fazem compreender que há mais racionalidade no complexo do que no simples." (Bachelard, RA, 1975: 6, tradução própria)

Pretendemos analisar, no que se refere ao ensino de ciências, o quanto o vilão comtiano por vezes nos trouxe benefícios, paralelamente apresentando sua contrapartida moderna: estar presente em discursos pretensamente renovadores (Gewandsznajder, 1987) que vêem na aplicação do método científico a solução dos problemas concernentes ao ensino de ciências. Nosso objetivo, portanto, é abordar o tema de forma que implique na desconstrução da postura preconceituosa acerca do positivismo e por isso mesmo incapaz de dar conta das contradições do tema, combatendo as consequências adversas dessa corrente de pensamento aplicada à ciência e ao ensino.

Como bem afirma Bachelard:

"É preciso passar pelo positivismo para superá-lo. Para nós que queremos determinar as condições epistemológicas do progresso científico é preciso ter como positivo o

positivismo por oposição ao caráter 'retrógrado' das filosofias da natureza, marcada pela metafísica idealista, a palavra 'retrógrado' sendo tomada no seu sentido comtiano bem determinado." (Bachelard, RA, 1975: 104, tradução própria)

Os primeiros sinais de movimentos positivistas organizados no Brasil surgem em 1850 (Lins, 1964). O quadro geral da educação científica nessa época já foi apresentado: praticamente só existia o ensino de humanidades. Mas já iniciavam-se as discussões quanto a importância do ensino de ciências e da Europa chegavam as idéias dos movimentos favoráveis à cisão da educação secundária nos dois campos opostos de aptidões: humanismo e cientificismo.

Como afirma Haidar (1972), dentre os defensores da supremacia dos estudos científicos, havia os que consideravam a ciência apenas como suporte necessário às especializações futuras e aqueles capazes de ver na ciência uma nova atitude intelectual, portanto não satisfeita numa dicotomia dos conhecimentos, mas buscando se embrenhar sobre todo o saber. Esta última era a visão positivista.

"A ciência - dizia Rui Barbosa - é tãda observação, tãda exatidão, tãda verificação experimental. Perceber fenômenos, discernir relações, comparar as analogias e dessemelhanças, classificar as realidades e induzir as leis, eis a ciência, eis portanto o alvo que a educação deve ter em mira. Despertar na inteligência nascente as faculdades cujo concurso se requer nesses processos de descobrir e assimilar a verdade, é o a que devem tender os programas e métodos de ensino. Ora os nossos métodos e os nossos programas tendem precisamente ao contrário: a entorpecer as funções, a atrofiar as faculdades que habilitam o homem a penetrar no seio da natureza local, e prescrutar-lhes os segredos. Em vez de educar no estudante os sentidos, de industriá-lo a pensar, a escola e o liceu entre nós ocupam-se exclusivamente em criar e desenvolver nêles hábitos mecânicos de decorar e repetir. A ciência e o sôpro científico não passam por nós." (citado por Haidar, 1972: 123)

Nesse texto, significativamente de um autor não positivista, encontramos inúmeros referenciais positivistas acerca das relações do homem com as ciências físicas: a concepção de que a ciência é exata, reduto da verdade, sustentada sobre o binômio observação-experimentação, a experimentação possuindo o

caráter de verificação indutiva, a concepção realista de que o fenômeno é o dado, invariante e independente do observador, cabendo ao cientista descortinar a verdade do fenômeno a partir do método. Todas essas concepções, hoje extremamente questionáveis, possuíam caráter de vanguarda na sociedade brasileira da segunda metade do século passado diante do entorpecimento acadêmico de nosso ensino. Portanto, os positivistas foram de fundamental importância na defesa do estudo científico, inclusive por combaterem o caráter meramente instrumental que muitos tentavam conferir a ele.

A difusão das idéias positivistas, oriundas da França, no dizer de Lima (1964: 247) "então fonte quase exclusiva de cultura científica, filosófica e literária, não só do Brasil, mas ainda de Portugal, Espanha e suas antigas colônias americanas", se exacerbou a partir de 1870. Depois da Guerra do Paraguai, o Império declina, iniciam-se as discussões envolvendo a definição do melhor regime político e o manifesto republicano de 1870 é a abertura de todo esse debate. Essas idéias encontram fácil aceitação nas camadas médias, principalmente na Escola Politécnica e no Exército, via Academias e Escolas Militares. Nestas escolas o ensino científico e, principalmente, matemático — as ciências físicas e naturais, ao contrário das matemáticas que possuíam um peso grande, só passaram a constar dos preparatórios das escolas militares em 1889 — levava à aproximação com a ciência positiva. De acordo com Paim (1979), o espírito da reforma pombalina, calcado na hipótese de esgotamento do saber pelas ciências, manteve-se intocado na Academia Militar. Daí a ênfase incontestável na matemática, como fica claro pelo discurso do professor Negreiros Lobo na aula magna de 1851: "É assim que elas [as matemáticas], desenvolvendo a nossa razão, nos conduzem a descobertas úteis, dispõem o nosso espírito às meditações e nos inspiram insensivelmente o amor dos conhecimentos sólidos." (citado por Paim, 1979: 16). Por isso Jeovah Motta (citado por Paim, 1979) conclui que as idéias de Comte chegaram aos professores das Escolas Militares a partir de suas formulações matemáticas. Era Comte, professor de matemática, inspirando professores de matemática. E o terreno fértil de necessidade de valorização da ciência permite a proliferação dessa doutrina.

"O conhecimento científico era uma necessidade para a burguesia naquela época — em que se encontrava em plena expansão. A **Religião da Humanidade** era uma tentativa de conciliação entre a ciência e a religiosidade a que a burguesia retornava depois de haver passado vários anos a enforcar padres e queimar igrejas desde 1789. Agora era preciso consolidar o poder, reconstruir o que ela havia destruído." (Basbaum, 1982: 203)

A penetração do positivismo junto aos militares é mais uma das tantas demonstrações de que o positivismo brasileiro

adquiriu cores próprias, sofreu adaptações, inclusive levando ao rompimento dos positivistas brasileiros com Pierre Laffite - sucessor de Comte na orientação do Apostolado - em 1883, acusados de radicalismo na interpretação da doutrina comtiana (Porto, 1987). Não fosse isso não se compreenderia esse "fato controvertido na história das idéias no Brasil", como assinala Höffling (1982): exército e marinha abraçarem uma doutrina pacifista e anti-militarista.

A partir do quadro então apresentado, podemos concluir haver um cientificismo levando ao positivismo. Ou seja, havia os positivistas interlocutores de Comte, cuja ortodoxia por vezes ultrapassava as palavras do mestre, aqueles integrantes do Apostolado Positivista e mesmo os professores do Catecismo Positivista - a religião da Humanidade. Mas havia também aqueles que, não sendo positivistas no sentido de assumirem todo o corpo das idéias comtianas para a sociedade, possuíam um discurso positivista para a ciência, impregnados que estavam das idéias predominantes na época. Eram aqueles sintonizados com o perfil do século XIX - valorização da ciência e da técnica - e se contrapondo à visão escolástica da intelectualidade do Brasil, local onde, no dizer de Basbaum (1982) o simples racionalismo, já velho na Europa de mais de trezentos anos, ainda era olhado com desconfiança.

Palavras significativas dessa visão estão no discurso proferido pelo Visconde do Rio Branco como vice-presidente do Instituto Politécnico Brasileiro, em 1877.

"O século atual parece caracterizado pelo império das ciências. Se a filosofia da história já pode merecer inteiro crédito nas leis gerais que atribue à marcha da civilização do mundo, o espírito humano move-se em uma órbita cujas combinações se renovam na mesma ordem. (...) Seja, porém, exata, ou não aquela observação, é sempre certo que no século XIX predominam as ciências, e mais que todas, as ciências naturais e físicas, cujas descobertas, as matemáticas, suas companheiras inseparáveis, vão utilizando nas variadas aplicações com que estendem o domínio do gênero humano sobre o mundo exterior, e satisfazem às multiformes e crescentes necessidades sociais." (citado por Lins, 1964: 247)

Assim os positivistas se unem a todos os que viam no ensino de ciências o incremento necessário para colocar a instrução pública do país ao nível do século, ou seja o primeiro passo para o progresso industrial do país, nas palavras do Dr. Tomás Gaspar, da Faculdade de Medicina da Bahia, no ano de 1864 (citado por Haidar, 1972). Rodolfo Dantas enquanto ministro do Império em 1882, profere discurso no Senado pleiteando o preparo científico dos estudantes de Direito com uma argumentação

claramente positivista: "Como abordar o estudo dos fenômenos complexos da sociologia, sem nada saber de ciências inferiores?" (citado por Lins, 1964: 258)

O ideário positivista acaba inclusive por influenciar os métodos de ensino científico, combatendo a memorização excessiva, valorizando a observação e a reflexão, renovando o processo ensino-aprendizagem. Esses novos métodos advogavam a necessidade de não se impor a ciência, mas sim mostrá-la: o panorama do mundo precisava ser colocado diante do aprendiz, traduzindo a supremacia ocularista tão bem criticada por Bachelard (ver II.1).

"O ensino das ciências físicas e o das naturais - depunha o Prof. Pimenta Laet - tem tido nestes últimos anos não pequeno incremento, principalmente devido à aquisição do material indispensável para semelhantes estudos. O gabinete das ciências naturais do Externato parece-nos representar o suficiente para que as lições sejam estudadas não de cor, mas com espécimes à vista, como preceituam os programas." (Congresso de Instrução de 1883, citado por Haidar, 1972: 132, grifos nossos)

A influência positivista vinha principalmente através dos mestres que adotavam as idéias de Comte e as transmitiam direta ou indiretamente nas aulas. Buscando a clareza de raciocínio, a dedução lógica das idéias, transmitindo a ciência sob a aparência de sistema perfeito, oferecedor de um leito tranqüilo para a razão que se encontrava imersa na confusão de um ensino onde a memória era a única capacidade desenvolvida. Nada mais acolhedor para a mente humana do que um corpo de idéias onde as soluções, ainda que não estivessem descobertas, não tardariam a sê-lo, pois se conhecia a receita dos caminhos a seguir para alcançá-las.

Vivaldo Coaracy, aluno interno do Colégio Pedro II em 1895, revela em suas memórias toda a admiração cultivada por seus mestres positivistas, os quais, como ele mesmo afirma, não eram muitos, mas marcantes o suficiente para se sobressaírem dos demais. E nessa admiração podemos perceber os traços da mente que se construiu com uma orientação clara, definida e, principalmente, alentadora do espírito racional. Como diria Bachelard, o racionalismo estava presente, mas normatizado, sem a turbulência que o deveria acompanhar.

"Fui educado por positivistas. Devo-lhes a minha estrutura mental, se assim posso dizer. O mecanismo do meu raciocínio, o ponto de vista em que me situo para encarar um problema qualquer, a minha concepção do conhecimento, as leis fundamentais de filosofia primeira, que orientam a minha atitude mental, a minha reserva diante da metafísica, o racionalismo

que coordena minhas idéias, tudo provém, nas suas raízes remotas, da Filosofia Positiva de Comte, eu o reconheço." (citado por Lins, 1964: 282)

Para o positivismo, em suma, havia uma missão pedagógica definida a ser cumprida, como bem atesta Bergo (1983).

"A missão pedagógica do positivismo é, conforme ele, transformar a sociedade arcaica, conformista, inerte, supersticiosa, no seu estágio positivo, pela ciência e pela técnica. Caberia neutralizar a massa com o novo ideário filosófico-científico. Tratava-se de romper com a insalubridade e a estagnação, na obra redentora da pátria, para fazê-la seguir o caminho da Humanidade. A educação é o centro do seu esforço para a chave do progresso." (p. 67)

Com o advento da República e a chegada de Benjamin Constant ao Ministério, a influência positivista se dá diretamente na legislação, não sem contradições.

Benjamin Constant era militar e professor de matemática, muito mais professor do que militar. Professava as idéias positivistas de forma heterodoxa e conseguiu com sua reforma desagradar positivistas e não-positivistas. O currículo proposto para o ensino secundário era enciclopédico, pois aumenta significativamente a carga de ciências, principalmente a partir da super-valorização da matemática, não havendo, em contrapartida, uma diminuição acentuada das humanidades, estas inclusive permanecendo ligeiramente em vantagem no percentual de carga horária: 32.7 % contra 31.6 % (16.7 % - ciências e 14.9 % - matemática). As matérias são as mais diferentes possíveis, configurando o total de dezenove, onde se incluem astronomia, sociologia e moral, quatro línguas estrangeiras, história natural e biologia. No texto da lei as matérias são apresentadas segundo a ordem lógica de Comte, iniciada na matemática e finalizada na sociologia, o mesmo se dando com a sequência a ser observada para a realização dos exames finais. A própria frequência às aulas avulsas, ainda aceita, só é permitida desde que feita segundo a ordem lógica das matérias. Tal foi a forma encontrada por Benjamin Constant para por em prática o ditame de Comte, afirmativo de que uma ciência mais complexa, dentro do espírito positivo, não pode ser aprendida antes que se faça o estudo das ciências precedentes, mais simples.

Na reforma de 1890 também são previstas aulas e provas práticas para as disciplinas de ciências, valorizando assim o caráter experimental desses saberes. Seu autor tentou, portanto, legislar tendo em vista as concepções já por ele anteriormente propaladas.

"O ensino público deve ser completamente desprendido de todos os preconceitos teológicos, metafísicos ou próprios de qualquer outra doutrina que não tenha por si o assentimento universal. Só assim poderá convenientemente servir não só à dignidade, mas também e principalmente à solidariedade humana, apresentando como o exige seu importante destino, um caráter predominante mais humanitário que nacional. O que se quer, o que se deve ardentemente desejar é a verdade no ensino, e esta só a ciência a pode dar." (Benjamin Constant, Congresso de Instrução, 1882, citado por Lins, 1964: 259)

Percebe-se nitidamente a crença no caráter neutro, portanto universal, da ciência, na medida em que ela trata da verdade, sendo a única capaz de possibilitar a solidariedade no mundo. Essa mesma concepção surgirá, posteriormente à segunda grande guerra, nos princípios do Congresso Brasileiro de Educação, organizado pela Associação Brasileira de Educação em 1945 (ver III.2).

As críticas dos não-positivistas ao projeto de Benjamin Constant são facilmente previsíveis e a elas já nos reportamos no tópico anterior: setores conservadores, que tinham na educação preponderantemente humanista seu distintivo de classe, rejeitavam a ciência e seu experimentalismo, representativo do trabalho manual.

Todavia, a despeito de todo esse perfil positivista, a reforma de 1890 não agradou igualmente os seguidores de Auguste Comte. Segundo Torres (1957) e Bastos (1965), os positivistas ortodoxos eram contra a intervenção estatal no ensino, ainda que fosse ela consagradora do autor da filosofia positiva.

"A posição pedagógica dos positivistas 'ortodoxos' decorria da ingênua crença da rápida transformação do Brasil em nação de instituições positivistas. Favorecer o ensino estatal seria atrasar o 'surto das soluções orgênicas'. Conseqüentemente, uma atitude anti-estatal, intransigente, só abrandada com relação ao ensino estritamente técnico-profissional ou de formação de professores primários." (Bastos, 1965: 79)

As argumentações da ortodoxia se valiam do fato de que o texto da lei é uma coisa e sua aplicação, outra, já que o positivismo não era a linha filosófica da grande maioria dos educadores.

"De que serve criarem-se cadeiras de Sociologia e Moral, se estas cadeiras podem ser providas por qualquer cidadão que o governo entenda ? (...) quantos professores seguem hoje, no ensino da Cosmologia e da Biologia as indicações de nosso Mestre ? Nem sequer a Lógica (matemática) é ensinada conforme êle a instituiu. Quanto à Astronomia, a Física, à Química e à Biologia, mal se ressentem de sua poderosa influência no ensino oficial." (Teixeira Mendes, citado por Bastos, 1965: 85)

Esse panorama só fez desgastar a Reforma Benjamin Constant, logo modificada. Em 1901, a Reforma Epitácio Pessoa consolida a equiparação dos colégios particulares e oficiais ao Colégio Pedro II, permitindo assim a uniformização de todo o ensino secundário nacional. O currículo se modifica, havendo diminuição da carga horária total em 25 %. Aumenta o percentual de humanidades de 33 % para 49 %, com o concomitante aumento do número de horas de 55 para 58. Na parte de ciências e matemática o percentual cai de 32 % para 28 %, sendo que o número de horas cai significativamente de 53 para 35.

Ou seja, a saída do ministro positivista acarreta para as ciências considerável perda de prestígio, inclusive sendo importante registrar que a queda nos percentuais de ciências e matemáticas se dá mais nas primeiras, menos enfatizadas por Benjamin Constant, do que nas segundas: na Reforma Benjamin Constant temos 17 %, num total de 28 horas, para ciências (física, química, biologia, astronomia, mineralogia e geologia) e 15 %, num total de 25 horas, para matemáticas; na Reforma Epitácio Pessoa temos 11 %, num total de 14 horas, para ciências e 17 %, num total de 21 horas, para matemáticas. Ou seja, no total de carga horária as ciências caem 50 % e as matemáticas caem 16 %. Certamente por força dos que defendiam o ensino de humanidades, alimentando o antagonismo existente entre humanidades e ciências, como tratamos no tópico anterior.

Tendência marcante nos críticos de Comte é a de enfatizarem a discordância com sua visão da sociologia, a partir da crítica de seus critérios de objetividade e de cientificidade, os quais têm por referência o dado experimental. Por outro lado, não se detêm na crítica do monismo positivista e da sua razão ancilosada. A consequência disso é a existência de críticas profundas ao positivismo no campo das ciências sociais (Löwy, 1987), mas a manutenção de um tratamento parcimonioso das influências comtianas no campo das ciências físicas. Nestas são criticados os exageros dos mal-positivistas, a acentuada base nos fatos que dispensa mesmo os alicerces teóricos defendidos por Comte, mas não se questiona a dimensão conferida ao fato.

Essa crítica é constituída por Bachelard, quando da sua compreensão do processo de construção do fenômeno pelo cientista, a partir dos trabalhos da ciência contemporânea. Na fenomenotécnica nenhum fenômeno se esgota na análise primeira, não está dado e sua construção exige que o espírito jamais separe

o experimental do racional (ver II).

Com o questionamento parcial da obra de Comte, pode-se, inclusive, acentuar sua concepção empirista, acarretando dificuldade maior na identificação do positivismo que permeia as ciências físicas.

Isso pode ser constatado nos trabalhos de Calloni (1984) e Höffling (1982). Ambos reafirmam a não admissão pelo positivismo de outra realidade que não a dos fatos, o que está correto dentro dos princípios positivistas: para Comte somente são reais os conhecimentos que repousam sobre os fatos, com todas as conotações possíveis de serem dadas ao termo repousar, negador do caráter polemizador do conhecimento tão defendido por Bachelard. Mas a afirmação desses autores, por si só, não dá conta de outros aspectos do positivismo no que se refere às relações fato-teoria, parecendo ter Comte invalidado todo trabalho teórico que implicasse em previsão racional. Não se pode perder de vista o fato de Comte ter na sua mira os estudos de Newton e as descobertas da astronomia.

"(...) pode-se dizer, sem exagero algum, que a verdadeira ciência, longe de ser formada de simples observações, tende sempre a dispensar, quanto possível, a exploração direta, substituindo-a por essa previsão racional que constitui, sob todos os aspectos, o principal caráter do espírito positivo, como o conjunto dos estudos astronômicos nos fará sentir claramente." (Comte, Discurso sobre o Espírito Positivo, p. 50)

Devido a essa ênfase no empirismo de Comte, onde se mantém apenas sua base em Bacon, mas se restringe seus referenciais cartesianos, encontramos inclusive concepções erroneamente atribuídas ao autor do Discurso sobre o Espírito Positivo. É o caso de quando se credita a Comte a defesa do caráter utilitarista da ciência.

"É que no regime positivista deve-se abster qualquer tentativa de pensamento que não tenha alguma utilidade real, seja material, seja moral. A ciência pela ciência será um princípio desprezível." (Calloni, 1984: 109)

Tal não vem a ser o pensamento comtiano: para ele existe a necessidade, inerente ao homem, de explicar os fatos, tanto quanto podem ser explicados; isto é, descobrir as leis invariáveis que os regem. Não se devendo, portanto, em função de uma visão pragmática da ciência, sacrificar trabalhos especulativos, pois esses podem por vários séculos não gerar nenhum resultado prático, mas vir a contribuir para formulações que gerem aplicações importantes no futuro.

"Sejam quais forem os imensos serviços prestados à indústria pelas teorias científicas (embora, segundo a expressão enérgica de Bacon, a potência seja proporcional ao conhecimento), não devemos esquecer que as ciências possuem, antes de tudo, destinação mais direta e mais elevada, a saber, a de satisfazer à necessidade fundamental, sentida por nossa inteligência, de conhecer as leis dos fenômenos." (Comte, Curso de Filosofia Positiva, 1978: 23)

Dado seu caráter de filosofia fechada e dogmática, o positivismo não tarda a assumir no Brasil feições conservadoras. Partindo do pressuposto comtiano de que as leis científicas são invariáveis, os positivistas se colocam contra a Teoria da Relatividade. Segundo Paim (1979), Licínio Cardoso é um que, em artigo divulgado n'O Jornal, condena a "Relatividade Imaginária". A própria religião positivista já havia anteriormente dificultado os passos da ciência no Brasil: de acordo com Porto (1987), os positivistas foram fervorosos combatentes da teoria microbiana e críticos contundentes da campanha de vacinação em massa de Oswaldo Cruz.

Mas o processo claramente delineado de separação positivistas-cientistas se dá com os esforços de criação das universidades no Brasil. Os seguidores ortodoxos de Comte tudo fizeram contra esse processo, acreditando, junto com seu mestre, que a universidade é uma corporação oposta ao progresso do conhecimento. Paim (1979) considera inclusive que, com a criação da Universidade do Brasil na década de 30, ocorre a derrota do positivismo entre os cultores da ciência. Essa derrota pode ter ocorrido no nível dos interlocutores e seguidores de Comte, mas sem dúvida não se deu no nível das idéias de ciência, as quais continuaram e continuam a ser permeadas pelo positivismo, mesmo sendo um positivismo que não se afirma como tal nem coloca sua origem nos trabalhos do mestre francês: o neo-positivismo (2).

Nos atuais trabalhos de Alves (1983) e Gewandsnajder (1987) nas áreas de filosofia da ciência e ensino de ciências, respectivamente, temos defendidas as teorias de Karl Popper, as quais permanecem nos limites do positivismo, como confirma Mendonça (1984). Ainda que Alves (1983) critique Comte, não o faz numa abordagem capaz de romper completamente com as bases do mestre francês. Um exemplo é sua crítica à colocação dos fatos como neutros, com conseqüente supervalorização da objetividade científica: contrapõe o autor que os fatos dados exigem interpretação para garantir-lhes sentido. Isto é, precisam estar dentro das "malhas de uma teoria", sendo as teorias exatamente utilizadas para "pescar dados".

Dessas afirmativas Comte não discordaria, exceto no campo das ciências sociais, visto que para o criador do sistema positivo a construção científica é centrada na observação alicerçada pela teoria. E a mesma relação entre teoria e

observação será defendida por Popper.

"(...) se de um lado toda teoria positiva deve necessariamente fundar-se sobre observações, é igualmente perceptível, de outro, que, para entregar-se à observação, nosso espírito precisa duma teoria qualquer." (Comte, Curso de Filosofia Positiva, p. 5)

"(...) observações e, a fortiori, enunciados relativos à observação, são sempre interpretações de fatos observados - interpretações à luz de uma teoria." (Popper, citado por Magee, 1973: 35)

Os pressupostos existentes na visão positivista, e demais visões de cunho realista, são os de que a natureza possui uma ordem a ser desvendada. Como afirma Gewandsznajder (1987), sabendo-se da existência dessa ordem natural, cabe ao cientista tentar descobrir regularidades, enunciando-as na forma de leis, as quais serão utilizadas para explicar e prever novos fatos. Nada mais de acordo com o pensamento comtiano.

"(...) o verdadeiro espírito positivo consiste sobretudo em ver para prever, em estudar o que é, a fim de concluir disso o que será, segundo o dogma geral da invariabilidade das leis naturais." (Comte, Discurso sobre o Espírito Positivo, p. 50)

A defesa da unicidade do método, cara ao positivismo, já fica patente no trabalho de Gewandsznajder a partir de seu título: "O que é o método científico". A singularidade conferida ao método torna-se restrição a pluralidade da razão. Comte, no Curso de Filosofia Positiva, defende a existência do método positivo geral, modificado uniformemente na extensão de uma mesma ciência e sofrendo modificações diferentes ao passar de uma ciência a outra. Ou seja, há uma pluralidade de manifestações a partir de uma raiz única: o método positivo. Gewandsznajder (1987) afirma não haver um método para conceber idéias ou imaginar hipóteses, mas um método para testá-las criticamente, selecionando as melhores teorias. O autor, portanto, não se coloca numa postura crítica ao positivismo, aceitando a concepção que identifica no objeto de estudo científico uma monotonia capaz de ser esgotada na unicidade metodológica. A mesma monotonia identificada por Alves (1983) nas ciências físicas, por ele denominadas naturais. Nelas existe maior rigor que nas ciências sociais, defende o filósofo, porque seu objeto de estudo é rotineiro: "Nas ciências naturais tudo é tão dominado pela rotina que tudo é previsível" (p. 99).

Essa rotina, essa previsibilidade, só existem para a razão domesticada, fixada às tradições do pensamento por um método que já contém em si as respostas esperadas pelo trabalho científico: a razão positiva.

Conhecendo-se as conquistas científicas desse século, torna-se muito difícil conceber uma rotina na ciência: para entendermos os mundos quântico e relativístico, precisamos renunciar à razão e aos métodos tradicionais, o fenômeno construído possui uma nova natureza, cuja previsibilidade matemática não é de forma alguma rotineira. Como já tivemos ocasião de discutir anteriormente (ver II), Bachelard se opõe à unicidade do método e invoca sua constante transformação: "todo descobrimento real determina um método novo, portanto deve arruinar um método anterior." (ER, 1972: 12, tradução própria)

Compreendemos, porém, que essas concepções neo-positivistas se sustentam em uma base comum: a de perceberem o espírito científico como refinamento do senso comum. Para Alves (1983) a ciência é uma metamorfose do senso comum e para Gewandsznajder (1987) a aprendizagem da ciência é um desenvolvimento progressivo do senso comum, ou seja, não se aprende ciência desconstruindo o senso comum, mas se sobrepondo a ele.

A mesma posição encontramos em Comte, no Discurso sobre o Espírito Positivo: o espírito filosófico consiste na extensão sistemática do simples bom senso. Possuem domínios idênticos, ambos se reportando aos fenômenos mais vulgares e possuindo a mesma intencionalidade. Apenas se distinguem pela abstração necessária ao espírito filosófico, contrária ao concreto em que se detém o bom senso. Não se depreende a ruptura existente entre o senso comum e o conhecimento científico.

"Vista sob o aspecto dogmático, essa conexão fundamental representa a ciência propriamente dita como simples prolongamento metódico da sabedoria universal. Desse modo, muito longe de pôr em questão o que esta verdadeiramente decidiu, as sãs especulações filosóficas devem sempre tomar emprestado da razão comum suas noções iniciais, para lhes fazer adquirir, graças à elaboração sistemática, um grau de generalidade e de consistência que não poderiam obter espontaneamente." (Comte, Discurso Sobre o Espírito Positivo, p. 63)

O ideal continuísta não é privilégio das concepções positivistas, fazendo parte de nossa tradição filosófica ocidental. O continuísmo está presente na ciência, na história, na cultura de uma maneira geral. Os antecedentes determinam os conseqüentes e a história da verdade tem sua finalidade no presente. É assim quando Comte comtiana o passado e afirma que os pressupostos de sua teoria se encontram em Bacon e Descartes.

"O conjunto de nossa evolução mental, e sobretudo o grande movimento realizado na Europa Ocidental desde Descartes e Bacon, não deixa, pois, a partir de agora, outra saída possível a não ser constituir enfim, depois de tantos preâmbulos necessários, o estado verdadeiramente normal da razão humana." (Comte, Discurso Sobre o Espírito Positivo, p. 65)

Conforme já discutimos, dentro da concepção bachelardiana desmontam-se os alicerces do positivismo e, por conseguinte, os do neo-positivismo, pois outra é a relação com a natureza, a visão de fenômeno, de objetividade, outra é a racionalidade.

Todavia, o neo-positivismo se faz presente também nas vozes críticas de nosso ensino. No atual ensino de ciências não temos sequer, por base geral, a educação racional positivista, dentro da concepção de ênfase na atividade experimental alicerçada pela teoria: formular as leis gerais invariantes a partir da observação dos fenômenos naturais e do estabelecimento de sua conexão racional. Conseqüentemente, muitas das críticas de vanguarda a esse ensino se fazem dentro de princípios positivistas não muito claros, nem sempre revelados como tais, não deixando, portanto, de ser um avanço parcial, na medida em que questionam o realismo ingênuo ou o empirismo da mera observação factual.

Em contrapartida, as concepções positivistas não dão conta da complexidade da ciência do século XX, encarcerando tanto a experiência quanto a teoria em uma razão monista, a qual não se coloca viva, questionadora e, fundamentalmente, criadora. Advém daí nossa convicção quanto a necessidade de empreendermos um trabalho de reestruturação do eixo epistemológico do ensino de ciências, incorporando a filosofia do racionalismo aplicado à pedagogia da ciências físicas.

III.4 - Ensino de Química: da Memorização ao Ensino do Método Científico

Na discussão traçada até aqui analisamos as dificuldades para consolidação do ensino da química no curso secundário, em que bases se constituiu o antagonismo entre ciências e humanidades e o papel dos positivistas nessa consolidação.

Passaremos agora a tratar, mais especificamente, do ensino da química: quais suas diretrizes, as linhas metodológicas predominantes, como se deu o debate sobre a ciência química e seu ensino nas diferentes reformas educacionais.

Como já discutimos anteriormente, a visão de ciência que vigorava no Império e no início da República, acima mesmo dos princípios positivistas, era a visão utilitarista. O saber científico existia não para formar espíritos, como se esperava que fizesse o saber humanístico, mas para garantir informações úteis ao trabalho e à aplicação técnica. Em vista disso, é fácil antever que o ensino de ciências iniciou extremamente voltado para a memorização, para o acúmulo de informações de caráter descritivo, muito pouco contribuindo para o desenvolvimento do espírito científico. O ensino das ciências possuía o mesmo sabor escolástico transmitido às humanidades. Ecoerentemente com essa vertente, não se empreendia o ensino experimental, mas a educação livresca.

Isso pode ser constatado a partir das palavras do naturalista suíço Agassiz, expressas após visitas, por volta de 1865-1866, à Escola Central, antigo nome da Escola Politécnica. Deve-se estar atento ao fato de se tratar de um curso de nível superior; no nível secundário, como já dissemos, as ciências praticamente não eram ensinadas.

"Em nenhuma parte do Brasil, vi um estabelecimento de instrução, onde os métodos aperfeiçoados sejam tão altamente apreciados, tão geralmente adotados. Os cursos de Matemáticas, de Química, de Física e de Ciências Naturais são tão extensos e seriamente feitos; mas mesmo neste estabelecimento notei a mesquinha nos meios de demonstração prática e experimental; os professores não me parecem ter suficientemente compreendido que as ciências físicas não se ensinam unicamente ou principalmente com manuais." (citado por Rheinboldt, 1953: 22)

A inexistência de maior preocupação com o ensino de ciências é patente nas propostas metodológicas da cadeira de física e química vigentes no período anterior à Reforma Campos. Nos programas do Colégio Pedro II de 1899 consta a orientação de que a física e a química se reduzam "às modestas proporções de um curso secundário realizável em limitado período de tempo". O

objetivo é apenas o de ensinar os fenômenos mais correntes e fundamentais dessas ciências. Já no programa de 1911 a proposta é de restringir as ciências a noções sucintas, estabelecer um ensino quase intuitivo, sem abordagem de teorias ou doutrinas. Já se aponta para o objetivo de que sejam enfatizadas as demonstrações e experiências, mas igualmente as classificações e as conexões entre os fatos. Ou seja, o caráter empírico sobressai, sequer os princípios positivistas são defendidos. O ensino da química é praticamente todo voltado para o estudo das substâncias, descrição de suas propriedades e formas de preparação. Os pontos práticos envolvem essencialmente caracterizações de substâncias. São as experiências para ver como é, não para pensar sobre ou mesmo para prever.

Por outro lado, nota-se incoerência ao se falar em noções sucintas e se apresentar programas enormes para o exíguo tempo.

A primeira tentativa de modificação desse quadro vem com a reforma Francisco Campos. A química passa a ser ensinada em três séries e o programa sofre alterações. Na terceira série (atual primeira série do segundo grau) faz-se iniciação ao estudo dos fenômenos químicos, tratando-se temas como solubilidade, cristalização, destilação, mistura, combinação, distinção entre corpos simples e compostos. Nas demais séries a abordagem descritiva permanece, fazendo-se o estudo dos metais, dos ametais e da química orgânica, sendo maior o número de funções orgânicas estudadas em relação aos programas anteriores. Há também uma reordenação do programa de forma mais coerente, agrupando-se assuntos antes tratados desconexamente como catálise, cinética, termoquímica e equilíbrio.

Na proposta metodológica para a química, do decreto de 1931, os objetivos do ensino dessa matéria se tornam mais consistentes. Já se coloca a concepção substancialista da química - "o conhecimento da composição e da estrutura íntima dos corpos, das propriedades que dela decorrem e das leis que regem as suas transformações". Também se apresenta o valor educativo da ciência na orientação do raciocínio lógico e dedutivo e a necessidade de se coordenar o ensino com as demais ciências naturais e com as aplicações da vida cotidiana. Há influência do escolanovismo: o ensino da ciência aliado à aplicação prática, ainda que sob aspecto meramente ilustrativo. Mas essa correlação com o cotidiano não se estabelece senão enquanto proposta metodológica; os programas em si não se articulam com a orientação, dependendo do professor e dos livros didáticos o empreendimento da mesma.

Segundo Schnetzler (1980), na análise dos livros didáticos do período, constata-se um incremento no percentual de fatos relacionados ao cotidiano de 2 para 11 %, o que parece ser indicativo de que iguais influências ocorridas sobre o texto legal atingiram alguns autores de livros escolares. Todavia, com o excesso de descrições de propriedades, é difícil o ensino não ter se pautado pela memorização, criticada por Campos na exposição de motivos da lei.

Em contrapartida, as concepções positivistas de ciência não poderiam deixar de permear o texto. Segundo a Reforma Campos os alunos deveriam estudar os fenômenos químicos de forma a se

convencerem, pela observação e experimentação, quanto a sua obediência a leis certas e definidas. Além do que, primeiro os alunos deveriam se familiarizar com os fenômenos, depois analisar as leis gerais, sendo essa a ordem escolhida para os assuntos das séries seguintes.

Quanto às experimentações, eram vistas como demonstrações, não como investigações, constando das instruções pedagógicas do curso de química a orientação para que os exercícios práticos versassem, preferencialmente, sobre preparação e estudo das propriedades dos elementos de maior interesse científico ou utilitário.

Essa ênfase nas demonstrações pode ser atestada pelos dados da pesquisa de Schnetzler (1980): na análise dos livros didáticos do período foi nulo o percentual de experiências investigativas. As experiências ilustrativas que também tinham percentual zero no período anterior a Reforma Campos, neste período apresentaram percentual igual a 34.

É significativa a atenção dispensada à físico-química na proposta metodológica: apesar de serem apenas quatro tópicos descritos de forma ampla no programa, há uma demonstração clara da importância desses conhecimentos serem integrados ao ensino. O que já não era sem tempo, visto que essa parte da química teve amplo desenvolvimento na segunda metade do século XIX, como tivemos oportunidade de mostrar em II.2.

Sem dúvida, em relação ao período anterior, algo se modificava. Referências a essas modificações podemos encontrar nas introduções de alguns livros didáticos da época, como é o caso do texto abaixo, extraído de um livro de 1936.

"Felizmente vai desaparecendo entre nós o hábito de ensinar a Química longe dos laboratórios (...) pois, impedia-se, logo de início, o principiante de observar com seus próprios olhos, - e não com os do professor -, a composição e as transformações da matéria. (...) o curso deve ter um caráter teórico-prático, de modo a fazer com que o estudante possa sem grande esforço assimilar conhecimentos que algum dia lhe poderão ser de grande utilidade na vida prática." (Lobo citado por Schnetzler, 1980: 67-68)

Havia um movimento deixando para trás a educação científica estritamente escolástica. Não obstante o ainda existente descritivismo ser gradualmente substituído por um empirismo excessivo, os sinais de avanço eram notáveis.

Quanto à Reforma Capanema, já tivemos oportunidade de analisar no tópico anterior seu retrocesso em relação à Reforma Campos, no que se refere ao ensino de ciências.

Na exposição de motivos da Lei 4244/42, Capanema salienta o princípio de que o ensino de ciências não deve formar extensos conhecimentos ou "encher os espíritos adolescentes de problemas e demonstrações, de leis e hipóteses, de nomenclaturas

e classificações", também criticando a memorização. Defende um ensino tendo por objetivo a formação do espírito científico, o qual, no seu entender, se relacionava com curiosidade, desejo de verdade, compreensão da utilidade dos conhecimentos científicos e a capacidade de aquisição dos mesmos. Em momento algum se coloca o desenvolvimento de um raciocínio próprio do espírito científico; a ciência não é associada a uma nova racionalidade, mas visceralmente ligada aos termos: curiosidade, verdade e utilidade.

De acordo com Capanema, os alunos nas aulas de ciências tinham que discutir e verificar, ver e fazer. É a ciência dos olhos que não abstrai e das mãos que não constroem.

E para formação do que então se identificava como cultura científica, não poderia faltar o "contato com a natureza e a vida", ou seja, "a influência das coisas concretas".

Como essas orientações se configuravam no programa? As chamadas grandes teorias químicas - estrutura atômica, tabela periódica, radioatividade e temas de físico-química - são o último assunto e a parte descritiva das substâncias inorgânicas se vê diminuída. Anteriormente havia o estudo dos principais metalóides e dos principais metais; agora esse estudo reduz, abrangendo tópicos mais gerais, modificando-se igualmente o enfoque, mais voltado para as aplicações industriais. É suprimido o estudo dos ametais, detalhando-se mais as funções inorgânicas.

No mais, a química orgânica passa a ter um programa mais minuciosamente exposto e ocupa a segunda série completamente. No curso clássico reduz-se de maneira geral a parte descritiva e técnica, predominando leis, teorias e enfatizando-se a parte histórica.

A primeira versão do programa era por demais extensa e detalhista, implicando numa impossibilidade de ser cumprido completamente. Portanto, em 1951, houve a simplificação dos programas das mais diferentes matérias, sendo que na química as alterações se constituíram em menor detalhamento, havendo manutenção dos mesmos tópicos.

A partir do quadro exposto, podemos concluir que o ensino de química se pautava pelo excesso de conteúdos - programas enormes para um tempo exíguo -, filosoficamente incorporado ao empirismo-descritivista. A experimentação possuía caráter indutivista e o mundo era concebido dentro do realismo imediato. Havia a natureza e seus fenômenos reais, cujas leis poderiam ser descobertas pelo trabalho empírico. A verdade existia coberta por um véu, bastando ser desvelada. Essas concepções permanecem no ensino brasileiro até a década de 50, quando se inicia o processo de influência americana, catalisado pela primazia da chegada dos soviéticos aos céus com o Sputnik.

"Até os dias do primeiro Sputnik [1957], a tradição no ensino de ciências era alimentar o estudante com enormes quantidades de informações sobre fatos 'objetivos', e leis da natureza 'comprovadas', e depois da lei ter sido memorizada, o professor executava

a demonstração. Esta servia como uma confirmação experimental da lei que, de acordo com a filosofia indutiva, tinha sido alcançada como uma generalização indutiva." (Elkana, 1970: 17)

"O tipo de ciência ensinado era aceito como o melhor meio desde 1870 e era uma aplicação da filosofia da ciência indutivista-realista: o mundo era real, e as mesmas leis absolutamente certas descreviam-no como ele era. Todos os fatos eram objetivos e pertenciam à positiva arca do tesouro da ciência." (Idem)

Conseqüentemente, o processo de rompimento com essa educação baseada na filosofia indutivista-realista passava por uma ênfase no positivismo ou, como já tratamos, no neo-positivismo.

Em artigos da década de 50, criticando o nosso ensino de ciências, constatamos exatamente essa busca por formas de ensino capazes de vencer o descritivismo e as experiências feitas meramente para o aluno ver e crer. Em certo artigo, no qual uma professora de ciências comenta seu júbilo pelas conclusões tiradas por seus alunos diante de uma experiência rudimentar de física, identifica-se claramente, na defesa do processo de redescoberta científica, a influência do positivismo. Contudo não deixando de ser, na época, uma concepção renovadora.

"Fôra capaz de observar, fôra capaz de sentir que aquele fenômeno se processara por fôrça de uma causa que o determinara. Tinha descoberto a relação científica de causa e efeito, de antecedente e conseqüente. Redescobrira, por si mesmo, um fenômeno físico que era já, de há muito, do domínio das verdades científicas. Não o definira nos justos têrmos, mas o sentira. Não o compreendia ainda, mas o observara." (Alonso, 1953: 168)

Em outro artigo da mesma época (1953), transcrevendo a conferência do educador francês Guy Lazerges, torna a surgir a defesa do método de ensino pela redescoberta, acrescentando pontos ainda atuais em nossas críticas ao ensino de ciências. Levanta o autor a importância de se ensinar a partir do conhecimento do aprendiz: nada se pode ensinar que já não esteja, de certo modo, no conhecimento daquele que aprende. Assim, deve-se partir dos conhecimentos herdados pelo aluno e referentes ao cotidiano, corrigindo-os através de experiências feitas pela própria criança em sala de aula. O aprendizado então se estabelece da experiência para a teoria, do concreto para o abstrato.

Em um terceiro artigo, já na década de 60, encontramos a seguinte avaliação do ensino de ciências:

"Há, ninguém nega, completo divórcio entre o ensino de ciência e a vida prática do estudante. O verbalismo daquele ensino, a falta de objetividade, o desinteresse do professor, são, entre outras, as causas principais da precariedade desse ensino." (Samaya citado por Lessa, 1964: 254)

O autor da citação, Gustavo Lessa, defende então o método da redescoberta, aliado ao método dedutivo, como sendo próprios para o ensino de ciências, acrescentando que "seria o ideal, se houvesse tempo para fazer cada aluno percorrer as rotas que os sábios já trilharam, antes de obterem o resultado desejado." (p. 256)

Os novos caminhos da ciência obrigavam o ensino, mesmo em defasagem, a acompanhá-los. Ademais, com o fim da segunda guerra, inicia-se a guerra fria e a busca da união ocidental contra o comunismo. Como já citamos, a valorização da ciência é baseada no falso caráter neutro, capaz de unir os povos. Com a subida do Sputnik, acarretando a crença do povo americano numa possível supremacia dos soviéticos gerada por diferentes métodos de ensino, aceleram-se processos renovadores da educação científica.

"As necessidades do momento mostravam que os novos cientistas em potencial tinham de ser muito mais flexíveis com respeito às teorias, eles tinham de eliminar os últimos restos de linguagem e arcabouço conceitual newtonianos, numa época muito anterior à esperada, e tinham de ser melhores em matemática. Resumidamente, eles tiveram que aprender a fazer mágicas com teorias, brincar fórmulas matemáticas, e aceitar a 'realidade' do mundo menos seriamente do que é implicado pela física newtoniana: tinham de ser ensinados de acordo com uma então nova filosofia da ciência. (...) Os projetos pioneiros nesta direção foram a nova física para a escola secundária, o PSSC, o 'New Math' e então os programas de biologia e química: o BSCS, e o Chem Studies." (Elkana, 1970: 21)

Passamos a conhecer a linguagem da ciência e seu método: ensinar ciências é ensinar o método científico, propagando-se o monismo metodológico tão cristalizado em nossa cultura.

Uma característica importante desses projetos americanos era o fato dos livros didáticos associados a eles serem escritos

não por professores de segundo grau, mas por cientistas, embasados fundamentalmente em seu trabalho de laboratório. E o objetivo do trabalho passou a ser tornar o aluno participante ativo do processo de redescoberta no laboratório.

No Brasil não tardaram a surgir movimentos visando a incorporação ao ensino dos modernos conceitos de ciência. O processo de inovação educacional iniciou-se no pós-guerra, com a criação em 1946 do Instituto Brasileiro de Educação, Ciência e Cultura (IBECC). O papel desse instituto, no dizer de Lorenz e Barra (1986), era o de contribuir para o desenvolvimento nacional, a partir da melhoria da formação científica dos alunos que ingressavam nas universidades e segundo Krasilchik (1989) objetivava atualizar os conteúdos das escolas secundárias e tornar o ensino experimental. A atuação do IBECC envolveu produção de material didático - livros, materiais para aulas práticas - , treinamento de professores e atividades correlatas. Para tanto se utilizou de verbas do Ministério da Educação e de entidades estrangeiras, sobretudo americanas.

Em 1961, o "Chemical Bond Approach Committee - CBA" edita o Chemistry e professores brasileiros são treinados nos Estados Unidos, via IBECC, para implantação do material no Brasil. Em 1963 é editado o "Chemical, an Experimental Study - CHEM Study". As primeiras edições desses livros em português surgem em 1964 e 1966, respectivamente, quando já estava em vigência a LDB 4024/61, a qual preconizava o sistema descentralizado de ensino, permitindo com isso maior penetração desses projetos que de forma alguma se adaptavam ao rígido esquema da Reforma Capanema.

A despeito disso, Saad (1981) e Schnetzler (1980) concordam em não ter havido adoção sistemática dos novos projetos. Entre os motivos que dificultaram sua utilização estavam as condições da escola brasileira: professores mal-formados e turmas muito grandes. Poucas também não foram as críticas aos materiais didáticos.

"(...) as implicações sociais da ciência jamais foram abordadas e os cursos pautaram-se estritamente na vivência do 'método científico'. Vencido o ímpeto inicial, quando a redução dos recursos impediu a substituição do material distribuído às escolas, voltaram os cursos de Ciências a ser ministrados na forma tradicional. Supostamente preparados para desenvolver a imaginação criadora dos alunos, os professores não a tiveram desenvolvida em si mesmos em dose suficiente para atingirem os objetivos do programa inovador com recursos próprios da escola e dos alunos." (Saad, 1981: 68)

"Essa visão modernizadora desconhece a existência de interesses de classe social, o que não é de estranhar pois desconhece a própria existência de classe na sociedade e a

divisão internacional do trabalho e de capital (quando afirma que o problema é basicamente o mesmo nas mais diversas regiões do mundo). Mas essa visão é importante para nós por mostrar que a classe dirigente não tem dúvida sobre o que deve ser ensinado a seus filhos, tanto no Brasil como em qualquer outro país. Aí, sim, os interesses coincidem." (Lutfi, 1988: 15)

Todavia não se pode negar a influência exercida por esses projetos de ensino no pensamento pedagógico dos professores brasileiros. Ainda que não fossem adotados nas salas de aula, os livros do CBA e do CHEM Study forneceram subsídios para o preparo de aulas e certamente serviram para mostrar aos mestres que algo de diferente poderia ser feito.

Outro aspecto, também focado por Lutfi (1988), é o de que o ensino de química passou a se basear na estrutura atômica e no modelo orbital. Com todos os benefícios e males provenientes desse eixo de explicação. Deixamos a descrição do concreto e partimos para a descrição do abstrato, sem que esse abstrato fizesse sentido para o aluno. Certamente as construções científicas do início do século, envolvendo especialmente a ligação química, eram aquisições importantes a serem introduzidas no ensino, mas a forma como ocorreram só tornaram a química mais complexa e desinteressante. A substituição da química que descreve as substâncias pela química que descreve os elétrons não melhorou o quadro do nosso ensino, na medida em que nos livros didáticos em geral apenas o lado operacional da mecânica quântica e da ligação química foi valorizado. Como afirma Mortimer (1988), antes memorizávamos fatos, hoje memorizamos conceitos.

Assim, nas atuais análises dos problemas do ensino de química continuamos encontrando diagnósticos semelhantes aos de outras épocas (Hartwig, 1981). A química é considerada disciplina complicada e difícil, os alunos decoram sem entender, não relacionam os fenômenos teóricos com os do cotidiano e há generalizada falta de aulas práticas, sem contar os problemas estruturais da educação brasileira como um todo.

No entanto, a questão que aqui se coloca é referida aos projetos como os do CBA e do Chem Study, os quais têm por meta o ensino de ciências pelo processo de aprendizagem do método científico e pela redescoberta. Isso porque, dado o caos estabelecido no ensino, tais propostas ainda se apresentam como renovadoras. O mesmo se dá no caso do trabalho de Gewandsztnadler (1980), já citado anteriormente. Poderíamos dizer que precisamos apenas de condições adequadas para aplicar esses métodos devidamente? Estariam as falhas dessas propostas relacionadas apenas com sua inadaptação à realidade do professor brasileiro, como aponta Saad (1981) ou ainda com a questão de classe como nos coloca Lutfi (1988)? Sem dúvida os três pontos se completam, mas não esgotam o problema. Precisamos igualmente nos deter na análise do eixo epistemológico da questão.

Os projetos do CBA e do CHEM Study advogavam uma concepção empírico-positivista para a ciência, e visavam desenvolver essa concepção no ensino. A ciência era concebida com

base na observação, da qual se depreendiam as regularidades a serem explicadas por raciocínios lógicos comprovados pela experimentação. A experimentação garante também a descoberta de novos fatos, de forma que o ciclo se fecha: volta-se à observação, depois ao raciocínio, depois à experimentação.

Já que a ciência é compreendida como extensão do senso comum (3), o trabalho do aluno será visto como trabalho de cientista.

"O laboratório visa fazer do estudante um verdadeiro investigador, descobrindo informações, planejando experiências para a solução de um problema e, mesmo às vezes, ampliando suas investigações além da fronteira da química atual." (Theodor Benfey, prefácio do CBA, 1964-1967: 5)

"Este não é um curso em que o estudante ouve o professor falar de Ciência; é antes um curso em que ele participa na Ciência. Realiza ativamente um trabalho de cientista. Descobrirá o que é a Ciência sobretudo como resultado das suas próprias experiências." (CHEM Study, Pimentel, 1981: 17)

Gil Perez (1986) apresenta uma crítica contundente a esses modelos de aprendizagem baseados em concepções empírico-positivistas e hipotético-dedutivistas - o descobrir por si mesmo -, salientando o grau de defasagem dessa metodologia em relação à epistemologia mais moderna. Citando Hodson, ele afirma:

"De fato, a visão do método científico que tais cursos propagam continua sendo demasiado simplista, levando a pensar que as teorias são simples conjecturas do tipo que os alunos podem fazer depois de breves períodos de trabalho de laboratório, e que podem ser facilmente confrontadas por meio de observações diretas, sendo aceitas ou refutadas com base em experimentos isolados." (p. 5)

Ou seja, é preciso não se confundir o processo de fazer ciência com o processo de ensinar ciência. Para haver aprendizado não é preciso que se refaça a ciência, nem tampouco tal tarefa seria possível, mas torna-se indispensável compreender como a ciência é feita. Transmitir a imagem de que cada aluno numa aula de ciências é um cientista-mirim, apenas se constitui falso ensinamento.

A metodologia da ciência, por outro lado, não existe

independente do conteúdo pesquisado, mas se constitui a partir dele, não fazendo sentido o ensino do método como o de uma receita para a boa atividade científica. Apenas contribuimos para a constituição, no pensamento de alunos e professores, de falsas idéias a respeito da atividade científica, cristalizando a imagem de uma rigidez pouco criativa na ciência: região das verdades incontestáveis.

Concordamos quanto à idéia de que precisamos resgatar conhecimentos associados ao cotidiano. Contudo, não cabe manter no aluno a ilusão de que é dessa forma que a ciência se faz, a partir de observações cotidianas e de inferências sobre o natural. Associação dos conhecimentos científicos com os conhecimentos cotidianos do aluno deve ser compreendida como técnica pedagógica, não como arremedo manco do fazer ciência. Veremos com Bachelard, no próximo capítulo, que permanecer no concreto, no empírico, não nos leva à aprendizagem da ciência, daí não podermos esgotar o problema do ensino da química na defesa do caráter experimental dessa ciência. A química não deve ser ensinada como uma abstração desvinculada da experiência, nem tampouco ser tratada como a ciência de bancada de laboratório, onde se faz um pouco o trabalho do mágico e do cozinheiro. Constantemente precisamos dialetizar o concreto e o abstrato, a experiência e a razão, rompendo com os obstáculos de uma química sentida - pelo tato, olfato e olhar - e ingressando na química pensada.

- NOTAS

(1) O maior número de professores licenciados não implica no suprimento total de cargos. Ainda existe grande carência de professores de química no município do Rio de Janeiro (apenas igualada pela carência de professores de física), principalmente na rede estadual. Há casos, inclusive, de professores de biologia lecionarem química, mas, invariavelmente, as turmas permanecem sem aulas.

(2) O termo neo-positivismo não foi utilizado aqui na acepção que mais comumente lhe é conferida: sinônimo de empirismo-lógico ou positivismo-lógico. Utilizamos para localização das mais diferentes correntes filosóficas que se norteiam pelo positivismo de Comte, ainda que não o sigam completamente. Nesse grupo estão incluídos também os defensores dos pressupostos de Popper.

(3) Ver discussão sobre ruptura conhecimento comum-conhecimento científico em II.1.

IV - BACHELARD E O ENSINO

"Ter acesso à ciência é rejuvenescer espiritualmente, é aceitar uma mutação brusca que há de contradizer um passado."

Bachelard, Le Formation de L'Esprit
Scientifique

Ainda que não tenha se dedicado a escrever nenhum livro tratando especificamente da educação, Bachelard em toda sua obra apontou, de forma assistemática, para a questão do ensino. Sua preocupação pedagógica diante dos problemas científicos em vários momentos se faz presente, fruto inclusive da sua própria vivência docente, se revelando explícita quando afirma se considerar mais professor que filósofo (RA). E encontramos na categoria de obstáculo epistemológico a presença mais marcante da pedagogia dentro da filosofia da ciência de Bachelard.

Para Bachelard (RA), na aplicação de um espírito a outro é que se tem descortinado o processo de ensino-aprendizagem, estando no ato de ensinar a melhor maneira de aprender, de avaliar a solidez das nossas idéias. Assim sendo, o trabalho educativo consiste essencialmente em uma relação dialógica, onde não se dá apenas um intercâmbio de idéias, mas sua construção. Não existem respostas prontas para perguntas previsíveis, mas a constante aplicação do pensamento para a elaboração de um intertexto.

Conseqüentemente, a aprendizagem não possui o caráter a ela atribuído nos bancos escolares - perfeita imagem dos que se sentam para passivamente ver e ouvir. Não se aprende pelo acúmulo de informações; as informações só se transformam em conhecimento na medida em que modificam o espírito do aprendiz.

Segundo o epistemólogo francês, para se aprender, e aqui mais especificamente tratamos do aprendizado de ciências físicas, é preciso haver uma mudança de cultura e de racionalidade, mudança essa que por sua vez é consequência inerente ao aprendizado científico. Não é possível se adquirir uma nova cultura por incorporação da mesma aos traços da remanescente.

Como já tratamos em II, a racionalidade científica não possui uma continuidade com a racionalidade do senso comum, logo seria falso tentar estabelecer essa continuidade no nível do ensino. Há uma ruptura impedindo o infinito encadeamento de idéias como elos de uma corrente produzidos à semelhança dos anteriores, visando o encaixe perfeito. O novo conhecimento não é consequência direta do conhecimento anterior, mas, ao contrário, rompe com seus princípios, exige uma nova razão.

Portanto, como afirma Bachelard (FES), a aprendizagem deve se dar contra um conhecimento anterior, a partir da desconstrução desse conhecimento. O aluno só irá aprender se lhe forem dadas razões que o obriguem a mudar sua razão, havendo então a substituição de um saber fechado e estático por um conhecimento aberto e dinâmico.

O aprendiz não deve ser considerado como "tábula rasa". Possui ele conhecimentos empíricos já constituídos a partir do senso comum e esses conhecimentos obstaculizam o conhecimento científico. A mudança de cultura é que, dialeticamente, determina e é determinada pela destruição dos obstáculos epistemológicos advindos do cotidiano, promovendo assim a aprendizagem. No dia-a-dia convivemos com os mais diferentes objetos percebidos por nossos sentidos. Nossa noção de realidade macroscópica envolve a forma e o lugar absolutos desses corpos. Por outro lado, caso transportemos essas mesmas noções para o mundo microscópico elas passarão a ser o que Bachelard (AR) denomina noções-obstáculos: carregarão de imagens objetos de experiências técnicas como os

elétrons. De acordo com o que vimos em II, não podemos considerar os corpúsculos do mundo microfísico como corpos pequenos: tratam-se de coisas não-coisas para as quais não se concebe forma ou lugar, nos moldes dos objetos ao alcance de nossas mãos e de nosso olhar.

Outra grande ilusão, aliada ao continuísmo dos conhecimento comum e científico, é a crença de se conhecer a partir do nada. Ao negarmos a existência de conceitos prévios sobre os mais diferentes assuntos, não cuidaremos para que os preconceitos e os erros das primeiras concepções sejam debelados, entravamos novos conhecimentos e cristalizamos falsos conceitos.

Parafraseando Bachelard (FES) ao fazer referência ao racionalismo, podemos dizer que a aprendizagem nunca começa, sempre continua, sempre destrói um conhecimento para construir outro.

E se ensinar é a melhor maneira de aprender, só aprende quem ensina. "Saber é ser capaz de ensinar", afirma Bachelard (ER), citando Brunshvick. Dessa forma se constata o empreendimento da operação dialógica: para o aprendiz se capacitar a ensinar é preciso a reconstrução do conceito a ser transmitido. Isso só será possível com a organização coerente do pensamento. Não há ensino onde não houve aprendizagem, não existe a passagem do conceito por mera repetição do dito, como informações percorrendo uma correia de transmissão.

Dai Bachelard (FES) defender a transformação do aluno em professor. Na atividade de receber e transmitir o conhecimento, o pensamento se vitaliza, há a formação de espíritos dinâmicos e auto-críticos. Não mais se adquire um conceito por mera constatação, típica do empirismo, mas ele é obtido por racionalização.

"Cremos, em efeito, que corre sempre um jogo de nuances filosóficas sobre um ensino vivo: um ensino recebido é psicologicamente um empirismo; um ensino ministrado é psicologicamente um racionalismo. Eu vos escuto: sou todo ouvidos. Eu vos falo: sou todo espírito." (Bachelard, FES, 1947: 245-246, tradução própria)

E como será a função específica do professor? Verificamos que ele pode assumir o mais importante dos papéis, se trabalhar de encontro à mobilização permanente da cultura, ou vir a ser um dos maiores obstáculos à aprendizagem, caso se prenda ao dogmatismo. Infelizmente, temos que concordar com Bachelard (FES), ser postura freqüente dos professores na escola secundária a de distribuir conhecimentos efêmeros e desordenados, marcados pelo signo da autoridade.

Na infância existe a onisciência dos pais, abusando de seu poder sobre as crianças, diz Bachelard (RA), cometendo absurdos psicológicos como se fossem princípios de conduta. Na escola há a onisciência dos professores, instaurando um

dogmatismo aniquilador da cultura, na medida em que a impõe, a quer simplesmente absorvida como dado absoluto.

O autor do "Novo Espírito Científico" defende a necessidade de severidade para a educação da criança e do adolescente, garantia da vigilância intelectual da cultura, mas salienta as diferenças entre uma severidade ditatorial e uma severidade justa.

"No fundo, no reino da cultura, a severidade justa só se justifica de três maneiras: pelas experiências objetivas, pelos encadeamentos racionais, pelas realizações estéticas."
(Bachelard, RA, 1975: 76, tradução própria)

Cabe ao professor, neste sentido, trabalhar nos três níveis, a fim de promover a aprendizagem sem a imposição do saber. Só assim ele encontrará razões capazes de fazer a razão do aluno evoluir. Só assim ela não se transformará no que Bachelard (LAU) denomina "a psicose do professor".

Em direção oposta a esse trabalho racional, vemos no ensino o domínio docente da mente do aluno. O professor vigia o saber discente, nunca se preocupando em tornar justa essa vigilância; tentando impor uma razão, o professor educa seus alunos na desrazão. Ou simplesmente obtém a revolta dos que se negam à imposição.

No ensino da razão estreita, cujas regras carecem de lógica para o estudante, a ciência assume ares de religião, onde a própria fé é uma ordem a ser cumprida. Diante desse quadro, o não-aprendizado, a negação do imposto, denota lucidez, invariavelmente incompreendida. Quantos dos problemas psicológicos localizados em nossos alunos nada mais são que a revolta do pensamento contra a autoridade da razão monista...

"O mestre, no seu orgulho de ensinar, arvora-se cada dia como o pai intelectual do adolescente. A obediência que no reino da cultura deveria ser uma pura consciência do verdadeiro, assume, em virtude do paternalismo usurpado dos mestres, um sabor insuportável de irracionalidade. É irracional obedecer a uma lei antes de estarmos convencidos da racionalidade dessa lei." (Bachelard, LAU, 1989: 57-58)

Um caminho para o mestre se distanciar dessa postura dogmática é o de procurar, também ele, ser aluno. Ser aprendiz entre seus pares. Afinal, a cultura científica exige o papel de estudante de todos os seus participantes. Os verdadeiros cientistas são aqueles que se colocam como estudantes, freqüentando a escola uns dos outros, no inesgotável processo de ensinar e aprender.

No processo de construção científica racional a razão polêmica está em constante retificação. Ser racionalista provoca a necessidade dessa qualidade de turbulência da razão no permanente desiludir-se. Portanto, a escola (1), o ato de pertencer à escola, é para Bachelard (RA), o mais elevado modelo de vida social. E esse mesmo papel da escola científica deveria ser transposto para a escola secundária: tornar a ciência educativa é tornar seu ensino socialmente ativo (Bachelard, FES). Então, para colocar a escola secundária como participante da cidade científica, há a necessidade, antes de mais nada, de fazê-la assumir o papel de escola socialmente ativa, todos se fazendo a um só tempo estudantes e professores, sempre reelaborando o conhecimento, nunca perdendo a consciência de estarem envolvidos em um saber aberto, operários racionalistas da difícil tarefa de instrução científica.

"Não tenho medo em declarar como uma característica fundamental: o racionalista está na escola, quer estar na escola, está sempre na escola ! Quando há professores que já não estão mais na escola, então não trabalham mais, então deixaram precisamente a atividade do centro científico; são ilustrações dele, não são, necessariamente, operários." (Bachelard, In: Bulletin de la Société Française de Philosophie, citado por Dagognet, 1986: 28-29)

A função do mestre consiste, portanto, em comunicar, sem imposições dogmáticas, a dinâmica do racionalismo. Ou seja, para Bachelard (RA), o professor é aquele que faz compreender ou, no estágio mais avançado, faz compreender melhor.

Em vista disso, Bachelard (FES) aponta como sendo um obstáculo pedagógico o fato do professor, principalmente o de ciências, não compreender porque o aluno não compreende. Trata-se de uma consequência do desconhecimento ou desinteresse docente pelo conhecimento anterior do educando, dos entraves existentes neste conhecimento. Ademais, o aluno tende a não compreender o ensino feito apenas através dos resultados da ciência.

Um ensino racionalista exige a discussão em cima dos problemas que suscitaram o surgimento de novas teorias. O ensino da teoria ácido-base de Arrhenius como sendo a que define ácido como capaz de liberar H^+ e base como capaz de liberar OH^- , menosprezando toda teoria da dissociação eletrolítica do químico sueco (2), é apenas um, entre muitos exemplos, de resultados científicos banalizados. A discussão do problema da dissociação envolveria maior número de conceitos, mas permitiria o aprendizado mais eficiente, não apenas das noções de ácido e base, mas também das noções de íon e ionização.

"Sem dúvida, seria mais simples não ensinar

senão o resultado. Mais o ensino dos resultados da ciência não é jamais um ensino científico. Se não se explicita a linha de produção espiritual que conduziu ao resultado, pode-se estar certo de que o aluno combinará o resultado com suas imagens mais familiares. É necessário "que ele compreenda". Não se pode reter sem compreender. O aluno compreende a sua maneira. Pois que não lhe foram dadas razões, ele acrescenta ao resultado razões pessoais." (Bachelard, FES, 1947: 234, tradução própria).

Em suma, o aluno torna o conhecimento familiar, revestindo-o das imagens presentes em seu próprio mundo, as quais garantem acomodação do conhecimento à razão. Essa espécie de "ensino", sem dúvida, não oferece dificuldades, uma vez que não existem questionamentos, inexistente a crítica da cultura. As ilusões e os erros dos alunos permanecem; os novos conceitos apenas se imiscuem nos erros anteriores e ali ficam, conferindo a falsa impressão de aprendizagem.

Muitas vezes esse aprendizado do irracional garante ao aluno a operacionalização de certos conceitos, fazendo, por sinal, a alegria dos mestres. Exercícios nos quais é exigida a mera repetição de palavras serão resolvidos sem que uma real compreensão esteja em jogo. O conhecimento passa do professor ao exercício, sendo o aluno utilizado como mediador: nenhum salto de qualidade se dá no espírito do aprendiz.

Em vista disso, podemos concluir com Bachelard (FES) que todo ensino precisa ser iniciado com uma catarse intelectual e afetiva capaz de psicanalisar o conhecimento objetivo. O processo de ingressar o aluno no racionalismo aplicado exige a superação dos obstáculos epistemológicos advindos do conhecimento comum.

Não obstante, não se trata de abandonar o conhecimento comum; é preciso que seja feito seu resgate para proceder a sua desestruturação. Colocá-lo em crise ao confrontá-lo com o conhecimento científico. Para tanto, é preciso que o aluno adquira a consciência da retificação constante da ciência, do eterno recomeço da razão, da razão que se faz toda nova a cada desilusão.

Advém daí a importância da historicização do ensino de ciências. Com o intuito de se fazer o ensino dos problemas científicos, e não dos resultados científicos, nada melhor do que a apresentação da história do progresso do conhecimento, nada se assemelhando aos meros preâmbulos históricos dos livros didáticos (3). Esses resumos da história da ciência adquirem apenas o caráter ilustrativo pois, como bem afirma Bachelard (MR), transformam grandes questões científicas, com múltiplos problemas filosóficos, em mero conjunto de experiências de um empirismo simplista. Descartam por completo a fina tessitura epistemológica das teorias científicas, perdendo, portanto, todo o caráter educativo.

A história da ciência deve estar presente no ensino,

fortalecendo o pensamento científico pela colocação das lutas entre idéias e fatos que constituíram o progresso do conhecimento.

Em contrapartida, devemos evitar o erro no qual incorrem os próprios cientistas que, como se refere Bachelard (RA), apresentam a ciência para leigos como sendo prolongamento do conhecimento comum: fazem-no com a pretensão de tornar a ciência mais simples e acessível. Tal comportamento, com características ainda mais danosas, é repetido pelos professores no ensino. O novo conhecimento é sempre apresentado como consequência do antigo, já existia no antigo a preparação do novo, o presente é sempre sequência direta do passado, possui suas justificativas no passado. O objetivo é sempre o mesmo: deixar a razão repousar. Sem respirar.

"[Aos continuístas da cultura] repugna constranger o 'senso comum'. E nos métodos de ensino elementar, retrocedem, sem motivo, às horas de iniciações viris, desejam conservar a tradição da ciência elementar, da ciência fácil; considera-se um dever fazer o estudante participar da imobilidade do conhecimento primeiro." (Bachelard, MR, 1972: 212-213, tradução própria)

Outrossim, na medida em que historicizamos o conhecimento, compreendemos que muitos erros pedagógicos são consequências de erros históricos. Bachelard (ER) inclusive considera a história das ciências como uma imensa escola, na qual existem os bons alunos e os alunos medíocres, enfatizando a importância de se trabalhar com a história de ambos: a transmissão de verdades e a transmissão de erros. O conhecimento das verdades nos faz entender as progressivas construções racionais. O conhecimento dos erros nos permite entender o que obstrói o conhecimento científico. É a partir daí que constatamos como muitos desses entraves estão presentes no processo de aprendizagem. A dificuldade do aluno, muitas vezes, não é individual, fazendo parte de uma recorrência histórica.

Um exemplo disso é a dificuldade no aprendizado dos conceitos de temperatura e calor. O aluno possui a idéia prévia de que temperatura é uma medida da quantidade de calor, logo quanto mais quente um objeto, maior o calor "contido" no mesmo. Ao nos reportarmos à história da física, encontramos estas mesmas idéias nos trabalhos anteriores aos de Black e Joule (4). Se essa discussão histórica for feita junto aos alunos, mais coerente se apresenta a ruptura entre as concepções anteriores e as concepções vigentes.

Do mesmo modo, para o entendimento de uma teoria científica mais recente é importante a compreensão da teoria negada, identificando com isso, as retificações efetuadas.

"(...) o aluno compreenderá melhor o valor da

noção galileana de velocidade se o professor soube expor o papel aristotélico da velocidade no movimento. Prova-se assim o **incremento psicológico** realizado por Galileu. Acontece exatamente o mesmo quanto à retificação dos conceitos realizada pela Relatividade." (Bachelard, NEC, 1983: 56, tradução própria)

A história da ciência assume, então, papel preponderante no trabalho pedagógico de construção racional, combatendo um ensino centrado no que Bachelard (RA) denomina empirismo da memória: retemos os fatos, mas esquecemos (porque não aprendemos) as razões. Pretender ensinar pelo ato de mostrar como as coisas são, colocando os alunos diante de dados, e não de raciocínios, implica, necessariamente, nesta memorização compulsória e, a bem dizer, inútil. Fatos isolados não compõem um saber.

Seguramente, como afirma Bachelard (RA), há grande desproporção entre a dificuldade do trabalho racional e a facilidade do empirismo da constatação. Uma facilidade não apenas para a atividade docente, mas também para o aluno.

Mas Bachelard apresentará no campo pedagógico a mesma repulsa pelos caminhos fáceis, as construções ligeiras. A educação do racionalismo aplicado exige elaboração, trabalho árduo no rompimento com os hábitos do conhecimento. Não pode ser a aprendizagem do imutável; do ato de repetir, não de criar; do ato de lembrar, não de pensar. Nela o mestre possuirá o papel de negador das aparências, freio das convicções rápidas, imersas em imagens desfiguradoras.

E como a ciência química sofre desse esfacelamento no ensino... Como fazem dela a ciência da memória, do empírico, distante do caráter materialista racional e matemático por ela adquirido há mais de um século, massa disforme de informações destituídas de lógica, profundamente dogmáticas. Ao invés de grandiosamente ensinar a pensar, e a pensar cada vez melhor, é transmitida como um conjunto de normas e classificações sem sentido (5).

Afinal, muito mais tranqüilo é manter o espírito aquietado diante de um conhecimento pronto e acabado, do que fazê-lo questionador diante de uma ordem sempre nova. Não é por nada que Bachelard (ER) se refere à época da escola secundária como a época dos aborrecimentos escolares. E igualmente evoca a escola ao tratar da razão como tradição, na defesa da razão aberta.

"Confunde-se sempre a ação decisiva da razão com o recurso monótono às certezas da memória. O que se sabe bem, o que se tem experimentado muitas vezes, o que se repete fielmente, facilmente, calorosamente, dá impressão de coerência objetiva e racional. O racionalismo assume então sabor escolar. É elementar e penoso, alegre como uma porta de prisão,

acolhedor como uma tradição. Vivendo no 'subsolo' como em uma prisão espiritual, Dostoievsky pôde escrever, desconhecendo o verdadeiro sentido da razão vivente: 'A razão conhece só o que há logrado aprender'. E contudo, para pensar, em primeiro lugar há tantas coisa que desaprender." (Bachelard, CR, 1985: 9, tradução própria)

Esse apego aos caminhos insípidos da memória coexiste, lado a lado, com o envolvimento no concreto: a abstração racional é constantemente afastada. Bloqueiam-se os vãos da mente, atando-a ao chão, à primeira observação, aquilo que é percebido pelos sentidos, distante do que se pensa. É a ciência apresentada aos olhos e às mãos, mas não à mente: a experiência é encarada como verificação, ilustração, tal qual a experiência comum.

"É ainda essa ciência para filósofos que ensinamos para as crianças. É a ciência experimental das instruções ministeriais: pesem, meçam, contem; desconfiem do abstrato, da regra; liguem os espíritos jovens ao concreto, ao fato. Ver para compreender, este é o jogo ideal desta estranha pedagogia. Pouco importa se o pensamento segue do fenômeno mal visto em direção à experiência mal feita (...)" (Bachelard, ET, 1970: 12, tradução própria)

A essa temática referente à experimentação é reservado um considerável espaço na obra epistemológica de Bachelard. Principalmente quando está em discussão a química, ciência desde muito encarada como essencialmente experimental (6).

Na química, mais que na física, existe a tendência em se amenizar o esforço intelectual do racionalismo, fazendo sobressair o lado pitoresco e espetacular do ensino experimental. Quantos alunos de um curso experimental de química não se recordam de seu deslumbramento frente a um jardim de sílica (7), um chafariz de amônia (8) ou um simples precipitado de iodeto de chumbo amarelo ouro? Mas quantos desses que desejaram ter esses "brinquedos" em casa, assimilaram algum conceito através do encantamento diante desses experimentos?

A mente permaneceu no concreto diante do espetáculo, não abstraiu nem analisou. Não aprendeu ciência, apenas se admirou com o pictórico e belo.

Por conseguinte, Bachelard (FES) condenará as experiências demasiado vivas, capazes apenas de contribuir para um falso interesse pela ciência. Não será com a razão que o aluno a elas se dirigirá, mas com seus sonhos, suas imagens íntimas, estabelecendo relação anímica com o objeto.

"Ao espetáculo dos fenômenos mais interessantes, mais admiráveis, o homem vai naturalmente com todos os desejos, com todas as paixões, com toda a alma. Não devemos, pois, nos surpreender que o primeiro conhecimento objetivo seja um primeiro erro." (Bachelard, FES, 1947: 54, tradução própria)

O observador deve se afastar do objeto para estudá-lo, constantemente extraíndo o abstrato do concreto. Sua relação com o objeto deve ser racional: aplicar-lhe sua razão, evitando a relação empírica do simples acúmulo de dados metaforizados.

Bachelard (FES) defenderá, então, a ação do professor no sentido de proteger o estudante do simbolismo afetivo que cerca certos fenômenos. Promovendo uma passagem rápida da bancada de laboratório ao quadro-negro, extraíndo da experiência as conclusões racionais, efetua-se a catarse das emoções interpostas entre o experimento e a razão.

"Enfim, parece-me que o primeiro princípio da educação científica, no reino intelectual, aquele ascetismo que é o pensamento abstrato. Sozinho, ele pode nos conduzir a dominar o conhecimento experimental." (Bachelard, FES, 1947: 237, tradução própria)

A referência a esse ascetismo faz-nos, à primeira vista, pensar que Bachelard é demasiado sério, vendo a ciência de forma carente de brilho e, por isso mesmo, causadora de um tédio desinteressante ao aluno. Pensar assim seria duplamente trair Bachelard: por nos determos na primeira impressão e por negarmos sua noção de turbulência da razão.

O pensamento racional só se faz tedioso se perde o caráter de revolução permanente, surracional. Não sendo esse o caso, há sempre o jogo da multiplicidade de razões rompendo com o conformismo, o conservadorismo dos conhecimentos justapostos. Um jogo onde é a própria razão que se põe em risco, na constante necessidade de reformar a experiência primeira. Trabalhando sem a linearidade do continuísmo, quando os antecedentes já contêm em si a certeza do ponto de chegada, o trabalho científico se torna uma aventura onde nosso espírito se modifica a cada mudança de racionalidade e método.

"Uma mobilidade essencial, uma efervescência psíquica, uma alegria espiritual resultarão associadas à atividade da razão." (Bachelard, ER, 1985: 10, tradução própria)

Os mestres de ciências, eles mesmos educados dentro do imobilismo, parecem empreender todo um trabalho de controle da

razão, temerosos dessa efervescência psíquica. Domesticam-na, sufocam-na, em nome da tradição e oferecem em troca um saber de alegria e interesse medianos. Utilizam metáforas realistas e animistas, caras ao espírito estudantil, visando com isso facilitar o aprendizado, ou melhor, a operacionalização de conceitos. Dizer que o átomo de carbono é uma pequena pirâmide, conferindo a noção de sólido palpável a um conceito abstrato, ou afirmar que o carbono tem quatro braços (9) é, como afirma Bachelard (MR), dar satisfações por preço muito baixo. A ciência não é simples e não podemos simplificá-la a qualquer custo sem com isso negá-la.

"Sem dúvida, para todo conhecimento, as primeiras lições exigem proezas pedagógicas. Têm, pois, o direito de serem incompletas e esquemáticas. Não devem, contudo, ser falsas."
(Bachelard, MR, 1972: 30, tradução própria)

Sendo pueris e banais, os mestres tentam viver a ilusão de que ensinam e os alunos buscam colaborar fingindo aprender. Entretanto, sequer a satisfação mútua, ainda que fictícia, existe. Se assim o fosse, não seriam as ciências físicas, e em especial a química, das matérias mais condenadas no ensino secundário.

Acima de tudo, o aprendizado só pode ocorrer se a inteligência do aluno for respeitada. E para haver esse respeito ao aluno é preciso ser aluno com ele, participar das dificuldades psicológicas pelas quais ele passa no seu processo de mudança de cultura. Estabelecer com o aluno a vigilância mútua do saber: aluno-mestre e mestre-aluno. Não tentar enganá-lo com a "ciência fácil", referendo dos padrões do senso-comum existentes em sua bagagem. A satisfação diante de um conhecimento familiar, facilmente acomodável, não se iguala à produzida pelo impacto do rompimento com os primeiros erros.

Nesse processo, Bachelard (AR) reserva ao livro espaço fundamental. A ciência é essencialmente a produção social da cidade científica, portanto o livro, na medida em que veicula a ciência para os cientistas, possui papel determinante na construção do conhecimento científico, na manutenção dos cientistas na escola.

"As forças culturais visam à coerência e à organização dos livros. O pensamento científico é um livro ativo, um livro ao mesmo tempo audacioso e prudente, um livro em ensaio, um livro do qual se desejaria apresentar uma nova edição, uma edição melhorada, refundida, reorganizada. É verdadeiramente o ser de um pensamento em vias de crescimento. Se esquecermos esse caráter de sucessiva solidez da cultura científica moderna, estamos a avaliar mal sua ação

psicológica. O filósofo fala de fenômenos e númenos. Por que não há de conceder atenção ao ser do livro, ao bibliômeno?" (Bachelard, AR, 1965: 6, tradução própria)

O pensamento científico está posto no livro de forma socializada, o autor expressa verdades consensuais. Possuidor de caráter orgânico, o livro estabelece suas próprias perguntas, não podendo ser lido sem que se obedeça a ordem dos capítulos, sem que se acompanhe a ordem de pensamento do autor. Ele não fala ao senso comum.

O livro do período pré-científico era essencialmente de divulgação, falava da natureza, da vida cotidiana, autor e leitor pensavam juntos e de igual maneira. Hoje, não há mais os antigos receituários, meramente descritivos; afastamo-nos da natureza e ingressamos no racionalismo aplicado, sendo esse ingresso acompanhado pela literatura científica. Como afirma Bachelard (AR), existir através dos livros já é uma existência solidamente humana, fruto da técnica racionalizada.

Mas ao contrário desse quadro que favorece a construção racional, o nosso livro escolar de cada dia apresenta um panorama bem diverso: reforça todos os males do dogmatismo e do irracionalismo docentes. Trata-se de obra fechada, onde prevalece a não-reformulação, o caráter não-científico.

O livro não dialoga com o leitor nem polemiza com sua razão. Apenas confirma o conhecimento comum e obstaculiza o conhecimento científico. Nosso objetivo é, portanto, analisar os obstáculos epistemológicos existentes nos livros didáticos e descortinar o processo de entranha do conhecimento gerado pelos mesmos. Como afirma Bachelard:

"Um obstáculo epistemológico se incrusta sobre o conhecimento não questionado. Hábitos intelectuais que foram úteis e sãos podem, com o tempo, enterrar a investigação." (FES, 1947: 14, tradução própria)

É importante ressaltar que a psicanálise do conhecimento nunca é definitiva, chegando-se ao ponto de haver superação total dos obstáculos epistemológicos. Exatamente por serem intrínsecos ao conhecimento, estão sempre presentes, exigindo o trabalho de superá-los. Como afirma Bachelard (RA), mesmo na aplicação do racionalismo a um problema novo, manifestam-se antigos obstáculos à cultura, nunca totalmente superados.

No caso dos livros didáticos constatamos duas vertentes de obstáculos: os hábitos intelectuais dos professores, que são transmitidos sem questionamento aos alunos e os hábitos intelectuais dos alunos, que são reforçados pelos professores através dos livros. Há relação mútua entre eles e em qualquer caso a consequência é a não aprendizagem, a não construção de um pensamento científico, a não integração da ciência à cultura

geral da sociedade.

O último ponto é fundamental já que a escola não tem por função ensinar ciências para futuros cientistas, mas para permitir a formação de uma cultura científica com a qual os cidadãos possam ler e compreender o mundo. Como afirma Bachelard (FES), o distanciamento entre ciências e sociedade é justificado por ambos pela dificuldade inerente à ciência. Assim sendo, duas posturas são assumidas: relegam o problema ou tentam facilitar a ciência. Nada mais falso visto que se desvirtua não só o conteúdo científico como sua função educadora: "(...) quanto mais difícil é uma tarefa, mais ela é educadora." (Bachelard, FES, 1947: 252, tradução própria).

E o trabalho de suplantar essas dificuldades deve ser permanente, nunca restrito ao período escolar, sempre mantendo viva a chama do processo de contradizer conhecimentos anteriores e estabelecer uma nova cultura.

"Na obra da ciência somente se pode amar aquilo que se destrói, só se pode continuar o passado negando-o, só se pode venerar o mestre contradizendo-o. Então sim, a Escola continua ao longo de toda uma vida. Uma cultura bloqueada em um tempo escolar é a própria negação da cultura científica. Não existe ciência sem uma Escola permanente. É essa escola que a ciência deve fundar. (Bachelard, FES, 1947: 252, tradução própria)

- N O T I A S

(1) Bachelard utiliza a expressão escola para designar o trabalho conjunto dos cientistas na formação da cidade científica. É a escola, enquanto cultura científica, que impõe a linha de crescimento. O trabalho científico é arrastado pela escola, nunca é fruto do esforço individual e isolado.

(2) Arrhenius construiu sua teoria da dissociação eletrolítica - partículas carregadas como formadas no processo de solubilização - a partir dos trabalhos com efeitos coligativos e condutibilidade nas soluções salinas e daí partiu para a definição de ácido e base. Um obstáculo que ele teve de superar foi o fato de outros cientistas de renome não aceitarem que uma solução como a de NaCl apresentasse partículas de sódio e cloro (a distinção de íon e átomo não era clara). Afinal, não se os via nem suas propriedades se manifestavam. Este mesmo obstáculo encontramos hoje no ensino, quando o aluno confunde Na e Na⁺, H e H⁺.

(3) Os livros didáticos mais recentes apresentam no primeiro capítulo, junto à exposição do método científico, um resumo sobre história da química. De uma maneira geral se preocupam apenas com nomes, datas, fatos.

(4) Joseph Black teve seus trabalhos sobre calorimetria publicados em 1803. Neles apresentava a distinção entre temperatura e quantidade de calor, considerando esta última dependente da massa do corpo. Seu trabalho ainda concebia o calor como uma substância fluida. O trabalho de James Joule em 1840, com sua teoria sobre os efeitos térmicos da energia elétrica, consolidou os trabalhos anteriores de Thompson e Davy, defensores da interconversão entre calor e energia mecânica, contra a teoria do calórico, a qual advogava a concepção de calor enquanto conteúdo fluido, igualmente incorporada ao senso-comum.

(5) Voltaremos a esta questão em V.3.

(6) O questionamento do caráter essencialmente experimental da química já foi feito em II.3.

(7) Solução de silicatos de densidade precisa, a qual se adicionam sais de metais de transição, obtendo-se com isso filamentos arborescentes coloridos.

(8) Um frasco contendo gás amoníaco, provido de uma rolha com um tubo de ponta afilada, invertido sobre uma cuba com água contendo o indicador fenolftaleína. No processo de solubilização do gás na água ocorre a diminuição da pressão no frasco, acarretando a penetração da água pelo tubo de ponta afilada como se fosse um chafariz. Pela presença da fenolftaleína, a água se apresenta cor-de-rosa.

(9) A expressão de que o carbono tem quatro braços é retirada por Bachelard (MR) da obra "Da Criança ao Adolescente", de Maria Montessori. Este livro se propõe a apresentar a ciência para crianças e peca por essas colocações que, além de nada ensinarem, são falsas. Como afirma Bachelard (MR), pretendendo estar ao alcance das crianças, o mestre se infantiliza.

V - LIVROS DIDATICOS DE QUIMICA NO BRASIL (1931 - 1990)

"Na tensão diante de um livro de desenvolvimento rigoroso, o espírito se constrói e se reconstrói."

Bachelard, A Chama de uma Vela

V.I - Considerações Iniciais

Esta pesquisa foi elaborada tendo por base 107 livros utilizados no ensino secundário de química no Brasil no intervalo de 1931 a 1990 (ver anexo). A escolha da demarcação inicial em 1931 se deve ao fato, já exposto em III.1, de ser este o ano a partir do qual se iniciou a organização de um sistema de ensino envolvendo programas e diretrizes comuns para o país.

Dentro dos limites desse intervalo de tempo, como também já tivemos oportunidade de discutir em III, englobam-se quatro reformas de ensino, reafirmando: Reforma Francisco Campos, Lei 19890 de 18 de abril de 1931; Reforma Gustavo Capanema, Lei 4244 de 09 de abril de 1942 (1); Lei 4024 de Diretrizes e Bases da Educação Nacional, de 20 de dezembro de 1961 e Lei 5692 de 11 de agosto de 1971.

Organizamos os livros didáticos em períodos correspondentes às respectivas reformas, visando investigar a existência ou não de rupturas entre as orientações epistemológicas expressas na literatura didática à medida que se processavam mudanças nas diretrizes legais. Portanto, estabelecemos os períodos:

1931 a 1941	-	Reforma Campos
1942 a 1961	-	Reforma Capanema
1962 a 1971	-	LDB
1972 a 1990	-	5692

Optamos por não iniciar os dois últimos períodos no ano mesmo da publicação das respectivas leis, 1961 e 1971, em virtude do fato de que tais leis datavam do final do ano, passando a vigorar, no que tange aos livros didáticos, a partir do ano subsequente.

Constatamos, porém, em consonância com o que foi discutido em III, que a força das diretrizes legais sobre o conteúdo possui características diversas no período até 1962 e no período posterior. As reformas Campos e Capanema, profundamente diretivas, especificavam os conteúdos a serem ensinados, item por item, e os livros seguiam fielmente o padrão oficial. As reformas de 61 e 71, ao contrário, permitem a maleabilidade do currículo. Assim sendo, o período da LDB se caracteriza pela maior diversidade de livros: alguns permanecem seguindo Capanema, com pequenas alterações na ordem dos conteúdos, outros já apresentam as modernas teorias de ligação química, influenciados que são pelo movimento de renovação do ensino de ciências.

Mas como a lei do mercado é, em última instância, o que dita as regras, aos poucos se estabelece um processo de homogeneização, chegando-se à Reforma 5692 com os livros se assemelhando muito entre si.

A divisão em quatro períodos foi então mantida apenas como parâmetro orientador; no decorrer do trabalho veremos que

muitas vezes, do ponto de vista epistemológico, os quatro períodos se farão dois, tendo como divisor de águas o início da década de 60, segundo Krasilchik (1989), início do período em que a inovação tem como objetivo a vivência do método científico no ensino de ciências.

Nesta pesquisa não estabelecemos nenhum limite a priori do conteúdo a ser investigado, englobando-se portanto, livros das três séries da segunda fase do ensino secundário (atual segundo grau).

A escolha dos livros foi aleatória, procurando-se apenas obter uma distribuição razoavelmente equitativa por série e anos (ver anexo). Por razões óbvias, os livros mais antigos foram os mais difíceis de serem conseguidos, tendo sido necessária uma pesquisa junto a bibliotecas e livrarias especializadas em livros antigos (sebos). Em contrapartida, ao contrário do período atual, nos períodos anteriores a 1960 os títulos não se multiplicavam em demasia, havendo sucessivas edições de um mesmo livro, levando-nos a concluir que o menor número de exemplares não prejudica a amostragem.

Os livros escolhidos para a pesquisa não possuem a garantia de terem sido os mais utilizados nas escolas. Alguns autores, cujos livros obtiveram até quase trinta edições sucessivas (Ex: Camargo & Saffioti), certamente possuem ou possuíram larga aceitação nas salas de aula. Porém o mesmo não se pode dizer de livros cujos autores são de menor renome, ou que sequer apresentam o número de edição. Contudo, essa consideração mostrou-se irrelevante. Um livro, uma vez publicado, evidencia em alguma medida um pensamento comum, uma orientação metodológica e epistemológica, incorpora-se ao conjunto do pensamento pedagógico de uma época. Esse pressuposto se mostrou perfeitamente válido, na medida em que os livros de um dado período, em seu conjunto, não apresentam alterações significativas.

Assim sendo, dentre os livros pesquisados, é possível se encontrar tanto aqueles que atravessaram três reformas consecutivas com poucas alterações, como os do professor Gildásio Amado, ex-Diretor de Ensino Secundário do MEC, quanto livros como os do professor Eduardo Jorge, publicado em Goiânia no ano de 1976, numa edição do próprio autor. Podemos afirmar, portanto, que o material analisado representa com bastante fidelidade a linha de pensamento químico predominantemente transmitida aos alunos nos últimos sessenta anos. E junto a esse material avaliamos a evolução dos obstáculos epistemológicos do ensino de química.

Não pretendemos proceder nesta pesquisa uma análise quantitativa, visto que obstáculos epistemológicos não são objetos contabilizáveis. Objetivamos, sim, identificar os exemplos de obstáculos existentes nos livros didáticos a partir da Reforma Campos, discutir o porquê de suas origens e as consequências danosas dos mesmos para a compreensão de conceitos básicos da química.

No decorrer das próximas análises estaremos sempre procurando salientar as duas formas sob as quais se apresentam os obstáculos, já discernidas em IV: hábitos intelectuais dos professores que se imiscuem no ensino e hábitos intelectuais dos alunos que são reforçados pelos professores enquanto estratégia

didática. Tal questão será desenvolvida especificamente para cada tipo de obstáculo considerado: animista, realista, substancialista e verbal.

É importante elucidar de imediato que tanto o animismo como o substancialismo e o obstáculo verbal se associam diretamente ao realismo. Como veremos mais detidamente na discussão de cada obstáculo, o pano de fundo dos entraves ao desenvolvimento do conhecimento científico inclui o apego, à evidência primeira, o desejo constante de trazer os conceitos abstratos para a esfera do real aparente, enfatizando o vício da ocularidade.

Acima de tudo, é ao realismo que os professores recorrem na tentativa de acomodar conhecimentos científicos, ou pretensamente científicos, no acervo de informações do aluno.

Em vista do fato da pesquisa dos obstáculos não se separar da análise do conteúdo global, empreendemos a seguinte metodologia.

Dos 107 livros, uma amostra de 21 (20 %) foi analisada preliminarmente, objetivando manter contato inicial com todo o conteúdo, as diferentes formas de abordagem, extraíndo-se os obstáculos epistemológicos mais presentes e a visão de ciência predominante.

Nesse grupo incluímos, aleatoriamente, três livros por reforma, um de cada série, mais dois do período final da Reforma Capanema e dois do período inicial da LDB, por se tratar de um período onde as alterações foram maiores. Do período referente à 5692, mais longo, acrescentamos dois exemplares de um modelo de livro que passou a ficar em voga nas décadas de 80 e 90, em função do empobrecimento do nosso ensino: o exemplar único para o segundo grau. Perfazemos os 21 com mais três livros: os dois volumes do Química e um volume do Química - uma Ciência Experimental, traduções dos projetos americanos CBA e Chem Study, respectivamente.

A partir dessa análise preliminar estruturamos a investigação a ser feita no todo, a qual variou conforme o obstáculo tratado. Afinal, método e objeto não são entidades autônomas; o processo de investigação junto ao objeto constrói e determina o método, não havendo sentido no estabelecimento prévio de uma metodologia, supostamente neutra, aplicável a qualquer campo de estudo.

Com o intuito de tornar mais clara a exposição sobre os obstáculos epistemológicos, sentimos necessidade de abordar a concepção de ciência vigente nos livros didáticos desde 1931. As questões que fundamentalmente se colocam são:

- como é encarada a relação entre razão e experimentação ?
- qual a concepção de fenômeno, observação e método que predomina ?
- como se coloca a relação entre conhecimento comum e conhecimento científico ?

As respostas a essas questões nos permitem uma compreensão maior do estatuto da ciência química que ensinamos.

Outro ponto que mereceu destaque de nossa parte foi a química orgânica. Nada mais que uma consequência do caminho próprio seguido por essa subdivisão da química, merecedora de questionamentos particulares.

V.2 - Concepção de Ciência dos Livros Didáticos (1931-1990)

O primeiro grupo de livros, o qual engloba os exemplares pertencentes às reformas Campos e Capanema, é caracterizado, de acordo com os pressupostos discutidos em III, pelo predomínio do empirismo-descritivista. No segundo grupo, livros pertencentes às reformas LDB e 5692, prevalecem concepções empírico-positivistas.

O descritivismo acentuado nas Reformas de 1931 e 1942 sobrevaloriza o conhecimento factual: o fato tem de ser descrito, daí se retirando as leis gerais. Ou, o que é mais grave, o fato em si, desconexo, já é considerado conhecimento científico.

Já na segunda fase, o empírico é a garantia da validade do conhecimento, aquele capaz de conferir ao conhecimento status de verdade. Prescinde-se da descrição do fato; as conclusões - teorias - são apresentadas como sendo embasadas em dados empíricos, sem que os mesmos sejam apresentados. Evidencia-se, em ambas as fases, o império da prova empírica, do fato que leva à teoria e às leis.

"Ainda nesta fase do curso secundário, a experiência se considera a grande inspiradora das leis gerais e o ponto final de qualquer raciocínio científico, pois sem o seu controle as teorias não têm nenhum valor." (Amado, 1939: 5)

"Toda a ciência se constrói sobre os resultados da experiência." (Chem Study, 1981: 2)

"Se você fosse um brilhante pesquisador e encontrasse um fato não explicável pelas teorias vigentes, o que você faria ? Eu criaria uma nova teoria." (Lembo & Sardella, 1978: 189)

Se ao menos fosse feito um bom uso do empirismo, poderíamos ter o aprendizado dos fatos e de suas relações de causa e efeito. Contudo, a ênfase no empírico se faz no nível do discurso e da utilização desse discurso como forma de impor um conhecimento que tem um "quê" de imutável, logo inquestionável. Nada mais simples do que se furtar a uma explicação apresentando a premissa: "verifica-se experimentalmente que...", "a experiência mostra que ...". Ou então, como o fazem alguns livros após 60, utilizando o poder da matemática: "cálculos matemáticos comprovam que...", "concluiu-se pelo cálculo matricial...".

Ao aluno não é dada sequer a oportunidade de verificar o conhecimento por algum ensaio prático. A ciência é transmitida como sendo empírica, mas o ensino é apenas a descrição do

empírico, na primeira fase, e a descrição das teorias, na segunda fase. Como diria Bachelard, passa-se da experiência mal-vista à racionalização mal-feita.

Como em ambas as fases o trabalho experimental é considerado garantia suprema de cientificidade, a filosofia é menosprezada como "mera" elucubração mental. Inclusive diferentes e não poucos autores emitem posições extremamente depreciativas em relação ao pensamento grego, considerado causador de erros na ciência devido ao fato de não ter se dedicado ao trabalho experimental. Trata-se da eterna oposição simplista entre Dalton e Demócrito ou Dalton e Lucrécio. A oposição entre o científico e o metafísico, a experiência, mãe de toda certeza e a divagação, origem de todos os equívocos.

"Assim, as atividades práticas de laboratório deixaram de ser simples ofício, e as teorias perderam o sentido de meras e estéreis elucubrações mentais, que tanto caracterizaram a cultura grega pré-cristã." (Saffioti, 1968: 21)

"A partir da segunda metade do século XVIII se foi arraigando entre os cientistas a certeza da inutilidade de todas as hipóteses e teorias desprovidas de base experimental. A especulação do sábio deveria ceder lugar à humildade e curiosidade do cientista." (Saffioti, 1968: 51)

Prevalece o continuísmo histórico: os gregos ou são considerados como aqueles que poderiam ter permitido um maior avanço da ciência, se tivessem feito uso da experimentação ao invés de se preocuparem com especulações vãs, ou então são os gênios que se "anteciparam" ao conhecimento experimental.

"Os pensadores da Antiguidade tiveram certa intuição sobre a estrutura da matéria." (Costa & Pasquale, 1953, 3a. série: 117)

E' manifestado o desconhecimento total dos pressupostos e objetivos das concepções atomísticas pré-socráticas. Nos trabalhos de Demócrito e Epicuro não se encontra a infância da atomística moderna. O fato de Dalton ter encontrado nesses pensadores a inspiração para suas teorias não nos permite traçar uma linha de continuidade entre os mesmos. O átomo de Dalton é intrinsecamente diferente do átomo de Demócrito, porque a teoria e a concepção de mundo subjacentes ao seu trabalho são radicalmente diversas.

Como afirma Brun (1988), citando Zeller, Leucipo e Demócrito transpõem para os átomos todos os caracteres que os

Eleatas teriam atribuído ao ser. Por sua vez, Dalton incorpora ao arcabouço teórico da Química simplesmente a idéia da partícula indivisível, constituinte última da matéria, sem os atributos do ser.

Tal visão empobrecida da cultura grega também se revela de outras formas:



Fonte: Lembo & Sardella, 1978: 11

Será que podemos resumir as possíveis discussões filosóficas dos atomistas em um diálogo tão frívolo? Seria isso de algum proveito ao estudante? Julgamos que não. Com isso os autores apenas introduzem preconceitos para com a filosofia, sem o desenvolvimento de nenhum conhecimento de real valor.

A primazia do factual, e por consequência do trabalho experimental na ciência, está presente inclusive em livros como o Química do CBA (1964). Segundo os autores, historiadores e economistas, por exemplo, não podem ser considerados cientistas, devido a não se deterem nos fatos observáveis. Mais uma vez a experimentação é utilizada como princípio de demarcação entre ciência e não-ciência.

É importante ressaltar que de todos os 107 livros pesquisados apenas um faz crítica expressa à visão experimentalista da ciência: Gallo Netto, 1986, v. 1.

O autor, na unidade I do seu livro de Química Geral, questiona alguns mitos relativos à Ciência, ou seja: tudo que é científico é quantitativo, relaciona-se com instrumentação sofisticada e complexa e envolve experimentação. Para tanto são citados exemplos da história da ciência que contradizem tais afirmações: as teorias de Einstein, Darwin e outros.

Consideramos um avanço a introdução dessa discussão, ainda que de forma resumida.

Para avaliar com mais detalhes a orientação epistemológica dos livros didáticos, analisamos as concepções de fenômeno, observação e o tratamento dado ao método científico.

Em nenhum dos livros analisados o fenômeno é explicitamente concebido como construído. O fenômeno é um fato incontestável e invariável a ser investigado. De uma maneira geral, é definido como qualquer transformação que sofrem os corpos e os sistemas. Mas, dentre 29 livros que apresentam o conceito de fenômeno, 10 (34 %) apresentam-no textualmente como sendo o que acontece naturalmente, o que pertence à Natureza. Os livros que não fazem referência ao fenômeno como natural, tampouco apresentam-no enquanto construção científica. Não se salienta a transcendência em relação ao natural: o fenômeno ou é natural ou reprodução do natural.

Coerentemente com o fato do positivismo retirar sua concepção de fenômeno do empirismo, não se distingue ao longo dos anos nenhuma modificação na visão de fenômeno. Nem mesmo quando investigamos as propostas de inovação para o ensino de ciências: CBA e Chem Study.

"Embora os fatos que conhecemos sobre os produtos químicos e que são descritos por suas propriedades físicas e químicas não possam ser alterados, os átomos, a partir dos quais imaginamos constituídas todas as substâncias, não passam de conceitos planejados para ajudar nossa compreensão. Temos toda a liberdade de mudar nosso conceito de átomos desde que com isto possamos facilitar a compreensão dos fatos físicos e químicos inalteráveis." (CBA, 1964, v. 1: 14)

Configura-se a concepção do fenômeno como dado - fatos inalteráveis - e a dicotomia racional-experimental. Existe o fato e existe do outro lado a teoria, o conceito, o modelo imaginário que servem aos fatos. Todos os conceitos imaginários são alterados na medida em que novos fatos assim o exigem.

"(...) é importante notar que um fenômeno bem observado, uma experiência bem realizada, uma lei bem estabelecida são coisas imutáveis, pois pertencem ao campo das coisas reais. Já as hipóteses e as teorias vão se alterando e aperfeiçoando, pois pertencem ao campo das coisas imaginadas. (...) De qualquer modo, a tendência da Humanidade é procurar sempre Teorias mais simples e mais amplas, que possam explicar o maior número de fenômenos

naturais." (Feltre, 1983, v. 1: 6)

Inclusive a afirmativa final - "a tendência é procurar teorias mais simples e mais amplas, que possam explicar o maior número de fenômenos naturais" - é um dos corolários positivistas (Comte, 1978), o qual não é por si só suficiente para caracterizar o ensino de química ou autor como notadamente positivistas, mas evidencia um tradicionalismo inequívoco na visão de ciência.

Aparentemente se configura uma evolução, diante do modelo de ciência descritivista anterior à década de 60, mas ainda se coloca distante das concepções de ciência desse século. Um século onde o real e o racional se dialetizam em construção mútua.

Outro ponto a ser analisado, encontrando-se em estreita relação com o fenômeno, é a observação.

No conceito de observação a predominância da ocularidade, já questionada em II, é notável. Observar é apreender um conhecimento pelos sentidos e dos sentidos o olhar é o que prevalece. Os instrumentos científicos apenas permitem ao cientista ampliar o olhar. Assim, a perfeita observação, cuidadosa, essencialmente um processo passivo, é o ponto de partida para toda atividade científica. Alguns livros chegam a distinguir os tipos de observação em: qualitativa, aquilo que vemos, e quantitativa, aquilo que medimos.

Dentro dessa perspectiva, presente nos livros didáticos das quatro reformas de ensino, o conhecimento é total quando o objeto é alcançado pelo olhar. Nada explicita tão bem a idéia do conhecimento panorâmico, o real imediato que se apreende de um golpe de vista.

"(...) identificamos as substâncias pelo exame das propriedades dos corpos que caem sobre os nossos sentidos." (Marciano, 1946: 18, grifos nossos)

"No modelo de Rutherford-Bohr, foram incluídas teorias novas, com a aplicação de conceitos matemáticos, que permitiram um melhor conhecimento da estrutura do átomo, ainda que continue sendo impossível vê-lo. (Sardella & Mateus, 1983: 38, grifo nosso)

O ato de observar é tão valorizado que as mais diferentes conclusões científicas são consideradas como determinadas pela observação.

"Um observador determinou experimentalmente as energias cinéticas dessas moléculas a temperatura T (vamos dizer a 25 oC, $T = 298\text{ K}$)

e constatou valores entre 15×10^{-13} ergs a 70×10^{-13} ergs." (Setsuo, v. 2 beta: 329, grifos nossos)

Todo o trabalho matemático e toda teoria que envolve a determinação das velocidades moleculares nos gases é assim simplificada, baseando-se qualquer explicação no argumento de poder do observador e da experiência. A racionalidade da medida é transformada em mera constatação empírica de valores, como se os valores de velocidade molecular não possuíssem toda uma teorização que se antecipa ao experimento e com ele se consolida.

Também a concepção da química e da física como ciências naturais se apresenta sem diferenciações no decorrer dos anos, fato previsível diante da concepção de fenômeno vigente: natural, ou no máximo artificialmente provocado, nunca artificialmente elaborado. Logo, fazer ciência é desvendar os segredos da natureza, desvelar as verdades desconhecidas.

"(...) grandes segredos da natureza estão a desafiar a inteligência do homem." (Saffioti, 1968: 21)

"Ao se propor conhecer a Natureza, a Ciência parte de certos pressupostos, um dos quais é o de que há uma certa ordem, uma certa regularidade na aparente diversidade da Natureza. Não é sua função procurar saber o porquê desta ordem, qual sua origem, etc. Sua função limita-se a descobrir qual é a ordem, como ela é, como ela se manifesta." (Gallo Netto, 1986, v. 1: 6)

"A Natureza não muda; o que muda é a nossa compreensão e domínio da Natureza." (Feltre, 1989, v. 1: 6)

A Natureza é encarada, simultaneamente, como o dado primeiro da investigação científica e como a verdade última a ser alcançada. De início há a observação do natural e após todo trabalho científico são reveladas as verdades que desde o início já se encontravam no ponto de partida, fechando-se a razão humana em singular circularidade.

No período de 1931 a 1960, a experimentação pura e simples é considerada a chave única para a descoberta de verdades; após 60, a aplicação do método científico passa a ser o caminho do bem fazer ciência. E essa foi a grande consequência, do ponto de vista epistemológico, que os movimentos de inovação educacional trouxeram para o ensino de ciências, em especial para

o ensino de Química: a transmissão do método científico como a chave mestra que permite alcançar o mundo do saber verdadeiro.

Antes da década de 60 não havia nos livros didáticos discussão específica sobre o método científico, muito menos um capítulo direcionado para a discussão da atividade científica. Quando muito encontramos no início dos livros de primeira série (ou terceira série, no caso do período da Reforma Campos), colocações do autor sobre a ciência em geral e sobre a classificação das ciências em naturais e exatas, ou ainda pequenas discussões sobre o valor da experimentação.

A única referência explícita ao método científico, e suas clássicas etapas, encontramos em um exemplar de 1946.

"O Método da Química, como o da Física e das outras ciências naturais, é o método indutivo, que consiste em investigar as causas por meio dos efeitos, em remontar de fatos particulares e concretos as leis gerais." (Marciano, 1946: 6)

Logo em seguida são apresentadas as etapas do método: observação, hipótese, experimentação e generalização. Contudo, o mais significativo é a colocação posterior de uma crítica ao caráter meramente indutivista da Química: no momento da elaboração de teorias o processo é dito dedutivo. Muito provavelmente a ressalva feita pelo autor se deveu a sua formação eclesialística - trata-se de um irmão marista -, a qual valoriza um pouco mais o racionalismo clássico. Os demais livros, quando fazem alguma referência ao método das ciências, apenas se detêm na afirmação de seu caráter indutivo.

No início da década de 60 surgem nos livros discussões mais longas a respeito da atividade científica, nos moldes do CBA e do Chem Study. As etapas dos métodos são descritas e analisadas uma a uma, com maior ou menor riqueza de detalhes, evidenciando a influência positivista.

O esquema geral apresentado pela maioria dos livros é:

- observação
- experimentação
- generalização
- estabelecimento de leis e hipóteses
- verificação
- construção de teorias e modelos

Cada autor apresenta detalhes diferentes: alguns invertem a ordem acima apresentada ou colocam-na de forma mais resumida, englobando em um único item dois aspectos. Uns poucos (Feltre, 1983, v. 1; Chem Study, 1983; Bellintani, 1984; Matsui et alii, 1987, v. 1) enfatizam ao final a importância da comunicação científica, indicando certa preocupação com o caráter social da ciência.

Mas as pequenas alterações específicas não desvirtuam o principal: o método hipotético-dedutivo é único, a "receita" para

fazer ciência, ou como alguns afirmam, "conjunto de normas estabelecidas para a realização de uma pesquisa" (Belintani, 1984: 7). Há quem inclusive ressalte sua aplicação também ao campo social, político e econômico (Borzani et alii, 1960).

Essa forma rígida de trabalho científico não impede que a ciência seja concebida como um prolongamento do senso comum.

No *Química - uma Ciência Experimental* (Chem Study, 1983) a idéia de método científico é introduzida a partir da história de um garoto perdido em uma ilha. Tentando descobrir com quais materiais é possível fazer uma fogueira, o garoto aplica "naturalmente" o método indutivo e a partir desse relato são destacadas as etapas do método.

De forma muito mais simplista e equivocada se coloca outro autor:

"Seja o rude homem do campo, preparando a terra para semear, seja o selvagem com seu arco e flecha buscando a caça, ou o mais sábio dos gênios científicos observando a desintegração do núcleo do átomo -, todos eles, em um grau maior ou menor, têm que pesquisar, observar, elaborar e generalizar explicações para executar seu plano de ação." (Lembo & Sardella, 1987: 8)

Sem dúvida todos pesquisam, elaboram, pensam, mas será que a diferença é apenas de grau? Trata-se de uma hierarquização do pensar advinda da concepção de que o pensamento científico nada mais é que um refinamento do senso comum. Nesse discurso continuista encontra-se a não aceitação de que as formas de pensar e elaborar o conhecimento possam ser diferentes. A primeira vista o discurso se apresenta democrático: todos produzem conhecimento de igual maneira, diferindo apenas em grau de especialização, contrariando o mito da ciência como conhecimento dotado de alguma superioridade.

Mas essa pretensa uniformidade entre o senso comum e a ciência apenas mascara o discurso de que o cientista pensa melhor que as pessoas comuns - afinal existe a diferença de grau e quem estará com o grau mais alto da escala? Enveredamos pelo eterno erro de considerarmos que democracia se encontra no igualitarismo.

A compreensão da existência de ruptura entre o conhecimento comum e o conhecimento científico exige essencialmente que saibamos conviver com as diferenças e inseri-las nos seus respectivos campos de ação. Em outras palavras, a distinção entre ciência e não-ciência se dá no campo epistemológico e não no campo axiológico.

Julgando trabalhar para que o aluno não se afaste da ciência, tentando colocá-la ao seu alcance, os livros didáticos apenas transmitem a corruptela da ciência. O trabalho deveria ser o de colocar o aluno ao alcance da ciência, assumindo suas dificuldades, sem banalizá-la em nome da mera instrumentalização do pensar.

Exemplo claro dessa banalização se encontra em Matsui et alii (1987, v. 1). Os autores exemplificam a aplicação do método científico com inferências retiradas do senso comum: a partir da observação "a sala contém uma lousa" interpretamos que ela está ali "para ser usada pelo professor no registro de fatos". Mesmo para o senso comum a interpretação é pobre e limitada; mais limitado ainda seria se na ciência nossas observações e interpretações se apresentassem com tal relação de causa e efeito.

A inexistência de rupturas no pensar científico também se apresenta na sucessividade temporal. A julgar pelos livros didáticos, o homem pré-histórico fazia ciência como o homem moderno, sendo a descoberta do fogo apresentada como exemplo de atividade científica (Feltre, 1983, v.1) ou como pioneirismo da química (Nabuco & Barros, 1980). Podemos considerar a observação primitiva do fogo, as primeiras tentativas vãs de produzi-lo, como primórdios experimentais? Por que temos de julgar o passado como uma infância do pensamento moderno? Por que conferimos ao homem pré-histórico o direito de fazer uma "ciência tartamudeante" e não o deixamos com seus devaneios?

Esse continuísmo conhecimento comum-conhecimento científico muitas vezes possui o intuito de tornar a química acessível ao aluno. Considera-se que se ela está presente na vida diária, não pode ser uma coisa complicada (Feltre & Setsuo, 1977). Mas como conseguir que o aluno goste da Química se essa relação com a vida diária é apenas uma frase solta, sem nenhum eco no decorrer do livro? E por que insistir na falsidade de que a ciência é coisa fácil, como se apenas as coisas fáceis fossem interessantes? O autor contribui muito mais para o desinteresse pela Química ao afirmar inverdades do tipo: "desgraçadamente, toda poluição atual é decorrência da Química." (Feltre & Setsuo, 1977: 28)

Com nossa crítica não estamos considerando completamente sem valor a discussão do método hipotético-dedutivo. Apenas queremos reafirmar o erro em se apresentar a ciência do limiar do século XXI como possuindo o estatuto epistemológico do século XIX. Erram os livros por apresentarem o método como único e ainda por cima desvinculado do conteúdo. Podemos considerar o método de trabalho de Dalton igual ao de Bohr? Se a discussão fosse historicamente condicionada poderiam os livros ceder a palavra aos textos originais dos cientistas, mostrando assim aos estudantes como a ciência tem uma metodologia estruturada em função do trabalho de pesquisa, construída no decorrer do trabalho de pesquisa.

Nesse contexto os métodos indutivo e dedutivo seriam apresentados como possíveis métodos, possíveis formas de raciocínio.

A tirania da metodologia única, da observação passiva, da experimentação que consiste em ver, medir, prever e repetir fenômenos naturais, retira da ciência toda sua beleza. A beleza, como diria Bachelard, de estar sempre pondo em risco a razão humana.

V.3 - Química Orgânica: um Caso à Parte

A química orgânica sempre teve estruturação própria, sem grandes interações com o resto da ciência química. Mesmo inicialmente, no período da Reforma Campos, quando era estudada na 5a. série (atual 3a. série do segundo grau), junto a conteúdos de química geral e físico-química, seu desenvolvimento se fazia em bloco à parte. E havia casos de serem editados livros apenas com o conteúdo de orgânica (Rangel, 1933; Terra, 1936), escritos por médicos dedicados à química fisiológica e dirigidos especialmente aos estudantes secundários interessados no curso de Medicina.

Notadamente, essa independência da química orgânica, constituindo-se subdivisão na química, vem sendo praticamente a mesma nos últimos sessenta anos.

"Na 3a. série ensina-se Química Orgânica. É impressionante como esta parte da Química tem status de independência e é ensinada de maneira completamente dissociada do resto da Química. A maneira como é feito o ensino da Química Orgânica (esta maneira presente nos livros-textos) permite que ela seja jogada para qualquer série do 2o. grau. Ligações químicas, equilíbrios e cinética, tão importantes no aprendizado da Química Orgânica, são geralmente esquecidos, inclusive nos livros-textos. Esta também é a parte da Química que está mais centrada apenas na evocação, nada mais se exigindo do que simples recordações de nomes e fórmulas." (Chassot, 1990: 78)

O caráter descritivo da química orgânica, essa evocação a que Chassot se refere, se mostrava coerente com todo o ensino até 1960. Discutia-se em linhas gerais o rompimento com a teoria vitalista, a análise imediata, a formulação, propriedades do carbono, classificação de cadeias, grupos funcionais, isomeria e nomenclatura. Depois, para cada função, apresentava-se o estado natural, obtenção, propriedades e principais compostos.

Dentre os livros por nós analisados, essa estrutura é invariante. Um item ou outro pode ser acrescentado ou suprimido, mas sem provocar fissuras na estrutura básica.

Após 1960 são incluídos os conceitos de ressonância e hibridação e alguns livros apresentam um capítulo sobre mecanismo de reação (Amaral, 1966; Nehmi, 1967). E são esses os únicos assuntos novos introduzidos na química orgânica desde 1930, os quais não caracterizam nenhuma mudança na estrutura básica anterior. Nem quanto à ordem dos assuntos nem quanto à forma de abordagem, já que poucos desses conceitos preliminares são aplicados ou desenvolvidos no decorrer do livro.

A única exceção a esse parecer, dentre os 37 livros com conteúdos de orgânica por nós analisados, é o livro de Braga e Silva (1982, v.3). Ao contrário dos demais, os autores promovem um ensino por tipo de reação, não por função, o que faz o aprendizado ser mais lógico e menos mnemônico, ainda que com grau de complexidade inadequado ao segundo grau. No mais, contudo, seguem o esquema tradicional, fazendo da química orgânica um estudo à parte dentro da química.

O livro de Feltre & Setsuo (1974), afirma na introdução deixar de lado o esquema tradicional e ensinar a partir do mecanismo de reações, mas nem por isso foge à regra geral. Até porque, a simples inserção de teorias referentes às reações orgânicas não modifica o quadro descrito: o desenvolvimento de mecanismo se faz sem a devida discussão cinética e sem a aplicação dos conceitos de equilíbrio, ligação química e estrutura molecular.

Ou seja, para o aluno existem duas químicas: a que ele aprende em uma não se aplica à outra e nesse campo tão obscuro só lhe resta decorar conceitos. Não é à toa que Nehmi (1967) inicia seu livro "ensinando" aos alunos como estudar orgânica e o faz orientando um processo de memorização.

Igualmente significativo é o desenho que ilustra o início do capítulo dois do livro de Braga e Silva (1982, v.3): os autores do livro assumem que notação, nomenclatura e propriedades físicas dos compostos são assuntos capazes de provocar desânimo e enfadar até mesmo uma caricatura do mago Merlin (2).



CAPÍTULO

2

Notação, Nomenclatura e Propriedades Físicas dos Compostos

Fonte: Braga & Silva, 1982, v. 3: 131

Infelizmente insiste-se em se ensinar na escola secundária uma tal especificidade química, um excesso de informações sobre orgânica que só deveria ocorrer, e aí sim com a

profundidade devida, no nível de 3o. grau. Por que conferir ao aluno iniciante na química uma visão tão fragmentária ? Não seria o caso de ensinarmos simplesmente química na escola secundária, fornecendo um conhecimento geral onde as propriedades dos compostos de carbono fossem discutidas junto às propriedades dos demais compostos, onde a química fosse apresentada como um todo coerente e racional ? Reservar-se-ia ao 3o. grau a discussão em profundidade dos aspectos mais específicos, o que por sinal já é feito, repetindo-se, aí sim com a correção devida, conteúdos desenvolvidos no segundo grau.

Não estando adequada ao 2o. grau, a química orgânica é então apresentada como um conjunto de regras, classificações, nomes e reações que devem ser obrigatoriamente memorizados, na medida em que nada é compreendido.

Sem dúvida não se trata de privilégio da química orgânica. O lema dos professores do 2o. graus parece ser: ensinar química é ensinar a classificar e para classificar é preciso saber regras.

Classificam-se os tipos de íons, as reações, as cadeias orgânicas, os metais e os ametais, os compostos orgânicos, os ácidos, as bases, os sais, os óxidos, os átomos de uma cadeia carbônica, as soluções... Classificam-se inclusive os períodos da tabela periódica conforme o tamanho, como se um simples olhar do aluno não conferisse tal informação.

Afinal, o que está sendo ensinado ao aluno ao informarmos que o ácido sulfúrico é um diácido, inorgânico, oxigenado, fixo, ternário, forte e não volátil ? Constata-se facilmente que tais informações encontram seu uso apenas na resolução dos exercícios formulados pelo mesmo professor que fornece a informação.

Classificar não é por si só um mal, mas adquire caráter prejudicial ao ensino na medida em que não apresenta uma aplicação racional. E assim ocorre em nossos livros didáticos: ou se classifica desnecessariamente ou não se explica a lógica da classificação, tornando-a sem sentido e sem validade.

Por que diferenciar os ácidos ternários dos binários, senão pelo fato de podermos montar exercícios nos quais fazemos referência aos mesmos ? Por que classificar os átomos de carbono de um composto orgânico conforme suas ligações, senão para no estudo de mecanismo podermos fazer uso de tal classificação ?

Para o professor se mostra mais cômodo apresentar, como nos livros de química orgânica, todas as classificações agrupadas de início, mas para o aluno que vê o assunto pela primeira vez os conteúdos se mostram destituídos de qualquer significado que não o de resolver os exercícios ao final do capítulo.

Como afirma Bachelard (PC), referindo-se à classificação dos elementos químicos:

"(...) um elemento particular se classifica em uma família pela consideração de uma soma de propriedades sintéticas antes que pelo conhecimento de caráter bem determinado e distinto." (p. 83, tradução própria)

Por conseguinte, cada classificação exige um conhecimento prévio de múltiplas propriedades, um estudo das razões do ato de classificar. Não classificamos substâncias químicas como na vida diária classificamos os objetos em maiores e menores, pesados ou leves: conclusões obtidas pelo simples trabalho empírico. Logo, se uma classificação é gratuita, não originária de um processo de racionalização da experiência, o qual agilizará e construirá novos processos científicos, não merece sequer ser discutida, sequer ser ensinada.

Outro prejuízo causado por tantas classificações na orgânica é que o professor, sempre com o tempo escasso para tão grande conteúdo, acaba por privilegiar nomenclaturas e classificações de cadeias ao invés de reações ou propriedades físicas e químicas. Por fim, ao aluno é dado saber como identificar um hidrocarboneto de cadeia aberta, homogênea, normal e saturada e não conhecer nenhum processo químico referente ao mesmo.

Por outro lado, quando é privilegiado o ensino das funções, o mesmo é feito de maneira descritiva.

Tal forma de se apresentar o conteúdo de orgânica encontra raízes na tradição substancialista tão presente nessa subdivisão da química. Para o químico orgânico, mais do que para qualquer outro químico, a substância contém em si a explicação de suas propriedades, a propriedade é inerente ao corpo substancial. Não se concebe a propriedade como fruto de interação mútua, a substância como um vir a ser.

Dai a enumeração das funções e suas propriedades, ou como os livros anteriores a 60 continham, exacerbando o substancialismo, a enunciação dos compostos e suas propriedades.

Facilmente se constata o quanto nossas salas de aula estão distantes do caráter contemporâneo da química orgânica, que nos permite a fabricação de uma qualidade a partir da construção de uma substância. Como afirma Bachelard (FES), na síntese moderna fabricamos antes uma qualidade que uma substância, antes um adjetivo que um substantivo. E nosso ensino ainda se encontra totalmente substantivado, principalmente no que se refere à química orgânica.

Tratamos de alcanos, álcoois e aldeídos sem discutir as propriedades como fruto de relações entre estruturas moleculares diversas, sem permitir aos alunos a compreensão de que a mudança ou entrada de um radical provoca relações diversas. Não é o grupamento OH que possui a capacidade de efetuar pontes de hidrogênio, mas a relação desse grupamento com o corpo molecular e a relação das moléculas entre si.

Desenvolvendo raciocínios análogos, Clapp (1969) fornece excelente exemplo de como o ensino de química orgânica não tem porque estar tão desvinculado do ensino da química inorgânica. O autor desenvolve um trabalho a respeito das propriedades de diferentes compostos, sejam eles ácidos, álcoois ou água, a partir da influência dos demais grupamentos sobre o grupamento OH. Não permite assim a interpretação das propriedades dos compostos orgânicos como autonômas, inerentes aos compostos possuidores de carbono.

Outra coisa não pode pensar o aluno quando se vê diante

de afirmações como: "O efeito indutivo é muito freqüente em Química Orgânica." (Amado, 1961: 41) Os efeitos indutivos nada mais são do que efeitos devido à tendência de átomos ou grupamentos atraírem ou repelírem elétrons, a partir deles explicando-se a maior ou menor dispersão de carga de uma molécula e, por consequência, a maior ou menor estabilidade termodinâmica de uma dada ligação. Por que colocá-los como patrimônio da química orgânica, numa patente substituição do termo compostos em cadeias - compostos onde o efeito indutivo é mais acentuado - pelo termo química orgânica ?

Exemplo de como o processo de racionalização é menosprezado na química orgânica encontramos na discussão da estrutura molecular do benzeno.

Até meados da década de 60, a estrutura do benzeno é representada nos livros didáticos como sendo:



No livro de Costa e Pasquale (1953) há inclusive referência ao nome ciclohexatrieno como sinônimo de benzeno. E Décourt (1946) apresenta um texto de Bavink a respeito do famoso sonho de Kekulé inspirador da estrutura do benzeno, nesta versão apresentado como macaquinhos brincando em uma jaula (ver figura 1). O texto apresenta a ilustração abaixo, que nos faz questionar porque o episódio do sonho de Kekulé possui tantas versões e é tão extensamente divulgado na literatura química. Não seria pelo apelo que possui sobre o inconsciente dos químicos, fornecendo imagem mais cômoda que as discussões teóricas ?

Décourt, mais que os demais autores, discute a formulação da estrutura do anel benzênico, inclusive incluindo que a versão mais moderna de Kekulé é a do híbrido de ressonância. Mas a imagem dos macaquinhos em cabriolas certamente se adere mais facilmente aos pensamentos dos alunos do que as discussões teóricas.

Mesmo livros que começam a discutir efeitos de ressonância (Amaral, 1966) colocam o benzeno como fruto do equilíbrio:

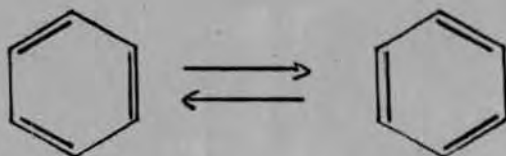


Figura 1

A respeito, assim se exprime Bavink: «São muito originais as palavras com que o próprio Kekulé conta como lhe ocorreu sua genial idéia — Ia, disse ele, uma tarde, sentado em um ônibus de Londres, meditando sobre a maneira de transformar a fórmula C_6H_6 em outra mais desenvolvida que fôsse uma imagem exata das propriedades do benzeno. Vi, de repente, em uma jaula, um grande número de macacos que, em seus brinquedos e cabriolas tão depressa se ligavam como se soltavam pelas mãos e houve um momento em que

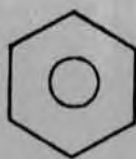


Fig. 6

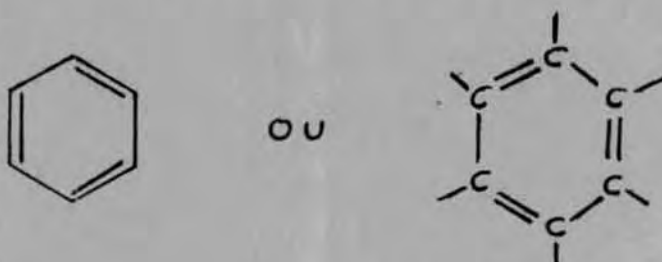
formaram um círculo. Cada macaco se agarrava à jaula com uma de suas patas traseiras e com a outra e suas duas mãos se ligavam aos macacos vizinhos, enquanto que agitavam a cauda no ar. Seis monos haviam se agarrado desta maneira formando um círculo, quando súbitamente me veio à mente esta idéia: eis a imagem do benzeno».

Fonte: Décourt, 1946: 95

Dentre os livros analisados, o primeiro a apresentar o benzeno como:



é o de Machado e Moreira (1966), uma apostila para o curso colegial e vestibular. Porém, na discussão dos compostos aromáticos, a apresentação do benzeno é feita como:



no decorrer do livro se utilizando a estrutura com a nuvem pi sem nenhuma discussão quanto ao porque dessa mudança de representação.

Livros posteriores continuam utilizando a estrutura de Kekulé, no máximo discutindo a deslocalização das ligações, sendo que na maioria dos livros após 70 temos a colocação:

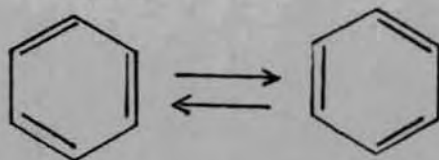


Sendo que especialmente Ferré (1990) apresenta a diferenciação entre o que é o anel benzênico e o que são as representações do mesmo.



Nenhum livro discute o processo de racionalização que diferencia as estruturas. Anos de trabalho científico são desprezados quando os professores transformam as representações acima em simbologias meramente convencionais.

A estrutura que interdita a localização absoluta dos elétrons rompe com a estrutura de Kekulé de maneira completa, indica reações diversas, propõe uma nova razão. A representação do equilíbrio:



indica uma alternância de duas formas, enquanto a estrutura mesomérica única impede as duas formas anteriores: não temos moléculas alternando, ora em um estado, ora em outro, mas todas estão em um terceiro estado mais complexo.

Ademais, a representação com as ligações localizadas deveria ser:



indicando os diferentes comprimentos de ligação. Ou seja:

"E' esta então uma razão dinâmica direta que nega a realidade do esquema de Kekulé. Dinamicamente, o esquema simétrico de Kekulé é um absurdo. A molécula de benzeno não poderia formar-se sobre o esquema clássico de Kekulé: ela explodiria. Estamos ali ante uma exigência explícita nova da representação das substâncias em química: a forma não basta para representar as substâncias; é necessário que a forma proposta seja compatível com uma situação dinâmica, a qual a química presta cada vez mais atenção." (Bachelard, MR, 1972: 171)

A colocação, portanto, da dupla possibilidade de estruturas para o benzeno:



não só despreza a situação dinâmica da segunda estrutura e todo o processo histórico que levou à sua constituição, como não apresenta as discussões sobre os limites da primeira estrutura. Transforma símbolos racionais em pobres imagens sem sentido.

O que se ilustra para o benzeno de forma cabal e direta, aplica-se também às demais estruturas orgânicas: enquanto a representação das substâncias não for transmitida aos alunos como racional, simbologia que sugere processos interativos, não passarão de esquemas vazios, meros encadeamentos de átomos de carbono. Um jogo de montagem fácil porque carente de qualquer raciocínio químico.

V.4 - Análise dos Obstáculos Epistemológicos

V.4.1 - Obstáculo Animista

Já tivemos oportunidade de abordar o obstáculo animista quando tratamos da teoria vitalista na química orgânica e na alquimia (Ver II.2). Voltamos agora a desenvolver essa questão no que se refere aos livros didáticos. Assim, objetivamos enfocar neste tópico o animismo, ou seja, a tendência de conferir vida ao que não a tem ou de sobrevalorizar a vida e os seres vivos, enquanto obstáculo ao aprendizado da ciência química.

Segundo Bachelard (FES), o animismo obstaculizou as ciências físicas ao privilegiar o corpo humano e os fenômenos vitais, outorgando-lhes um valor superior na hierarquia fenomenológica, fazendo a vida transcender ao domínio que lhe é próprio. Notadamente nos trabalhos científicos do século XVIII, quando os reinos vegetal e animal são encarados como preponderantes na Natureza frente ao reino mineral. Aquilo que tem vida possui qualidade especial, é dotado de uma força interior que se opõe ao não vivo, à morte.

O espírito animista impregnou de tal maneira os cientistas dos séculos XVII e XVIII, que as teorias sobre o mundo físico foram constituídas tendo por referência os fenômenos vitais. E esses entraves são analisados por Bachelard na Formação do Espírito Científico.

"O ímã nos oferece essa nuance que aproxima a natureza viva da natureza inanimada; ela se faz conhecer através da união da pedra com o metal, e neste, esse princípio de vida se manifesta com maior energia ainda." (De Bruno, 1785, citado por Bachelard, FES: 152, tradução própria)

Como afirma Bachelard (FES), a palavra vida é uma palavra mágica, magia facilmente associável ao calor, à eletricidade, ao movimento, ao que se mostra ativo e impulsionador. Fenômenos como o magnetismo e a eletricidade, estudados de maneira incipiente, eram essencialmente obstaculizados pelo animismo, pois seu caráter de atração e repulsão de corpos, a energia a eles associada, tendiam a ser explicados por algum princípio vital. Havia mesmo quem defendesse que um fenômeno tão maravilhoso como a eletricidade, considerado o princípio básico da natureza, deveria ser denominado **vivacidade** (citado por Bachelard, FES).

Por outro lado, a compreensão de fenômenos químicos associados à idéia de morte, como a putrefação, era igualmente prejudicada.

"A matéria morta é inerte e sem forma orgânica, a matéria viva um milhão de vezes mais tênue que a menor molécula de matéria morta, que o melhor microscópio não pode nos fazer perceber..." (Conde de Tressan, citado por Bachelard, FES: 154, tradução própria)

O que se opõe à vida, ao movimento, à luz, é sempre disforme, de menor energia, **enfermo**. Baseado nesse princípio, os cientistas se detêm no combate a essas enfermidades. Assim é que a ferrugem era considerada por De Bruno, em 1785, como uma enfermidade do ferro. Afinal, o ímã perde suas propriedades magnéticas - vitais - quando atacado pela ferrugem.

Exemplo clássico de obstáculo animista na Físico-Química, se encontra nos trabalhos de Luigi Galvani com eletricidade. Galvani era médico e desenvolveu os trabalhos do fisiologista inglês John Walsh acerca da eletricidade animal (o dorso e a barriga de uma enguia ligados por um fio geravam uma descarga elétrica). O cientista italiano defendia a existência de dois tipos de eletricidade: a comum, da garrafa de Leyden, e a animal.

"(...) a eletricidade animal não é em absoluto uma eletricidade comum, tal como aquela que se encontra em todos os corpos, mas uma eletricidade modificada e combinada com os princípios da vida, mediante os quais adquire caracteres exclusivos." (Galvani, citado por Bachelard, FES: 166, tradução própria)

O animismo, portanto, bloqueia a objetividade e a abstração, retém o cientista no concreto, na experiência individualizada e não racionalizada.

Sem dúvida, poderia ser colocado que os autores aos quais Bachelard se refere eram essencialmente cientistas de segundo escalão, não se encontrando entre os que produziram os maiores trabalhos de sua época. Contudo, responderá o próprio Bachelard, são os autores de segundo escalão os principais divulgadores da ciência, aqueles que escrevem os livros científicos de divulgação, e que ministram aulas, contribuindo efetivamente para a formação da cultura científica geral.

Por outro lado, poder-se-ia afirmar a suplantação total dos obstáculos animistas na época atual, por serem eles característicos dos séculos XVII e XVIII, períodos marcadamente pré-científicos (3). Todavia, como já tratamos em IV, os obstáculos epistemológicos nunca são completamente superados e os resquícios do período pré-científico existem ainda hoje, quando a ciência de ponta se coloca dentro do novo espírito científico.

"Mesmo em um espírito claro, existem as zonas obscuras, as cavernas onde continuam a viver as sombras. Mesmo no homem novo, restam vestígios do velho homem. Em nós, o século XVIII continua sua vida surda; ele pode - ai de nós ! - reaparecer." (Bachelard, FES, 1947: 7, tradução própria)

E é exatamente enquanto vestígios do velho homem que os obstáculos animistas se apresentam nos livros didáticos mais antigos, indicando o reaparecimento do século XVIII no espírito do professor-autor.

"(...) Desgraçadamente, porém, os animais não vivem com a nobreza sublime de um vegetal que busca, apenas, no mundo inanimado a matéria destinada a sua própria formação. Sob o impulso brutal do egoísmo, nutrem-se à custa da destruição de corpos vivos: matam os vegetais, matam os outros animais, em busca da matéria orgânica que lhes serve de repasto ..." (Faccini, 1941, 3a. série: 286)

Para Faccini (1941), a vida é algo tão sublime e especial que mesmo os seres vivos não possuem o direito de destruí-la, ainda que em nome de sua alimentação e sobrevivência. Destruir corpos vivos não passa de uma consequência funesta do egoísmo.

Esse tipo de obstaculização animista, provocada pela presença do fetichismo da vida na concepção de ciência do próprio autor, é frequente nos livros das Reformas Campos e Capanema. Como a ciência química ensinada é essencialmente descritiva, distante da atividade racionalista do novo espírito científico, torna-se marcante a influência do período pré-científico. As propriedades ou conceitos físicos apresentados são dotados de vida e as embrionárias tentativas de explicação são carregadas de metáforas tendo por base o ser vivo.

"De modo geral, as reações químicas são mais vivas com os elementos no estado nascente (que corresponde ao estado atômico)." (Amado, 1939: 31)

"Pode-se verificar que a reação é muito mais viva no tubo em que a temperatura é mais elevada." (Amado, 1939: 31, após descrever uma experiência comparando a reação do mercúrio com ácido sulfúrico a frio e a quente)

O aumento de velocidade, no dizer do autor, pode ser conseguido também com a adição de um catalisador:

"A 300 graus, o hidrogênio e o oxigênio ainda não se combinam de modo apreciável. Se se introduz na mistura de dois vols. do primeiro e um vol. do segundo um pouco de óxido de cobre (CuO) em pó, verifica-se a combinação dos dois gases, naquela temperatura, com uma velocidade relativamente viva." (Amado, 1939: 41)

Tais comentários foram extraídos do tópico "causas que influem sobre a velocidade da reação" e neles se apresenta claramente o valor que o autor confere à vida, além da relação automática feita entre vida e velocidade. A reação mais rápida, mais veloz, aumentou de vivacidade.

Notadamente, nenhuma explicação é apresentada para os fatos descritos, o que está de acordo com a concepção empírico-descritivista reinante, a qual encara o fato desconexo como conhecimento. Ademais, é plenamente aceitável que o calor e as substâncias recém-formadas (nascentes, jovens), ou mesmo algumas substâncias em caráter especial, possuam o poder de estimular a "vivacidade" das reações. A metáfora animista, não colocando em crise a cultura prévia do aluno, é de acomodação fácil ao senso comum, não exigindo nenhuma explicação racional para que seja assimilada. Em contrapartida, obstaculiza a compreensão dos efeitos do aumento da temperatura e da adição de catalisadores sobre a velocidade das reações, sendo incapaz de dar conta da ação do calor sobre processos exotérmicos (4).

Dentro do mesmo princípio traçado acima, as combustões nos livros dessa época, antes de 60, eram classificadas como "lentas" ou "vivas".

"Combustão viva: é acompanhada de chama, fumo e elevação de temperatura. É um fenômeno brusco, realizando-se em curto prazo, mas com grande energia." (Faccini, 1941, 3a. série: 288)

E mais adiante o autor afirmará:

"(...) para experiência de laboratório, indubitavelmente as combustões vivas são mais interessantes." (p. 310)

Depreende-se de tais exemplos dois aspectos importantes. Primeiramente, faz-se demasiada distinção entre processos que apenas possuem velocidades diferentes. A reação da celulose, do

papel ou da madeira, com o oxigênio do ar é igualmente exotérmica, seja quando ativada pelo riscar de um fósforo - processo rápido - ou quando não ativada - processo lento. Trata-se apenas de uma diferença de tempo de ocorrência. O próprio autor é obrigado a enfatizar posteriormente que a quantidade de energia liberada por mol na combustão viva ou lenta é a mesma, denotando percepção para o erro advindo da leitura apenas das definições em questão. Ou seja, a classificação é baseada em observações primeiras e advinda da super-valorização dos fenômenos de alta velocidade - vivazes.

Em segundo lugar, constatamos o fascínio gerado pelas combustões "vivas". Por que são elas mais interessantes no laboratório ? Pelas possibilidades explicativas que oferecem, pela praticidade de ocorrerem rapidamente, ou pela "vivacidade" que lhes é atribuída ?

Na valorização do fetichismo da vida é igualmente comum os autores dotarem as substâncias de qualidades humanas: aquilo que julgamos possuir vida se aproxima de nós. Encontramos, portanto, afirmações como:

"o grito do estanho, (...) o ruído do ácido sulfúrico deitado pouco a pouco na água" (Marciano, 1946: 20, grifos nossos)

"as moléculas não se tocam" (Irmãos Maristas, 1961: 44, referindo-se à existência de grandes espaços intermoleculares, grifo nosso)

"Os nonanos, C_9H_{20} , são pouco solúveis. Suas moléculas, muito maiores que as dos pentanos, não se insinuam com a mesma facilidade entre as moléculas de CCl_4 ." (Amado, 1961: 252, grifo nosso)

Nenhuma discussão teórica de valia é feita em meio a essas imagens, apenas há facilidade na aceitação dos conceitos ou fatos devido à semelhança que as imagens possuem com fenômenos conhecidos dos alunos - as qualidades humanas. Nada de científico está sendo ensinado: alguns dados científicos simplesmente são banalizados para que se incorporem ao conhecimento do aluno.

Encontramos metáforas similares em outros tópicos da matéria. Os ácidos variam quanto ao poder que apresentam: uns são "enérgicos, ativos, poderosos, reagindo intensamente com os outros corpos" - os ácidos fortes -, outros quase não têm poder para reagir, são fracos. (Faccini, 1941, 3a. série; Marciano, 1946)

Como ficariam desapontados os alunos que, após essa aula, fossem colocados diante da reação do "poderoso" ácido sulfúrico concentrado com o zinco... Não haveria a "vivacidade" esperada, a "energia" e o conceito de força dos ácidos teria que

ser rapidamente reformulado (5).

As bases igualmente são consideradas corpos enérgicos e cáusticos: produzem queimaduras, são irritantes. E tal energia e agressividade dos ácidos e bases é essencialmente associada à capacidade de reagir: há vida demais dentro deles merecendo ser compartilhada.

Assim é fácil aceitar que o ácido sulfúrico, esse ácido tão enérgico, possua grande avidez pela água. Facilidade geradora de erros conceituais graves como o exposto abaixo.

"(...) o ácido sulfúrico chega a promover a combinação do hidrogênio com o oxigênio que existe em certos corpos, afim de se apoderar dela [água]." (Faccini, 1941: 352)

O poderoso ácido sulfúrico é dotado da faculdade de forçar a formação de água, atribuindo-se total passividade ao composto que é desidratado. Existe apenas a ação do ácido; despreza-se a interação dos reagentes.

E se a avidez do ácido sulfúrico já é tão grande, o que não dirão do anidrido sulfúrico? "(...) o SO_3 é avidíssimo por H_2O ." (Marciano, 1946: 86)

Quantos desejos não estão ocultos na metáfora da avidez... É a substância enérgica que reage-digere, muitos sendo os cuidados que devemos ter com ela. Juntemos portanto os sequiosos e assim combateremos a agressividade latente.

"Do mesmo modo que um 'corpo quente' e um corpo 'frio' ao serem reunidos dão um 'conjunto morno', um ácido (substância 'corrosiva') e uma base (substância 'cáustica') ao serem juntados, se 'neutralizam' produzindo um sal (substância 'menos agressiva')." (Feltre, 1969: 205)

O animismo, presente na exposição das propriedades de ácidos e bases, conduz a tal analogia pobre, capaz tão somente de permitir ao aluno memorizar o conceito, não o compreendendo. Isso porque o autor compara dois fenômenos completamente díspares, não podendo dessa comparação se retirar nenhum conceito válido.

Pela figura 1 podemos constatar como certos autores traduzem o pensamento dos alunos a respeito da neutralização de ácidos por bases. Tal ilustração, que consta do início de um capítulo sobre ácidos e bases, salienta a irracionalidade do conceito: o termo neutralização não é compreendido quimicamente. Ao contrário, enfatiza-se ao extremo a metáfora, aqui representada pela luta de boxe. Nesse pugilato quem vai à nocaute é a capacidade do aluno entender as reações de neutralização.

Na valorização da avidez, o mito da digestão referido por Bachelard (FES) está nitidamente presente. Trata-se de uma consequência da ânsia pela relação com o que nos está próximo,

Figura 1



Fonte: Braga & Silva, 1982, v. 2: 153

com o que é conhecido. O conhecimento primeiro se encontra sempre no real e o realista deseja efetivamente digerir esse conhecimento que julga estar interiorizado nos objetos.

"Na realidade, o conhecimento dos objetos e o conhecimento dos homens procedem do mesmo diagnóstico e, por alguns de seus traços, o real é à primeira vista um alimento" (Bachelard, FES: 169, tradução própria)

A reação química, para o químico realista, se associa a um processo digestivo, o processo que dissipa a avidez das substâncias. Em vista disso, o conceito de afinidade - maior ou menor avidez de uma dada espécie por outra - sempre esteve associado a obstáculos animistas.

Historicamente o conceito de afinidade foi introduzido na Química por Boerhaave, em 1773, sendo definida como a força em virtude da qual os corpos se combinam. O conteúdo animista dessa "força" era explícito, na medida em que era comparada à atração sexual. Posteriormente o conceito foi sendo retificado, primeiro por Berzelius com a fila de eletropositividade (ver II.2) e mais recentemente com os trabalhos na área de Termodinâmica e Ligação Química.

Não obstante, os livros didáticos deste século apresentam forte conotação animista no trato da afinidade, confirmando o distanciamento existente entre a ciência ensinada e a ciência produzida.

"Considere-se, por exemplo, a combustão do magnésio: como se sabe, ela somente se realiza quando aquecido o metal. O aquecimento tem por fim, neste caso, despertar a afinidade do magnésio para o oxigênio que, a frio, não se manifesta." (Amado, 1939: 7-8, grifo nosso)

Antes de tudo temos o equívoco do autor em considerar que, sem o aquecimento, a reação entre magnésio e oxigênio não ocorre - senão, por que existiriam as camadas de óxido sobre as fitas de magnésio? Estabelece-se a confusão entre o fato do processo ser termodinamicamente favorável - possuir K_c alto - e cineticamente desfavorável - possuir velocidade baixa. Por outro lado, o autor enfatiza a visão animista da afinidade: algo a ser despertado pelo calor, quase um sentimento de desejo interiorizado, necessitando de estímulo para se manifestar.

E o calor, um dos símbolos máximos da vida, permite despertar afinidades as mais profundas.

"A energia calorífica é a chave mágica com que se poderá abrir o recinto ainda intransponível da transmutação da matéria; é, portanto, o

talismã com que se poderá tornar realidade o sonho dos alquimistas." (Faccini, 1941, 5a. série: 27)

Notamos aqui o mesmo equívoco, já discutido em II.2: considerar a transmutação artificial dos químicos uma realização dos objetivos alquimistas. E sem dúvida o autor desconhecia que a primeira transmutação artificial já havia sido feita por Rutherford em 1919, não sendo para isso utilizado o calor (6).

Contudo, o mais significativo se encontra na super-valorização da energia calorífica, o talismã, chave de recintos intransponíveis (há sempre a busca do interior oculto, típico do substancialismo). O intenso fetichismo sobre a energia é capaz de fazê-la assumir espaços antes delegados à vida.

"E' toda a Babel formidável do universo a se manifestar pelo movimento, pela luz, pelo calor, pela eletricidade, pelo magnetismo ! E qual será a mola mágica e oculta, capaz de desencadear toda esta série maravilhosa de fenômenos ? E' a energia." (Faccini, 1941, 3a. série: 18)

E em seguida o mesmo autor define:

"Energia é a entidade que não se vê, que não se tóca, mas que está claramente subentendida em todas as manifestações possíveis." (Ibid)

Sem esforço algum , o termo energia poderia ser substituído pelo termo Deus, não sendo necessário conferir maior fervor.

Por sua vez, impedindo a compreensão físico-química da catálise, constata-se o mesmo obstáculo animista incorporado à afinidade.

"O poder catalítico parece consistir, essencialmente, no fato de que certas substâncias são capazes de pôr em ação afinidades adormecidas, não pela sua própria afinidade, mas unicamente, pela sua presença." (Berzelius, citado por Brandão, livro didático da Reforma Campos: 341)

Concepções como essas bloqueavam qualquer processo de racionalização dos fatores que influenciam as reações, podendo eles ser encarados apenas como "verdadeiros excitantes da atividade reacional" (Simas Filho, 1953: 81).

Outros exemplos de animismo, ainda ligados a questão da

afinidade, encontramos na abordagem das substâncias ou elementos de baixa reatividade. Tais substâncias são ditas indiferentes ou "preguiçosas".

"O carbono liga-se de tal modo aos elementos que dificilmente os liberta, como acontece ao hidrogênio. Chama-se isso preguiça do carbono." (Faccini, 1941, 5a. série: 192)

Qual a real contribuição desse texto para o conhecimento científico do aluno relativo às ligações carbono-hidrogênio? Outros autores, tais como Amado (1961), salientam que é essa "indiferença" dos átomos de carbono por outros elementos que os fazem se ligar entre si. Desenvolve-se, portanto, o que podemos denominar categoria anímica da vontade: transpõe-se para os elementos a vontade de se ligar a este ou aquele elemento, vontade essa tipicamente humana, semelhante ao desejo sentido pelos alunos em ficar perto de um colega ou outro. E é a partir dessa semelhança que se pode conseguir uma fácil aceitação do conteúdo, nada se discutindo a respeito das razões físico-químicas da ligação química, tornando nula a aprendizagem.

Dado o caráter tipicamente pré-científico dos obstáculos animistas, seria de se esperar que houvesse maior incidência dos mesmos no período anterior a 1960, antes da inovação educacional e da entrada de conteúdos mais abstratos como estrutura atômica e ligações químicas. Contrariamente a isso, constatamos ser na década de 60 (na vigência das reformas LDB e 5692), principalmente após 68, que o animismo adquire maior força.

Como já tivemos oportunidade de abordar em IV e V.1, os obstáculos epistemológicos dos livros didáticos podem ser intrínsecos ao pensamento dos autores ou podem advir de uma explícita intenção didática. No caso do animismo, os obstáculos até aqui apresentados tendem a se incluir no primeiro tipo e são identificados nos livros da primeira fase.

Após 68, os obstáculos animistas não são mais fruto, necessariamente, da presença do pré-cientificismo na visão de ciência do autor do livro. Sendo intencionalmente utilizados, visam atingir o aluno, obter a "compreensão" dos conceitos, compreensão essa avaliada como a capacidade do aluno resolver exercícios objetivos. Com o crescimento da preocupação didática acaba-se por desenvolver o didatismo equivocado que visa a todo custo atrair e motivar os alunos.

A medida em que a abstração aumenta, exatamente pela entrada dos conteúdos da atomística mais moderna, a busca do real é mais forte. O professor quer tornar os conceitos acessíveis aos alunos, nem que para isso tenha de distorcê-los a ponto de nada mais terem em comum com a ciência. Com os recursos anímicos, exatamente pela ponte que eles permitem construir entre o conhecimento do aluno e o conhecimento científico, torna-se mais fácil a operacionalização de conceitos, sem nenhuma necessidade de entendimento. O animismo, por tornar banais os mais abstratos conteúdos científicos, os aproxima daquilo que o aluno já conhece - seu mundo. Não há nenhuma discussão mais ampla que a do senso

comum, logo em nada se avança dentro do conhecimento científico.

E muitas vezes, enquanto esforçados mestres repetem as metáforas dos livros, julgando com isso fazer da ciência algo de fácil entendimento, os alunos dela se afastam pois sentem a total falsidade do que lhes é ensinado.

Não poderia ser diferente se, após todas as teorias deste século sobre a ligação química, os livros didáticos ainda falam de amor entre os átomos - a eterna categoria da vontade.

A figura 2 ilustra bem o que tratamos.

O autor do livro introduz o capítulo de ligação química, de maneira aparentemente despretensiosa, com a cena de amor entre dois gnomos menores que um tubo de ensaio, sintomaticamente em meio à vidraria laboratorial.

A intenção parece ser a de introduzir o assunto com uma imagem agradável e divertida, um gracejo em meio à aridez das fórmulas químicas, nada que faça parte do conteúdo. Mas aí já se encontra embutida a concepção animista para a ligação química. Foi gratuita a escolha da cena de amor, exatamente para esse capítulo?

Colocações como essa, ao limbo da teoria propriamente dita, não são as mais comuns. Alguns autores após 60 fizeram do uso sistemático do animismo o principal recurso didático. São eles: Ricardo Feltre, Setsuo Yoshinaga, Antonio Lembo, Edegar Mateus e Antônio Sardella, os quais vêm produzindo livros de larga aceitação no mercado.

Em tais autores, quanto maior a abstração conceitual, a distância entre o real e o racional, maior a busca pela concretização animista. Por isso, os assuntos referentes à estrutura atômica e ligação química se encontram entre os que mais são obstaculizados pelo animismo.

Analisemos um primeiro exemplo (figura 3).

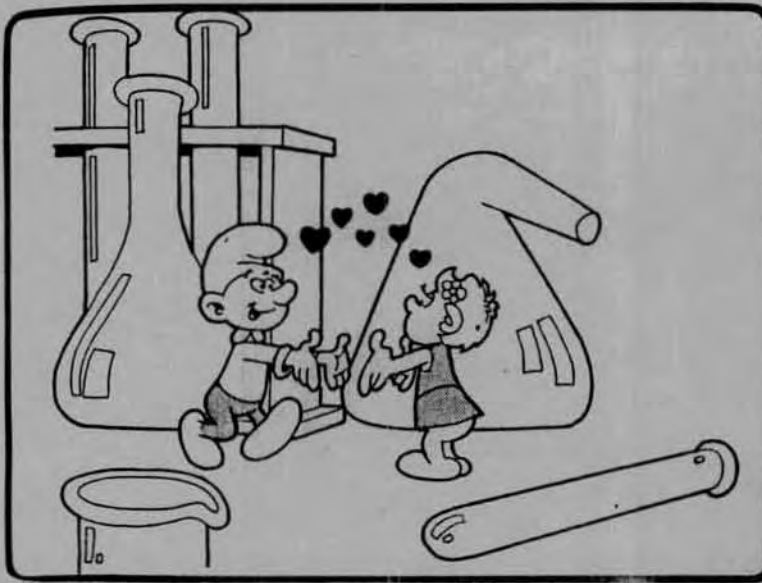
Como claramente os autores expressam, o objetivo é a **fixação** da regra do octeto. Outra coisa não se poderia esperar, já que não há desenvolvimento racional. Os bonequinhos chamam muito mais atenção dos alunos do que os modelos de camadas - os quais, ainda que limitados, são modelos racionais -, invertendo-se a ordem de prioridades. Além do mais, no modelo do átomo de cloro os autores chegam ao ponto de representar o espaço vago para mais um elétron, exatamente na mesma posição em que o elétron do sódio está colocado na última camada. Com isso, exacerba-se ao máximo o realismo e o caráter estático do modelo de camadas (voltaremos a essa questão em V.4.2).

Pelo desenho apenas podemos concluir que a ligação química existe para satisfazer átomos carentes, com toda a carga humana possível para tal conceito.

Igual artifício usam Lembo e Sardella (1978). A ligação química é essencialmente traduzida como a forma de resolver a "infelicidade" dos átomos. Afinal alguns não tiveram a boa sorte de "nascer" estáveis, com "bom aspecto", "nobres": ou lhes faltam elétrons ou têm elétrons incômodos. Vejamos nas páginas seguintes como os autores contam a história do "casamento" do sódio e do cloro (figuras 4 e 5).

Tudo se passa como se houvesse um grande acordo entre os átomos, mediado pela mãe Natureza, que, no dizer dos autores, é

Figura 2



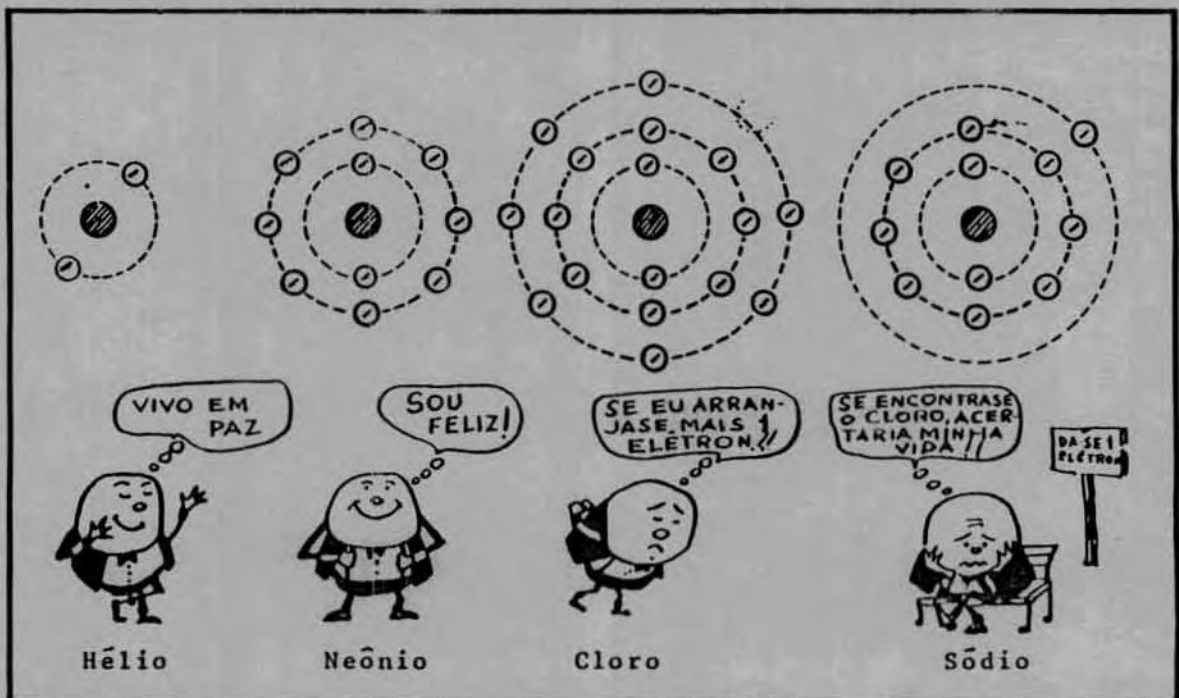
CAPÍTULO

4

Ligação
Química

Fonte: Braga & Silva, v. 1, 1982: 79

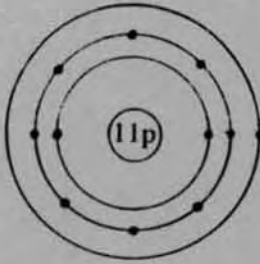
Figura 3



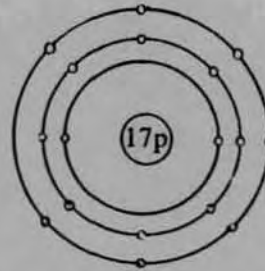
Fonte: Feltre & Setsuo, 1970: 194

Figura 4

Observe o exemplo:



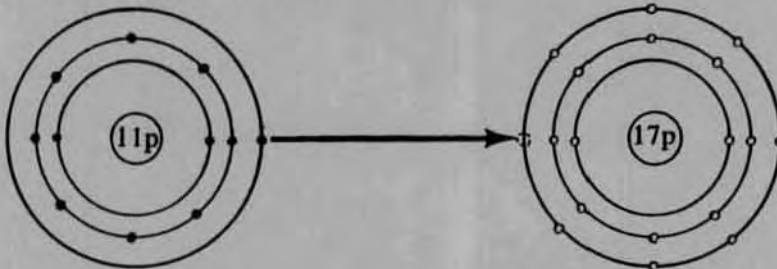
Oh sorte "madrasta"!
Se não fosse este elétron
na camada **M**, eu teria um
aspecto mais nobre.



Você se queixa?
Olhe a minha camada **M**!
Se eu tivesse mais um
elétron, também teria
melhor aspecto e seria estável.



Os dois discutem o assunto e descobrem que o sódio poderá ceder o seu elétron da camada M, e com isso a camada L passa a ser a última, com 8 elétrons. O cloro, por sua vez, recebendo esse elétron, ficará também com 8 na sua última camada.



Estou me livrando
daquele elétron incômodo!



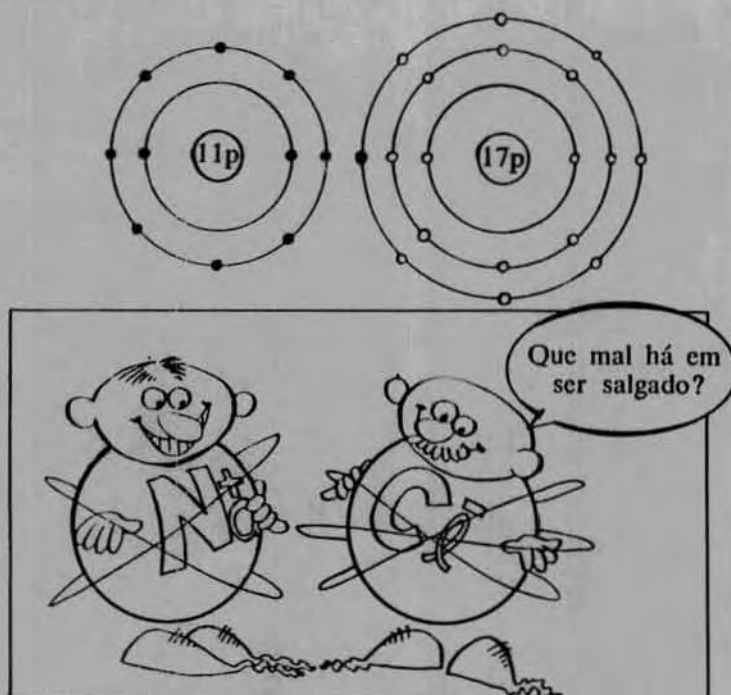
Obrigado, amigo,
eu estava mesmo precisando!



Fonte: Lembo & Sardella, 1978: 28

Figura 5

Como este é o preço pela aparência nobre e estável, ambos concordam, e temos então:

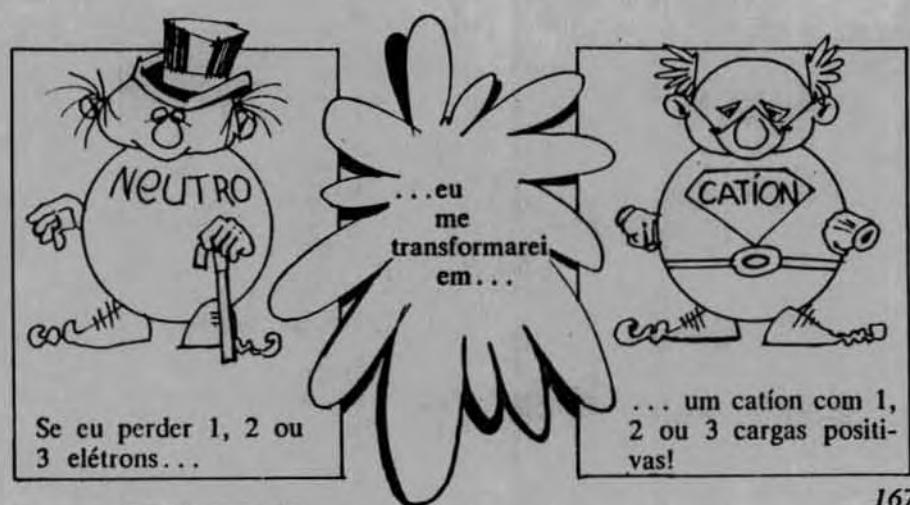


Pois é, meus amigos! Esta é a estória do "casamento" do sódio com o cloro, formando o cloreto de sódio, o nosso conhecido sal de cozinha.

Com essa estória quisemos que você tivesse uma idéia inicial de ligações químicas.

Fonte: Lembo & Sardella, 1978: 29

Figura 6



Fonte: Lembo & Sardella, 1978: 35

como toda mãe comum: gosta das coisas em ordem. Além de não haver nenhuma contribuição para o conhecimento da ligação química, ainda se cristalizam conceitos errados como os de supor que um único átomo de sódio e um único átomo de cloro formam o composto cloreto de sódio. Em verdade, juntos, eles não formam nada que possua algo perto de um sabor salgado.

Nesse desenvolvimento o octeto não é concebido como regra aplicável dentro de certos limites, mas como o ideal maior da "vida" de qualquer átomo. Não possuir os oito elétrons na última camada é no mínimo sinal de "desprestígio na sociedade atômica". Como afirmam Lembo e Sardella (1978) através do desenho de uma molécula de água "a vida com estabilidade é outra coisa" (p. 35).

Com os recursos animistas, as ligações são "explicadas" na base do empréstimo, da doação e do condomínio de elétrons (Feltre & Setsuo, 1970; Novais, 1983: 81). Os átomos se dividem entre os que gostam e os que não gostam de elétrons (Lembo & Sardella, 1987: 223), pois afinal "só ocorre ligação iônica quando se encontram um átomo com 'vontade de perder' elétrons e outro átomo com 'vontade de receber' elétrons." (Feltre, 1982, v. 1: 96)

Ao contrário dos gases nobres, os metais e os ametais são "os eternos insatisfeitos" (Nabuco & Barros, 1978: 184). Prontos a se transformarem em super-cátions (figura 6). Ou seja, tudo se resume em interesse, em qual átomo é ou não beneficiado por receber elétrons (Novais, 1983: 97), se há preferência ou não em permanecer isolado (Feltre, 1985, v. 1: 6): uma questão de afinidade ou vontade.

Pela figura 7 podemos constatar como a eletronegatividade, propriedade importante no desenvolvimento da teoria da ligação química, é ensinada. Mais uma vez nada se explica. O único objetivo parece ser constatar para onde o elétron está sendo atraído. Um elétron pontual e de posição plenamente definida. Os bonequinhos "suavizam" o conceito tornando tudo uma grande brincadeira onde o cloro, mais eletronegativo, chama para si o elétron do hidrogênio e fica tomando conta dele.

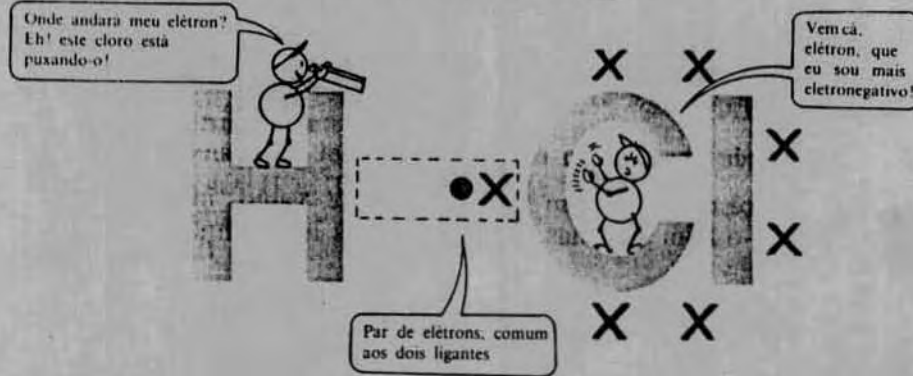
A explicação para a maior eletronegatividade do cloro frente ao hidrogênio é a de que ele tem maior número de elétrons na última camada, fazendo-se referência ao capítulo sobre classificação periódica, onde sobre essa estranha regra nada é explicado. Logo, diante de tamanha desrazão, resta ao aluno se compadecer da sorte do hidrogênio, que controlava seu elétron de binóculo e no final da história só pôde se irritar sozinho.

A crença nos aspectos didáticos do animismo é tão grande que, mesmo quando algum livro aborda a questão energética, buscando transmitir a ligação química por parâmetros racionais, não o faz sem lançar mão de recursos animistas. O pitoresco e banal se sobrepõe ao conhecimento científico (figura 8).

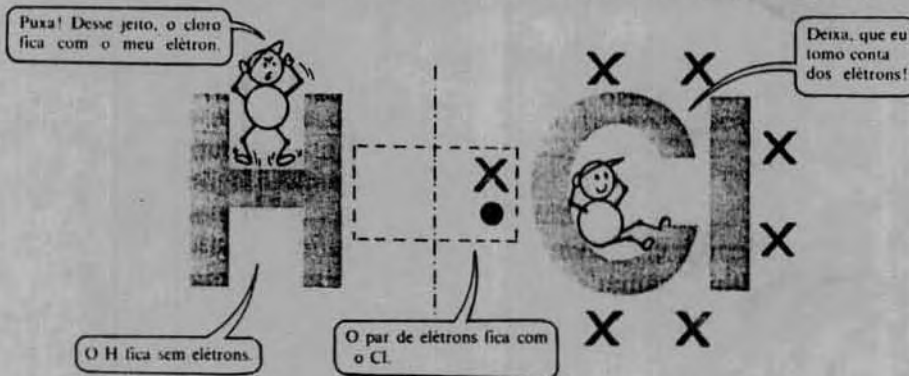
Tal ênfase no caráter meramente operacional da ligação química - montagem de fórmulas -, sem nenhuma possibilidade de compreensão mais profunda do processo, remete os alunos ao total desconhecimento de estrutura molecular. Esquema tão simplista obstaculiza a compreensão de compostos como: ICl , OF_2 , CO , NO , XeF_6 . E no entanto permitem a aceitação de espécies tais como:

Figura 7

Examinemos, agora, o caso da ligação covalente (carga aparente).
Suponhamos a estrutura da molécula HCl:



E, como você aprendeu na classificação periódica, o cloro é mais eletronegativo que o hidrogênio, porque tem mais elétrons na última camada. Conseqüentemente, o par de elétrons ficará mais próximo do cloro, de tal modo que, se você imaginar uma divisão da molécula ao meio, notará o seguinte: o hidrogênio perderá o seu elétron, adquirindo carga positiva, e o cloro ganhará esse elétron, adquirindo carga negativa.

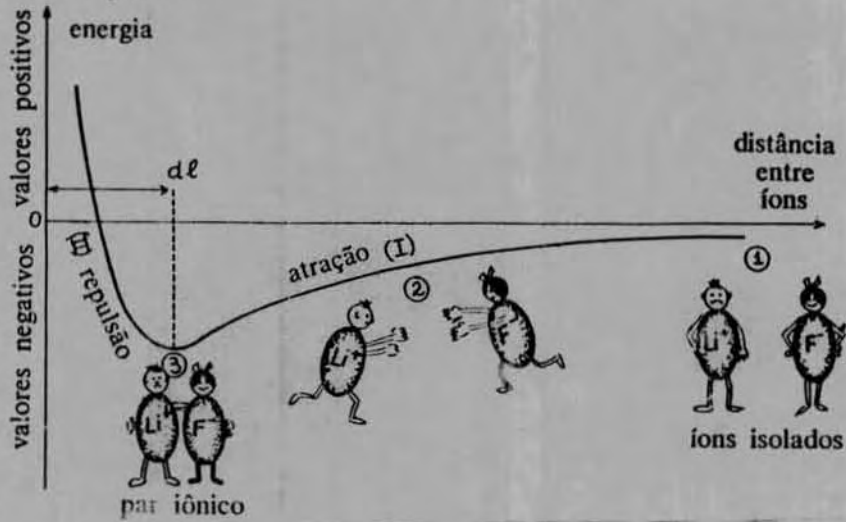


Fonte: Lembo & Sardella, 1978: 29

Figura 8

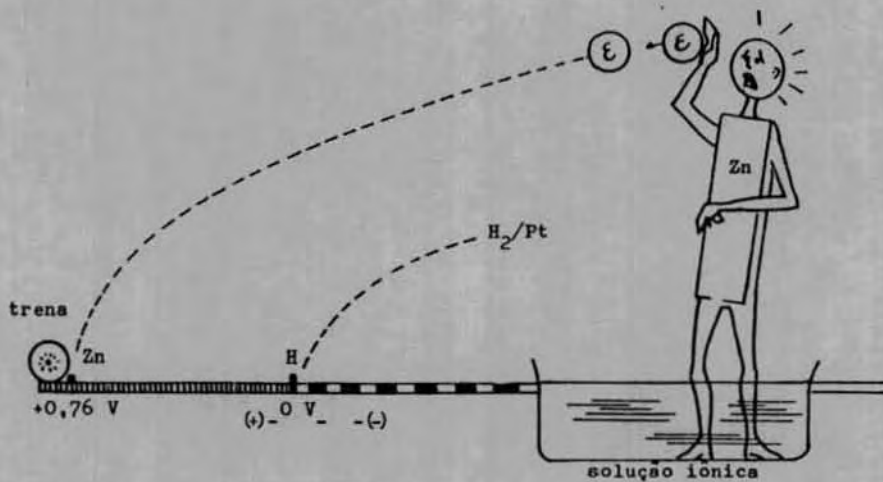
Um Diagrama Importante

Você poderá acompanhar a união entre um cátion e um ânion no diagrama seguinte:



Fonte: Lembo & Sardella, 1978: 171

Figura 9



Fonte: Feltre & Setsuo, 1968: 178

Pb 4+, Mn 7+, $\text{Fe}_2(\text{CO}_3)_3$, H_2SO_3 , H_2CO_3 , $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, todas coerentes com o princípio esquemático da ligação química, mas inexistentes quimicamente (7).

Dentro desses conceitos de ligação ainda há o caso de autores usarem como recurso explicativo a ideologia dominante: há sempre um preço social a ser pago pela estabilidade e pela nobreza, e, para os nossos livros didáticos, os átomos não se diferem dos homens nem quanto a esse aspecto.

"Como se portam as pessoas na sociedade ? Apresentam-se da melhor maneira possível, com o objetivo de conseguirem um bom emprego, um destaque social, enfim, uma certa estabilidade.

De modo semelhante, os átomos dos elementos que não são nobres querem ter um 'aspecto' de nobre, isto é, procuram ficar com aparência de gás nobre, ou, em última análise, pretendem adquirir estabilidade química." (Lembo & Sardella, 1987: 43)

Nenhuma lição química se extrai do texto e como lição de vida fica a visão de mundo dos autores: para se subir na vida, quem não é nobre, ao menos tem que aparentar nobreza (8).

A extensão da categoria da vontade se encontra na discussão sobre atração e repulsão de elétrons nos processos eletroquímicos. Neste tópico, novamente as propriedades coletivas são transpostas sem mais ver para os átomos isolados, sendo a atração ainda tratada como afetiva ou sexual: os átomos têm ou não vontade de perder elétrons, não havendo nenhuma distinção entre essa "vontade" aqui desenvolvida e a "vontade" relacionada com a ligação química, ficando nos alunos a idéia de que a atração por elétrons de um átomo de prata é igual a atração por elétrons da substância prata.

Entre os exemplos mais significativos temos:

"A prata (Ag) não tem, pois, possibilidade de entregar elétrons aos cátions cobre (Cu^{++}); isto é, não poderá haver (ao menos espontaneamente) inversão da sequência acima exposta, já que os elétrons 'preferem' ficar na prata, onde a configuração eletrônica é mais estável do que seria no metal cobre." (Feltre, 1976: 305)

Além do autor reforçar a categoria da vontade, comete o erro conceitual de associar a maior atração da prata por elétrons com o fornecimento de configuração eletrônica mais estável do que no cobre - como quem oferece melhor posição na vida. Desprezam-se todos os aspectos associados ao processo eletroquímico - energia de ionização, energia de hidratação, afinidade eletrônica -, os

eletrônica -, os quais compõem o Ciclo de Born-Haber, indicador do saldo de energia do processo. Ademais, se a questão dependesse da configuração eletrônica, não haveria diferença, já que prata e cobre são metais do mesmo grupo, possuindo no último nível a mesma configuração ($d^{10} s^1$). Na busca de explicação fácil, o autor apenas conseguiu uma explicação errada.

E como em eletroquímica o conceito de potencial sugere a idéia de força, constantemente são utilizados os termos "empurrar", "puxar", "soltar" ou "capturar" elétrons.

"Na verdade, o Zn 'empurra' o elétron com um potencial de 0.76 e o Fe $2+$ reage com 0.44 V. Então os elétrons caminham do Zn para Fe $2+$ com $V = + 0.32$ V." (Feltre & Setsuo, 1968: 162)

"Os íons positivos 'sugam' os elétrons no cátodo enquanto os íons negativos dirigem-se ao ânodo para que os seus elétrons sejam 'roubados'." (Feltre & Setsuo, 1968: 171)

Os íons são dotados de intencionalidade, e a noção de potencial é encarada como a força com que o metal empurra os elétrons. A fila de tensões eletrolíticas torna-se, então, um verdadeiro "concurso" de quem atira melhor os elétrons (ver figura 9).

Para outro livro, a reação entre zinco e íons cobre II deve ser considerada como um "acordo" entre as espécies: o zinco fica "bem" sem os elétrons e o cobre "descansa" na placa (ver figura 10).

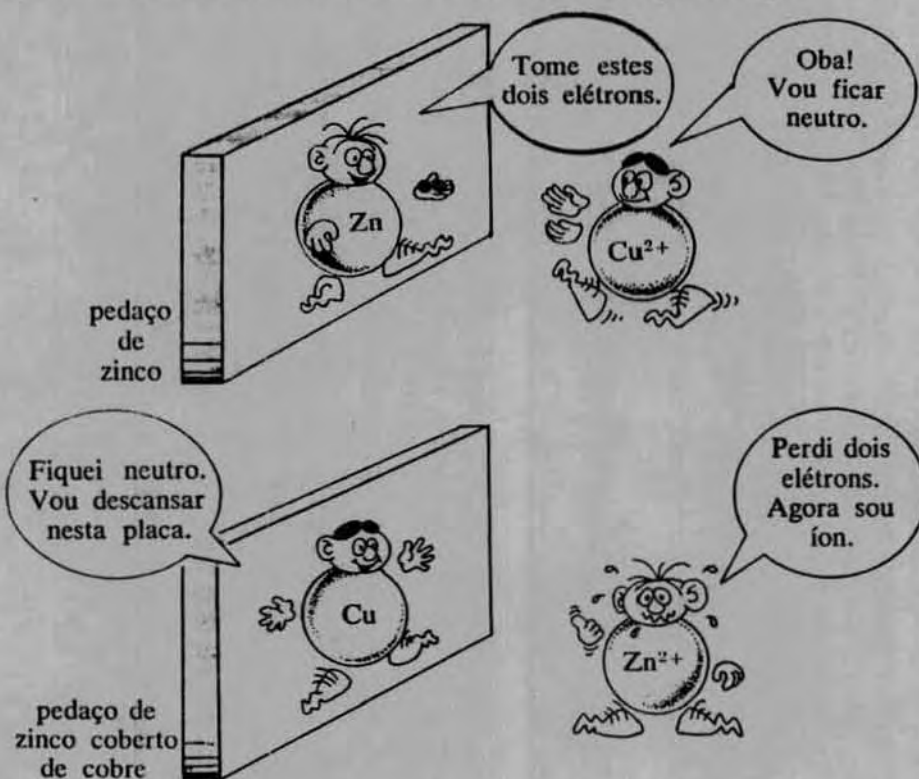
Por sua vez, no estudo da condutividade das soluções eletrolíticas encontramos expressões como: "os elétrons não sabem nadar" (Feltre & Setsuo, 1968: 169). Nada mais que uma frase de apelo fácil, memorização automática, buscando evitar que o aluno confunda a corrente elétrica no fio e o fluxo de íons carregados na solução eletrolisada. Nada se aprende com isso e sobre a corrente elétrica ainda se fornece a informação errada de que "os elétrons caminham no sentido oposto da corrente, através das faixas eletrônicas" (Feltre & Setsuo, 1968: 169, grifo nosso).

O sentido da corrente não passa de uma convenção: possui o sentido oposto ao fluxo dos elétrons. Por outro lado, o que são faixas eletrônicas? Elétrons não caminham e se o autor pretendia desenvolver algo próximo de uma teoria das bandas eletrônicas, muito acima do nível secundário, não poderia fazê-lo de forma tão fortuita, sem qualquer desenvolvimento mais profundo.

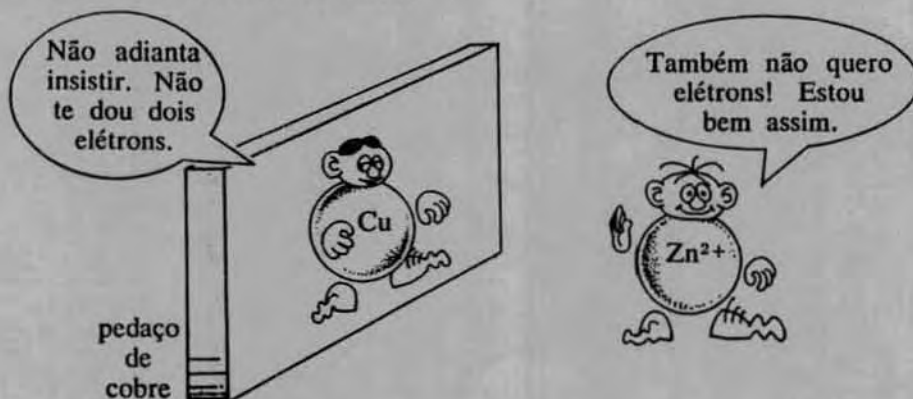
Nas discussões de teoria ácido-base, também os obstáculos animistas se farão presentes: novamente há que se discutir maior ou menor atração, agora por prótons, e não se racionaliza o processo devidamente. Para "explicar" a auto-protólise da água, Feltre & Setsuo (1968) afirmam que a água possui dupla "personalidade": a de ser ácido ou base. Mais uma vez vemos comprovada a tendência dos autores conferirem caráter

Figura 10

O zinco metálico cedeu ao Cu^{2+} dois elétrons, de modo que o íon Cu^{2+} se converteu em cobre metálico Cu ; e o zinco, ao ceder os elétrons, se transformou em íon Zn^{2+} . Com isso, o cobre metálico formado se depositou no pedaço de zinco e os íons Zn^{2+} passaram para a água.



Se você inverter o processo, isto é, colocar um pedaço de cobre em água contendo sulfato de zinco (Zn) dissolvido, verá que o pedaço de cobre não vai ficar recoberto de zinco:



Fonte: Lembo & Sardella, 1978: 272

humano às substâncias químicas, sendo a propriedade ou função química considerada como a personalidade da substância. Não fosse assim um dos autores não utilizaria a mesma expressão animista em outro assunto:

"(...) a ressonância 'despersonaliza' a dupla carbonílica e faz com que os ácidos percam as propriedades químicas dos aldeídos e cetonas."
(Feltre, 1985, v. 3: 158)

E como o animismo tem por propósito, muitas vezes, conferir graça ao conteúdo abordado, certos autores abusam dos desenhos sarcásticos sem se darem conta dos profundos erros que introduzem (ver figura 11).

Transferência de prótons feita em frascos separados ? Com que esse desenho de graça discutível contribui para o desenvolvimento da teoria ácido-base ?

No decorrer do capítulo os autores não utilizam analogias animistas, reforçando ainda mais a idéia de que o desenho inicial tem apenas a conotação de gracejo. Mas o que permanecerá por mais tempo na mente do aluno: os conteúdos desenvolvidos posteriormente ou a imagem inicial, totalmente anti-científica ? Certamente a imagem, de apelo direto e acomodação mais acessível.

Não menos perniciosa é a representação do processo de protonação da água pelo ácido clorídrico, feita por Lembo e Sardella (1978, ver figura 12).

Os primeiros equívocos residem nos autores denominarem o processo descrito de "experiência", quando não passa de uma simples colocação do ácido em água, e afirmarem que o mesmo permite alcançar as conclusões teóricas apresentadas: formação de hidrônio. Em segundo lugar, o animismo não estabelece qualquer possibilidade de desenvolvimento teórico sobre o assunto: a liberação do íon H^+ é traduzida como perda, algo ruim para o pobre íon cloreto e por sua vez, o H^+ recebido pela água é sinalizado como algo de valor. Os termos ganhar e perder são utilizados exatamente no mesmo contexto do senso comum e, conseqüentemente, o processo de protonação é identificado como simples doação de um objeto.

Também no exemplar de Sardella e Mateus (1979), a doação é o único aspecto enfatizado: o H^+ não passa de um acessório, doado pelo cloreto e carregado pela água (ver figura 13).

Mais adiante, no livro de Lembo e Sardella (1978), outros bonequinhos apresentam o que seriam as propriedades dos íons hidroxila (ver figura 14). Sabor adstringente, condutibilidade elétrica e ação sobre indicadores são apresentados como propriedades das bases em razão da existência de hidroxilas. Não se ressalva se a consideração é feita para solução aquosa ou não, nem tampouco se atenta para o erro de que a condutibilidade elétrica depende da presença de íons, sejam eles quais forem. A atração por espécies positivas é traduzida pelo termo gostar e a união com o H^+ é uma questão de necessidade. O intuito parece ser muito mais o de destacar as

Figura 11



CAPÍTULO

5

Ácidos e
Bases
Orgânicas

Fonte: Braga & Silva, v. 3, 1982: 166

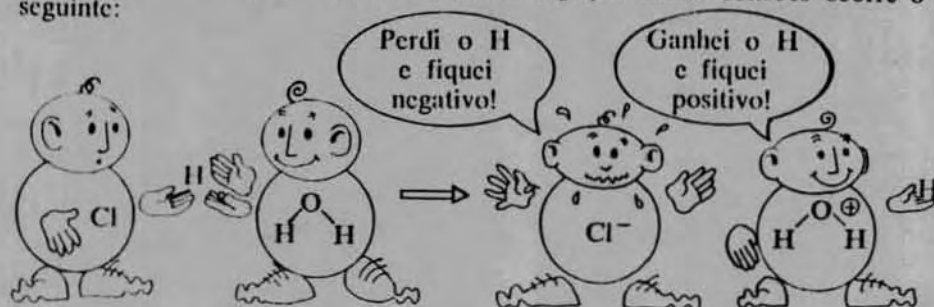
Figura 12

1.ª experiência:



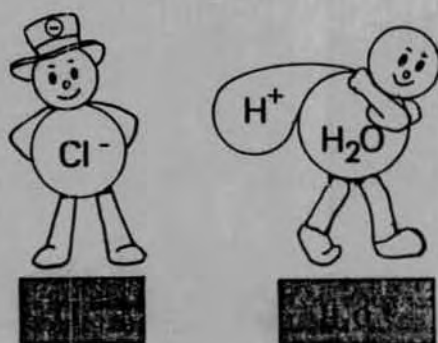
Primeiramente, consideremos a substância gás clorídrico, que apresenta molécula HCl , e vejamos o que ocorre quando misturada com água (H_2O).

Imagine num recipiente com água as moléculas H_2O em constante movimento. Quando você adiciona o gás clorídrico a essa água, as moléculas HCl do gás vão colidir com as moléculas H_2O , e dessas colisões ocorre o seguinte:



Fonte: Lembo & Sardella, 1978: 214

Figura 13



A molécula HCl , perdendo um cátion H^+ , se reduz a um ânion Cl^- , e a molécula H_2O , ganhando um cátion H^+ , se transforma em H_3O^+ (cátion hidrônio).

Fonte: Sardella & Mateus, 1979: 165

Figura 14



Fonte: Lembo & Sardella, 1978: 248—249

Figura 15



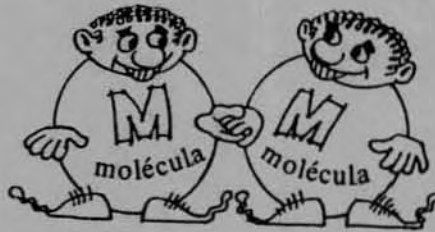
Este fenômeno é chamado **isotopia**.

Fonte: Lembo & Sardella, 1978: 19

Figura 16

Ligações intermoleculares

Estes tipos de ligações, como o nome indica, ocorrem entre **moléculas**.



Se, numa substância, as moléculas se unem fortemente, o que acontece?



É muito difícil separá-las, não é verdade?

Fonte: Lembo & Sardella, 1981: 14

informações que deverão ser memorizadas pelos alunos, pois nem um princípio de explicação sobre o assunto é desenvolvido. Se ao aluno fosse perguntado, após a leitura dessas páginas, por que os indicadores mudam de cor pela presença de hidroxila, sua resposta apenas poderia ser: "porque elas são incríveis".

Infelizmente, também junto a conteúdos onde não se coaduna a discussão acerca da afinidade, os obstáculos animistas estão presentes. O objetivo é sempre o mesmo: fornecer imagens vazias de sentido químico, mas caras ao espírito não questionador. Um exemplo é a péssima analogia que encontramos, referente à isotopia:

"São irmãos gêmeos, mas um deles é 'mais gordinho', isto é, tem mais massa. Logo, não são iguais, são isótopos." (Sardella & Mateus, 1979: 18)

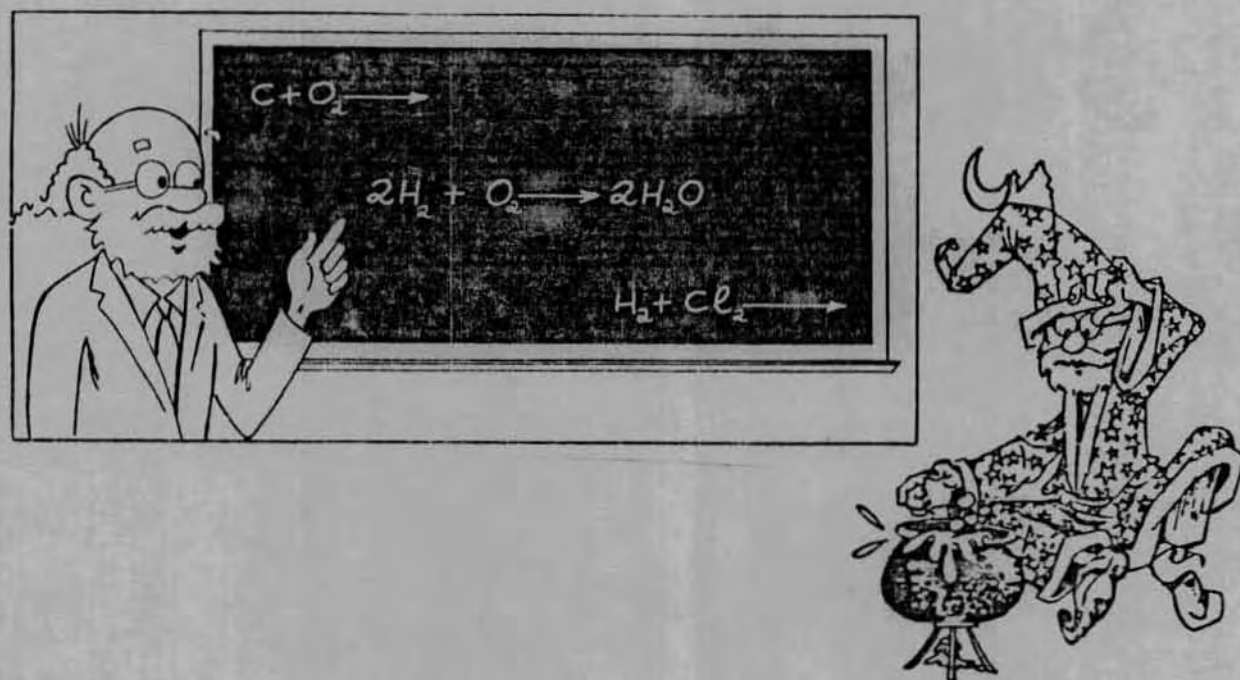
Dentro da mesma linha, os isóbaros são aqueles que não são irmãos, mas têm a mesma massa. Os desenhos "ilustrativos" não poderiam faltar (ver figura 15). Relacionando a maior massa com gordura e a semelhança entre os elementos com fraternidade, em nada desenvolve o pensamento científico do aluno a respeito da isotopia. No máximo haverá a memorização compulsória do conceito, ao qual é dado um sentido meramente classificatório. Por que classificamos os átomos em isótopos e isóbaros não é discutido, tornando desnecessária, inclusive, a colocação do conceito.

Igualmente na discussão sobre interações intermoleculares, assunto tão importante e tão desprezado, o animismo desvirtua o caráter científico (ver figura 16). As moléculas com interações fracas são representadas como se apenas estivessem de mãos dadas e as moléculas com interações fortes são representadas com algemas (e um ar tristonho no rosto). Tais imagens encontram refúgio certo no inconsciente dos alunos, obstaculizando o pensamento racional e, o que é ainda pior, transmitindo a falsa idéia de aprendizagem.

Todas essas cómodas imagens apresentadas já provocam inúmeros malefícios quando construídas pelo próprio aluno, buscando acomodar o conhecimento desconexo a sua razão. É o caso que acontece no ensino de racionalização mal-feita, incapaz de fornecer razões para o aluno modificar a sua razão e aprender. Contudo, mais prejudiciais tais imagens se tornam quando são apresentadas pelo próprio livro. O livro e o professor-autor são detentores de certo poder social; a palavra escrita, ainda mais a palavra do mestre, adquire estatuto de verdade pelo simples fato de estar registrada e publicada. Por conseguinte, os obstáculos animistas apresentados ganham credibilidade junto aos alunos, constituindo um conjunto de idéias pseudo-científicas.

Porém, em meio a todos recursos animistas, os autores dos livros se revelam: dentro deles não há o cientista nem o educador, mas o bruxo, o misturador de poções em um caldeirão de metáforas. A figura do professor que apontava no decorrer do livro os pontos mais importantes, em dado momento mostra seu verdadeiro ofício, se apresenta como realmente é, como atestam as

figuras abaixo:



Fonte: Lembo & Sardella, 1978: 208 e 148

E aos alunos, aprendizes de feiticeiro, resta apenas o desconhecimento.

V.4.2 - Obstáculo Realista

Para Bachelard (FES), o realismo é a única filosofia inata, aquela que orienta o pensamento do senso comum, sendo capaz de constituir a ciência do geral, do superficial.

O realista supervaloriza suas impressões tácteis e visuais, lidando com o objeto com a voracidade do homem faminto frente ao alimento. Seus olhos e suas mãos digerem o objeto, fazendo dele a razão de ser do conhecimento. De tal forma, não ultrapassam o dado imediato e concreto, o conhecimento de primeira instância. A razão do realista não encontra espaço para se aplicar, pois todo seu ser resiste à abstração.

Não se deve concluir daí que, no universo bachelardiano, o conhecimento se situa oculto no objeto, a verdade estando no inexplorado, já que não se situa no evidente.

Sem dúvida o conhecimento científico é um conhecimento de segunda aproximação, mas, como já tivemos oportunidade de observar em II, não se encontra pronto na natureza, aguardando o momento da revelação. Trata-se, ao contrário, de uma construção exigindo a aplicação da razão à técnica, portanto não estando oculto, já que é fruto de constante processo de elaboração. O conhecimento não está no objeto, mas se produz por consecutivas retificações dos dados primeiros.

Para o realismo, sim, o melhor e o de mais valor é o mais oculto. Por isso há supervalorização do objeto por parte do realista: nele se encerra o conhecimento, o qual precisa apenas ser apreendido.

Diferencia-se, assim, o realismo ingênuo, imediato, associado ao conhecimento comum, do realismo construído, próprio do materialismo técnico da ciência.

"O materialismo técnico corresponde essencialmente a uma realidade transformada, a uma realidade retificada, a uma realidade que precisamente recebeu a marca humana por excelência, a marca do racionalismo."
(Bachelard, RA, 1975: 8, tradução própria)

Exatamente por se mostrar refratário à marca humana racional, o realismo se constitui em obstáculo ao desenvolvimento do conhecimento científico. Mantendo o pensamento preso ao dado primeiro, o realismo bloqueia as retificações que compõem a essência mesma da construção científica. Por outro lado, tende a superpor metáforas realistas quando diante do conhecimento abstrato. Se não lhe é fadado o direito de tocar com as mãos o objeto, ao menos deseja ele constituir imagens que permitam aos seus olhos ver o fato. E nesse processo o realista distorce o real construído em nome do real factual.

Tal perfil se apresenta nítido nas discussões da mecânica quântica. Diante dela os realistas desprezam a organização matemática e tornam concretas às mãos e aos olhos

concepções que possuem concretude racional. Os objetos da microfísica são traduzidos como corpúsculos; na constante tentativa de enxergar o mundo submicroscópico, transpõe-se para ele as propriedades do macromundo.

Como afirma Bachelard (ET) acerca do objeto subatômico:

"Preso em seu papel físico, ele é antes um meio de análise que um objeto para o conhecimento empírico. Um pretexto de pensamento, não um mundo a explorar." (p. 13, tradução própria)

É exatamente a compreensão do novo caráter do objeto que se nega o realista: para ele, moléculas e bolas de bilhar, elétrons e bastões de âmbar eletrizados possuem a mesma natureza física, são tratados com a mesma tessitura epistemológica.

O realista não aceita as imagens da física quântica como provisórias, nem tampouco compreende a necessidade de proceder sua leitura matemática, negando seu estatuto racional e experimental nítido.

No ensino, o realismo adquire aspectos ainda mais perniciosos, na medida em que o aluno já possui por si só a tendência realista, a qual, não sendo questionada, se cristaliza de forma indelével.

Assumindo dupla conotação, o realismo ora se apresenta enquanto concepção científica dos mestres, ora enquanto estratégia pedagógica. O primeiro caso assume contornos precisos na química, como já tratamos em II. Os químicos possuem acentuado perfil realista e transmitem sua ânsia de concretização na exposição de modelos e teorias científicas.

No segundo caso, menosprezando a capacidade de abstração do aluno, o professor pretensamente explica através de metáforas realistas, de aceitação fácil por procederem a união conhecimento comum-conhecimento científico. Tais metáforas podem ser na forma de analogias verbais ou de ilustrações: imagens capazes de satisfazer a necessidade do aluno ver. E como já tratamos em V.4.1, também podem se associar diretamente ao animismo.

A respeito do ensino sobre o carbono tetraédrico nos livros didáticos, Bachelard (MR) se manifesta sobre as imagens de maneira que bem pode ser estendida aos demais tópicos do programa.

"As figuras dos livros elementares são, a esse respeito, muito enganosas. Elas utilizam brutalmente, grosseiramente, falseadamente, a noção de forma. Opera-se como se a forma fosse um absoluto, como se a forma fosse palpável e visível, objetiva a todos os níveis, como se fosse possível conhecer por descrição." (p. 118, tradução própria)

Apresentar conceitos racionais como formas a serem descritas é então a grande estratégia pedagógica do realista, que com isso apenas transmite o engano e o equívoco.

Dentro da concepção realista, conhecer um objeto é poder descrevê-lo, apresentar suas propriedades, encaradas como fundamentalmente intrínsecas ao objeto. Por extensão, enfatiza-se o olhar como sentido humano mais importante, o olhar que permite a percepção superficial, considerada por si só como conhecimento.

"O físico vai mais longe em sua tarefa de esquematismo e simplificação: ele tenta reduzir a experiência à comparação visual. Não mais que um efeito de todos os nossos sentidos, a vista é a mais segura, a mais rápida, a mais precisa, a mais positiva. Os outros sentidos são mais subjetivos. Provar a objetividade de um fenômeno, é finalmente visualizá-lo, é mostrar ou demonstrar."
(Bachelard, ECA, 1987: 58, tradução própria)

Tudo isso acontece porque o realista sofre o mal da generalização apressada, inadequada. Em sua ânsia de formular leis gerais para diferentes fenômenos, procede apenas se apoiando sobre os dados dos sentidos. E a descrição do aspecto geral mascara e obstaculiza a compreensão dos aspectos matemáticos dos fenômenos.

Em vista disso, argumentar em favor das imagens, fazendo referência à incapacidade dos alunos do segundo grau para abstrair, é equivocado. Ensinar ciência, como já tratamos em IV, não é tarefa fácil que consista em tornar acessíveis aos alunos os conceitos científicos: ao contrário, precisamos desenvolver o raciocínio de forma a empreender mudanças na cultura do aprendiz. Não obstante, se determinados conceitos exigem excessiva abstração o melhor é que não sejam desenvolvidos, ao invés de fazê-lo de maneira tosca e distorcida.

Esse é o caso de certos aspectos da mecânica quântica, os quais, para serem compreendidos devidamente necessitam de conceitos matemáticos e físicos que ultrapassam os limites do segundo grau.

Nos livros didáticos anteriores a 60 é mais acentuado o realismo enquanto concepção científica dos autores. Conforme foi colocado na discussão do animismo, há maior influência do pré-cientificismo.

O indicativo para tal encontra-se no primado do descritivismo: para o realista, descrever constitui conhecer. Quase 65 % (9) do conteúdo dos livros da Reforma Campos se refere à mera enunciação de propriedades das substâncias e métodos de obtenção. A teoria é apresentada desconectada dos fatos. Na Reforma Capanema o descritivismo diminui, mas ainda assume na

primeira série cerca de 45 % do total de conteúdos, reduzindo-se para 20 % na terceira série (10).

Após 60, o descritivismo perdeu sua força, como já tratamos em V.1, mas ainda permanece a identificação de uma substância traduzida como mero reconhecimento de características. Como afirmamos em II.1, reconhece-se sem sequer conhecer devidamente.

"Nós reconhecemos que uma substância é pura (...) pelas propriedades que a substância nos apresenta.

Façamos uma comparação. Como nós reconhecemos, na rua, uma conhecida ou um parente ? Evidentemente pelas características dessa pessoa como sexo, estatura, fisionomia, cor da pele, cor dos olhos, etc.

Analogamente, nós reconhecemos uma substância química por suas propriedades características como cor, brilho, cheiro, etc." (Feltre & Setsuo, 1969: 87)

Constata-se por esse texto que a descrição da substância é encarada da mesma maneira que a identificação de pessoas e objetos na nossa vida diária, estabelecendo-se assim a continuidade com o senso comum. A mesma continuidade se apresenta quando os autores se referem ao trabalho do químico na organização dos materiais a sua volta como sendo igual ao do funcionário organizando os papéis de um escritório desarrumado. A técnica e a teoria que viabilizam a identificação simplesmente são omitidas, como se fosse possível qualquer pessoa identificar dada substância pelo mero reconhecimento de algumas características.

Coerentemente com a acentuada presença do realismo-descriativismo até 60, os aspectos da Físico-Química são os menos explorados nos livros didáticos. Afinal a matematização é pouco desenvolvida. Nos livros da Reforma Campos, a Físico-Química sequer é incluída como subdivisão da química. Tem-se a química descritiva (englobando química orgânica e química inorgânica) e química geral enfocando as chamadas grandes teorias da química, desde atomística até princípios de físico-química.

Os obstáculos realistas se apresentam, portanto, na medida em que o racionalismo é pouco desenvolvido. Assim, configuram-se generalizações precipitadas, imagens concretas para raciocínios abstratos e transferência para o desconhecido de propriedades e características do que é próximo e conhecido, efetuando-se a ponte entre conhecimento comum e conhecimento científico. E na maioria das vezes as imagens são utilizadas sem se ressaltar que se trata de uma analogia, pois no fundo o autor assim não as considera.

Exemplo significativo da obstaculização realista encontra-se em Camargo e Saffioti (1958), quando fazem referência à teoria de Von Helmholtz para a origem de carga elétrica nas partículas coloidais: seria ela resultante do atrito entre a

partícula coloidal e o meio de dispersão. Nesse caso, a idéia conhecida e já previamente aceita na mente do cientista - eletrização por atrito - é transportada sem maior discussão para o sistema químico. As partículas coloidais teriam a mesma capacidade de se atritarem nas moléculas do dispersante que tem o âmbar de ser atritado por nós à pele de carneiro. Impõe-se a linearidade entre o macromundo e o micromundo, bloqueando a compreensão do processo de adsorção de íons pelas partículas coloidais.

No exemplo acima, claramente se transmite a visão dos autores concordando com Von Helmholtz. Não se trata do desenvolvimento de uma analogia, mas a exposição teórica de uma generalização mal-feita.

Nos livros didáticos após 60 mais freqüentemente se encontrará o segundo tipo de obstáculo, onde diferentemente do exemplo dado, o realismo aparece enquanto estratégia didática dos autores, da mesma maneira que fazem com o animismo. E, pelo uso sistemático e descuidado dessa estratégia, os problemas se avolumam.

Para a explicação da condutividade em metais, Feltre e Setsuo (1970) utilizam a analogia com a avenida engarrafada. Assim como no engarrafamento há dificuldade para o trânsito de automóveis, em faixas eletrônicas lotadas há dificuldade para movimentação dos elétrons. Com a mesma analogia os autores seguem desenvolvendo tópicos sobre condutores e semi-condutores. O primeiro questionamento que se faz é: o que esse realismo explica, tratando os elétrons como partículas que buscam "buracos" para se alojar? Em segundo lugar, por que tratar esse assunto ao nível de segundo grau, quando ele exige conhecimentos de mecânica quântica só desenvolvidos no ensino avançado?

Esses e outros exemplos caracterizam a fragilidade das imagens realistas. O que se aprende pela comparação de compostos isômeros com irmãos gêmeos (Sardella & Mateus, 1983)? A isomeria nem se encontra entre os assuntos mais abstratos, até porque, infelizmente, dela os livros extraem preferencialmente os aspectos esquemáticos. Qual então a necessidade de promover essa comparação, senão com o intuito de estabelecer falso continuísmo entre o senso comum e a ciência?

Outro exemplo onde a ingenuidade realista é patente se encontra na definição de energia por Lembo e Sardella (1987). Ao lado da figura do gesto da mão próxima à vela há o texto:

"Energia é tudo aquilo que pode modificar a matéria, provocar ou anular movimentos e, ainda, causar sensações." (p. 19)

A mão se aproximando da vela "identifica" a energia calorífica e a nossa visão "identifica" a energia luminosa. Reduz-se a energia com isso às sensações visuais e tácteis, mantendo sua compreensão à flor da pele e portanto, imersa em imagens aliciantes.

Trata-se de definição que nada acrescenta ao conhecimento do aluno, pois a idéia expressa já se encontra em

sua cultura cotidiana, a qual projetará sombra sobre concepções empiristas e racionalistas possivelmente desenvolvidas no ensino de física.

Aos exemplos gerais apresentados somam-se muitos outros, indicando o domínio dos obstáculos realistas no ensino de química. Para que a discussão se fizesse frutífera, escolhemos alguns temas para serem analisados mais detidamente. O critério de escolha foi a predominância de obstáculos realistas. Os temas escolhidos foram:

- unidades químicas de massa;
- dissolução;
- colisões moleculares;
- energia de ativação;
- equilíbrio químico;
- potencial de eletrodo;
- estrutura atômica;
- princípios da mecânica quântica.

Podemos notar que esses assuntos envolvem maior abstração e exatamente por isso são facilmente obstaculizados por metáforas realistas.

Nos livros da Reforma Campos, as unidades químicas de massa eram abordadas dentro de princípios empiristas. Constava do programa oficial da 4a. série (atual 2a. série do segundo grau) a apresentação dos métodos de determinação dos pesos atômicos e moleculares, algumas vezes precedidos inclusive de alguma discussão histórica sobre o assunto. Com isso a idéia de proporcionalidade tornava-se mais clara e o assunto não se esvaziava, restrito a algumas definições.

Já no período da Reforma Capanema, os métodos de determinação das massas atômicos e moleculares saíram do programa oficial, fazendo com que alguns autores passassem a tratar o assunto pelo conceito "quantas vezes o átomo ou molécula é mais pesado que a unidade de massa atômica". Alguns autores como Ferreira (1953) e Borzani (1960) continuaram apresentando o tema, talvez por se tratarem de livros fora do convencional (11), não se detendo em demasia no programa oficial.

Essa abordagem mista se estende pelo período da LDB, quando ainda é possível encontrar livros tratando os pesos atômicos e moleculares basicamente pelos aspectos empíricos (Saffioti, 1968).

Considerando a existência de um processo evolutivo na literatura didática, seria de se esperar que no período mais recente o assunto fosse tratado ainda mais detidamente, desenvolvendo o lado racional associado ao empírico. No entanto, o que se constata é o tratamento das unidades químicas de massa baseado no mascaramento da ruptura conhecimento comum-conhecimento científico. A noção de massa atômica dos químicos é ensinada como extensão da pesada na balança do mercado e a contagem de moléculas e átomos é associada a contagem de objetos macroscópicos.

Para Novais (1983), a dificuldade de contarmos moléculas e átomos está no fato de não serem visíveis: o que é acessível aos olhos certamente tem de ser acessível às mãos. Se a contagem de grãos de areia já é difícil, como proceder com entidades submicroscópicas? Não se discute a exatidão necessária (e existente) na contagem de moléculas e átomos, a qual não tem sentido existir para grãos de areia. Nem tampouco se desenvolve no aluno a noção de que constantes como o número de Avogadro são originárias de raciocínios que rompem com o simples ato de contar.

Os pequeníssimos grãos de areia podem até ser contáveis, em extremo esforço, mas esse esforço será completamente desnecessário. Por outro lado, não contamos átomos e moléculas, mas calculamos seu número.

A similaridade com o trabalho da balança é levado ao limite máximo por autores como Camargo (1973), Feltre e Setsuo (1969), Lembo e Sardella (1978 e 1987), Sardella e Mateus (1983) e Matsui et alii (1987, v. 1). Todos são unânimes no tratamento através de ilustrações como as figuras 1 a 6.

O conceito é esvaziado de seu conteúdo racional, transformando as unidades químicas em pesos de feira, como se o objetivo das massas atômicas e das massas moleculares fosse o de fornecer indiretamente as massas de átomos e de moléculas. Sem se discutir historicamente a questão, não se depreende dela o que há de mais importante: a compreensão de que um químico pode efetuar inúmeros cálculos sem conhecer as massas absolutas das partículas com as quais trabalha, exemplo significativo do coletivo se sobrepondo ao unitário.

A "balança imaginária" obstaculiza a compreensão dos cálculos químicos, os quais, afinal, são o objetivo maior desse aprendizado. Não é de se estranhar que os alunos sintam tanta dificuldade com esse assunto, visto que ele não é problematizado devidamente, sendo ensinado visando à operacionalização gratuita.

Na discussão sobre o processo de dissolução encontramos igualmente muitos exemplos de obstáculos oriundos do realismo ingênuo. Já que não é possível ver o processo, as imagens realistas afloram, impedindo a racionalização.

Marciano (1947) considera a solubilização como verdadeira fusão: afinal, ambos os processos são endotérmicos. Décourt (1951) afirma que a dissolução de um sólido é endotérmica porque se trata de um caso de fusão, pela passagem de sólido a líquido. E Amado (1961) coloca como semelhantes os processos de fusão e de solubilização. Mais uma vez se apresenta uma conclusão errada como consequência da generalização precipitada. É feita a comparação do conhecido - fusão - com o desconhecido - dissolução - e, devido a algumas semelhanças empíricas superficiais, procede-se a associação direta. Conclusão: toda dissolução é dita endotérmica.

Além disso os autores acrescentam:

"Pode acontecer que tal quantidade de calor absorvido seja mascarado por um desprendimento

Figura 1

Massa atômica

Massa atômica (MA) de um átomo é o número que indica quantas vezes a massa desse átomo é maior que $\frac{1}{12}$ da massa do C^{12} .

Vamos considerar uma balança imaginária que permita "pesar" os átomos e vamos representar a u.m.a. por meio de ■.



Dizemos que a massa atômica do C é 12 u.m.a. (12■)



Dizemos que a massa atômica do H é 1 u.m.a.



Dizemos que a massa atômica do S é 32 u.m.a.

Fonte: Matsui et alii, 1987: 139

Figura 2

Massa Molecular

Para você entender como vamos conseguir este número, imagine a seguinte sequência:



117



Fonte: Lembo & Sardella, 1978: 117-118

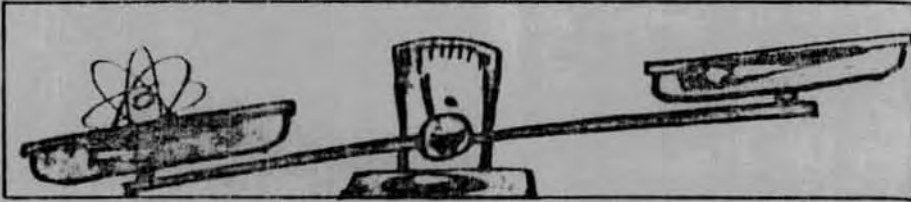
Figura 3

Mas, para que você entenda bem esse critério de massas atômicas, vamos **imaginar** o seguinte caso:

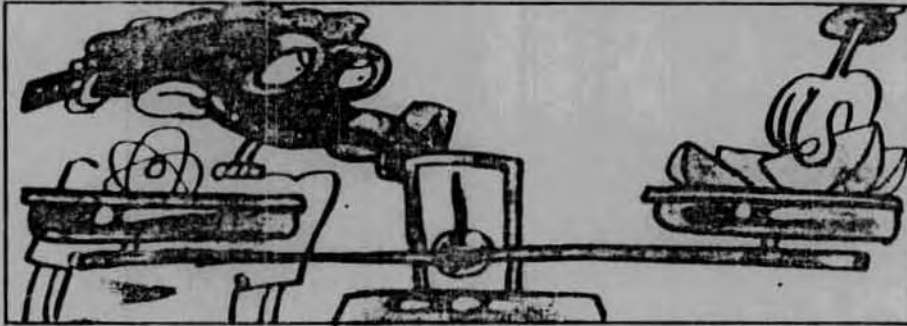
Você vai montar uma loja de átomos, isto é, você vai se tornar um vendedor de átomos. (. . .)

Como você procederá?

Ora, é fácil! Pegará o átomo que o freguês deseja e o colocará num dos pratos da balança.



Em seguida, irá colocando no outro prato aquelas fatias obtidas pela divisão do carbono-12, até que os pratos fiquem em equilíbrio. Certo?



Vamos supor que você tenha usado 16 fatias para equilibrar os pratos da balança. Então você dirá:

— O átomo de oxigênio tem massa de 16 uma.

Pois bem, O átomo de oxigênio em questão tem massa de 16 **uma** (16 unidades de massa atômica), porque você usou 16 fatias de massa 1 **uma**.

$$16 \cdot 1 \text{ uma} = 16 \text{ uma}$$

Como você estabeleceu que cada **uma** custará Cz\$ 2,00, então o átomo de oxigênio custará Cz\$ 32,00. Certo?

Fonte: Lembo & Sardella, 1987: 162-164

Figura 4

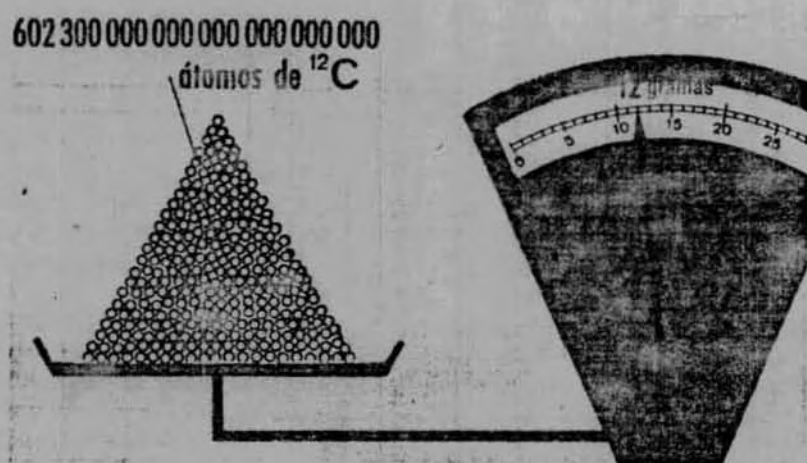


FIG. 4.5 — $6,023 \cdot 10^{23}$ átomos de ^{12}C pesam 12,0000g

Fonte: Camargo, 1973: 99

Figura 5

Suponhamos que se queira determinar a massa de um átomo de sódio. Imaginemos uma balança, onde num dos pratos se coloca o átomo de sódio e no outro se colocam tantas vezes a unidade quantas forem necessárias para que se equilibre a balança.



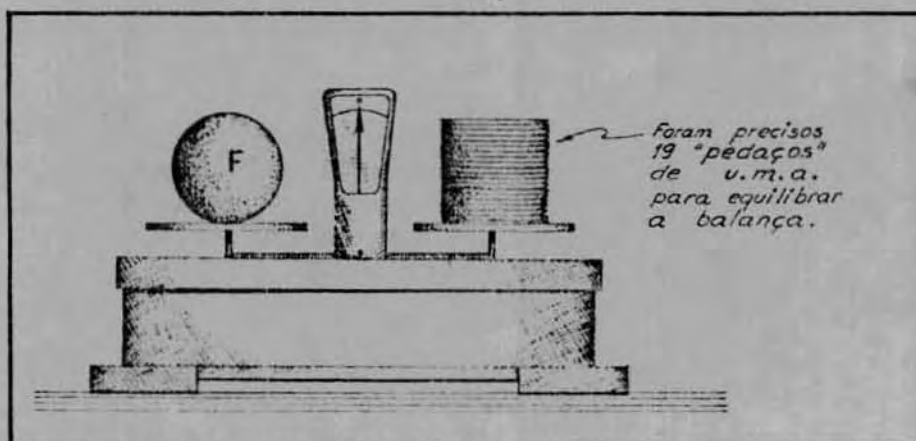
Agora, podemos conceituar:

Massa atômica é o número que indica quantas vezes um átomo é mais "pesado" que $\frac{1}{12}$ do carbono 12.

Fonte: Sardella & Mateus, 1983: 158

Figura 6

Qual seria, por exemplo, o pêso atômico do átomo de flúor representado por uma pequena bola de plástico? Vamos supor que nestas representações, respeitadas as proporções entre as massas reais do i sótopo-12 de carbono e do átomo de flúor verificássemos que:



Fonte: Feltre & Setsuo, 1969: 406

de calor, em vista de o dissolvido reagir quimicamente com o dissolvente." (Décourt, 1951: 260)

"Entretanto, alguns sais simulam oposição a esta lei, porquanto, durante a dissolução há elevação de temperatura: é que houve um fenômeno químico concomitante, a saber, a hidratação do sal; se separarmos cuidadosamente os dois fenômenos, veremos que a lei é geral, e não sofre exceção." (Marciano, 1947: 324)

A força da lei formulada a partir da analogia realista é tão grande que mesmo ensaios onde se constata ocorrência de solubilizações exotérmicas não são capazes de promover sua crítica. Para Décourt (1951), nesses casos, deve haver simultaneamente reação química com o solvente, a qual é equivocadamente encarada como sempre sendo exotérmica e para Marciano (1947), a exotermia não passa de simulação marota de sais que ousam ser diferentes: em suas dissoluções ocorre também a hidratação.

Nitidamente vê-se a obstaculização do entendimento da solubilização devido à analogia com a fusão. Não se concebe que o processo pode ser exotérmico ou endotérmico, dependendo do saldo entre as energias reticular e de hidratação, esta última presente em qualquer solubilização (12).

Faz-se oportuno ressaltar que repetidas vezes em nossas carreira docente nos deparamos com a mesma dificuldade de compreensão por parte dos alunos. Sentem dificuldade em compreender a ocorrência do processo de hidratação e sua contribuição energética, além de freqüentemente se referirem a uma substância dissolvida como estando no estado líquido. A explicação dos autores só faz portanto reforçar concepções espontâneas do senso comum, fruto de analogias equivocadas.

Em livros posteriores vemos suprimida a discussão do tema. Provavelmente porque os conteúdos de química passam a ser divididos em geral, orgânica e físico-química, ficando reservado a esta o tratamento do assunto soluções. Como os conteúdos são tratados de maneira estanque, na discussão de solubilidade não se faz referência aos aspectos estruturais, ficando a variação da solubilidade com a temperatura discutida apenas em termos gráficos: a curva é ascendente quando o processo é endotérmico e a curva é descendente quando o processo é exotérmico.

Excetuando os casos do CBA (1967) e de Metcalfe et alii (1971), os livros que ainda abordam o tema o fazem inapropriadamente. Seja por considerarem a solubilização como um processo onde a energia é fornecida para o trabalho de "corrosão" do cristal (Saffioti, 1968, ver nota 13) ou pelas ilustrações que apresentam (ver figuras 7 e 8).

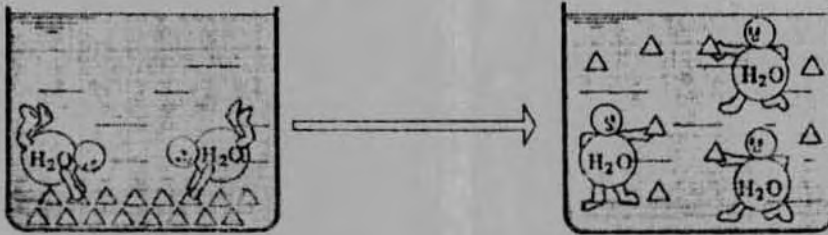
Nesse caso o realismo é utilizado enquanto recurso didático: a intenção é fornecer imagens que satisfaçam a ânsia de concretização dos alunos. Utilizam-se inclusive recursos

Figura 7

Façamos uma representação. Suponha que as moléculas de açúcar sejam pequenos triângulos. Então, o açúcar sólido é um amontoado de triângulos.

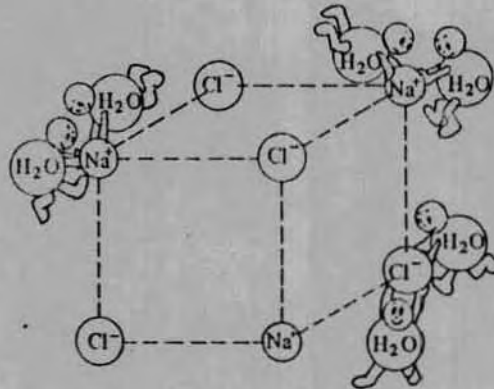


Quando esse sólido é jogado em água, as moléculas de água separam os triângulos, e aí nós dizemos que o açúcar se dissolveu em água.



Fonte: Sardella & Mateus, 1979: 200

Assim, quando você joga uma substância nessas condições (por exemplo: sal de cozinha: NaCl) em água, ocorre o seguinte:



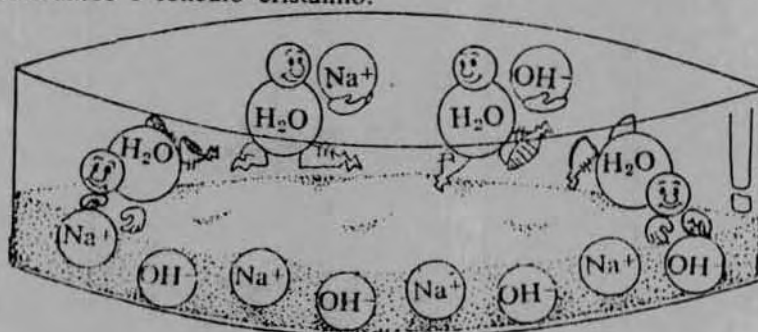
Como você já deve ter percebido, as moléculas de água vão "arrancar" os íons da estrutura cristalina (do sólido). Através desse fenômeno o sólido "desaparece" no meio da água, e nós dizemos que a substância se dissolveu.

Fonte: Idem, p. 205

Figura 8

Pois bem. Quando misturamos soda cáustica com água, as moléculas de água (H_2O) vão arrancando do sólido essas partículas e, dessa maneira, vão destruindo o retículo cristalino:

216



Fonte: Lembo & Sardella, 1978: 216



217

Fonte: Idem, p. 217

animistas, enfatizando apenas o aspecto irracional: dissolver é tornar invisível, a água apenas provoca a separação das substâncias, ocupa espaço entre as moléculas do soluto, estar hidratado é estar rodeado por moléculas de água. As ilustrações objetivam fornecer imagens aos termos "arrancar" e "destruir". As moléculas de água são como pequenos seres invisíveis que desmontam o sólido e desaparecem com ele. Como os gnomos de contos de fadas infantis. Ou seja, os erros se multiplicam e impedem qualquer compreensão científica.

Dessa maneira o aluno só é capaz de assimilar o processo de acordo com os termos abaixo:

"Colocando-se o sal na água, a 'extremidade negativa' de algumas moléculas de água procura 'arrancar' os íons Na^+ do reticulado cristalino do sal; vice-versa, a 'extremidade positiva' de outras moléculas de água procura 'arrancar' os íons Cl^- do reticulado. Deste modo, a água vai 'desmontando' o reticulado cristalino do NaCl e os íons Na^+ e Cl^- 'passam' para a solução, cada um deles 'rodeado' por várias moléculas de água (é o fenômeno 'solvatação dos íons')." (Feltre, 1983, v.1: 6)

Sem dúvida, o modelo de atração dos íons pelas moléculas de água é válido enquanto o aluno não possui os conhecimentos de Termoquímica, capazes de levar à compreensão completa do processo de dissolução. Contudo, não deve ele ser apresentado com a linguagem acima, traduzindo a ação da água como o ato mecânico de "arrancar" os íons e assim "desmontar" o sal. Tal realismo tosco não só desconsidera, como obstaculiza o posterior entendimento dos aspectos energéticos.

Na Cinética Química encontra-se um dos tópicos mais caros aos anseios realistas: a Teoria das Colisões. Como já abordamos em II.3, a idéia da colisão molecular é essencialmente encarada como choque entre bolas de bilhar. Novais (1982) chega mesmo a apresentar uma mesa de bilhar para discutir a teoria das colisões.

Os livros não conseguem transmitir a concepção de modelo teórico, sendo patente a visualização do choque como material, havendo por consequência a cristalização da idéia de molécula com forma definida segundo critérios da realidade macroscópica. Ademais, a energia associada ao movimento e à estrutura molecular são discutidas nos mesmos termos que a energia associada às bolas de bilhar em movimento.

No período da Reforma Campos a Cinética Química é muito pouco desenvolvida nos livros didáticos. Os autores se detêm na explanação dos fatores que influenciam a velocidade das reações, sem grandes explicações, expõem a lei de ação das massas e discutem um pouco sobre catálise. Os aspectos energéticos são

discutidos na termoquímica, confundindo-se frequentemente os princípios cinéticos e termoquímicos. Apenas Brandão (1940) chega a se referir à ordem de reação.

Durante a vigência da Reforma Capanema o quadro não muda muito de figura. Mais autores enveredam pela discussão dos termos ordem e molecularidade, mas não há referência à teoria das colisões, à energia de ativação ou ao mecanismo das reações. Daí ser muito mais fácil prevalecer a idéia do choque ou colisão molecular, algumas vezes citado, como sendo eminentemente material.

No texto abaixo temos um exemplo de obstáculo realista referente à cinética química.

"(...) queimando lenha ou carvão, se não retirarmos o anidrido carbônico formado, a combustão paraliza. Os produtos de reação, interpondo-se aos corpos que reagem, impedem que a reação continue." (Nobre, 1933: 25)

Devido ao modelo realista, os produtos são encarados como empecilhos ao contato entre reagentes, como objetos que indevidamente permanecem na mesa de bilhar impedindo o jogo. A idéia da colisão material impede a compreensão racional do equilíbrio e seu deslocamento (14).

Por sua vez, em Amado (1939) todo o modelo teórico para explicar a velocidade das reações químicas é baseado no contato, sendo desprezada a análise da energia associada ao processo, no máximo se referindo a choques eficazes por serem mais energéticos. E na metáfora da colisão facilmente se revela a idéia do interior oculto: não pode ser qualquer contato, mas um "Íntimo contato" (Amado, 1961: 324).

Dentre os livros analisados pertencentes ao período pós-60, o CBA (1967) é o primeiro a apresentar a cinética química por seus aspectos energéticos. Mesmo Feltre e Setsuo (1968), primeiro exemplar por nós analisado que apresenta o título Físico-Química, não o faz. Ao contrário, menospreza inclusive a discussão dos fatores que alteram a velocidade das reações, tópico presente em todos os livros anteriores que abordam cinética química. Durante a vigência da lei 5692 é que observaremos a tentativa de aprofundar a discussão da Cinética Química, contudo quanto mais tópicos referentes ao tema são abordados, maior o desejo de concretização, maior a penetração do realismo.

Temos um primeiro exemplo na figura 9, comum a vários livros. A noção realista se traduz pelas moléculas cercadas das indicações de movimento, choque e energia. Assim, o que deveria ser um modelo para o pensamento, adquire a característica de modelo para seduzir o olhar. As moléculas, sem o acompanhamento da discussão devida, são encaradas como conjuntos de pequenas esferas sobre as quais todas as imagens são válidas.

Esse é o caso de Feltre (1983, v.2 e 1989, v.2) que, não contente com todas as possibilidades metafóricas do termo colisão o substitui pelo termo **trombada**, adjetivando-o com "violenta",

Figura 9

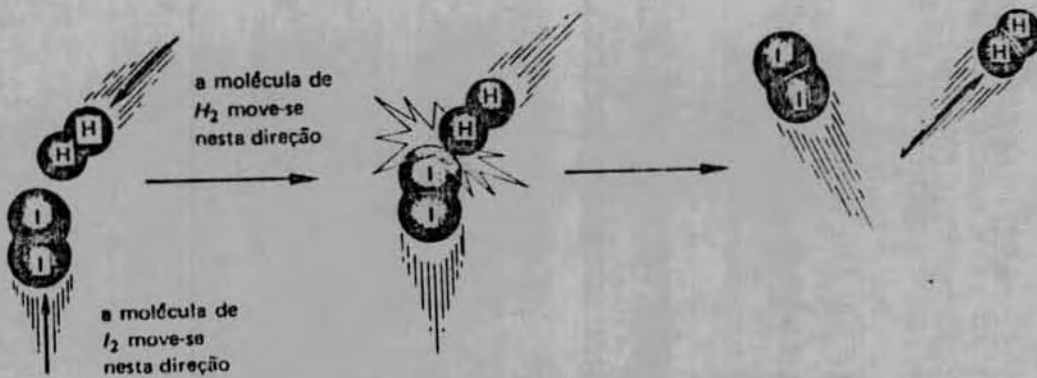


Figura 4.2 - Colisão não-produtiva (orientação inadequada) entre as moléculas de H_2 e de I_2 .

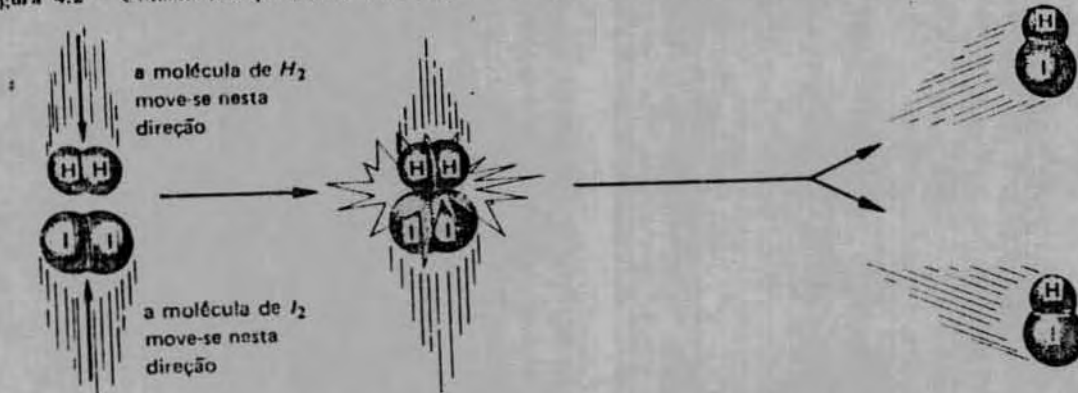
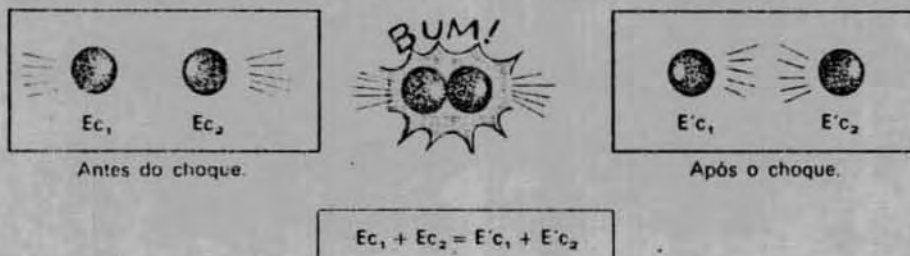


Figura 4.3 - Colisão produtiva (orientação adequada) entre as moléculas de H_2 e de I_2 .

Fonte: Braga & Silva, 1982, v. 2: 106

Figura 10

5. No choque entre duas partículas não há perda de energia cinética, isto é, a energia de cada uma pode se modificar, porém a soma é igual.



Fonte: Sardella & Mateus, 1983: 178

"fraca", "de frente", "de raspão" (15).

Ou então temos o caso da comparação com colisões entre automóveis, buscando justificar porque nem toda colisão conduz ao produto.

"Diariamente ocorrem muitas e muitas 'batidinhas' entre automóveis em trânsito; 'batidinhas' que não podemos considerar como 'acidente'. Mas dentre dezenas de 'batidas', pelo menos uma é um 'acidente'." (Setsuo, v. 2, beta)

Com isso, o aluno pode mesmo chegar a escutar o ruído correspondente a esse "acidente" entre moléculas (ver figura 10).

Metáforas como essas são apenas capazes de reforçar a tendência, já existente no aluno, de associar aos choques moleculares todas as características dos choques entre objetos macroscópicos, dificultando assim a racionalização dos aspectos singulares do processo, como a formação do complexo ativado, a ação da luz e a variação de energia.

Por conseguinte, novas imagens são necessárias para a compreensão do conceito de energia limiar (energia de ativação). Entre os livros que analisamos, o termo energia de ativação surge pela primeira vez em Amado (1961), apenas enquanto energia mínima necessária à colisão. Quando os autores procuram desenvolver mais o assunto é que as dificuldades surgem, e com elas as metáforas. Delas não escapa nem mesmo o Chem Study (1968).

Na discussão sobre energia de ativação, Cotton e Lynch no Curso de Química (nome conferido à tradução brasileira de 1968 do Chem Study) estabelecem a analogia com o trajeto de um carro atravessando um morro. A barreira de energia entre reagentes e produtos é como a passagem pela montanha. Trata-se de típica analogia realista, com a diferença significativa de ser usada com maior cuidado. Depois da exposição da analogia os autores desenvolvem o assunto teoricamente. Ou seja, não se detêm apenas na comparação.

Contudo, ainda assim, existe o problema da facilidade oferecida pela metáfora ao aluno: corre-se o risco de seu raciocínio se deter apenas na consideração da energia de ativação como uma montanha de energia.

Assim ocorre no livro de Novais (1982), onde são gastas 4 linhas para explicar o porquê da energia de ativação, duas para sua definição e sete linhas para a analogia da mesma com a Serra do Mar, em São Paulo, sem contar com o espaço para o desenho. E quando o complexo ativado não está no alto da montanha, são os reagentes que estão em um poço.

"Podemos imaginar os reagentes dentro de um 'poço de energia', de onde devem ser içados antes que possam reagir (...)

A energia necessária para 'içar' os reagentes do 'poço energético' é chamada energia de

ativação, a qual é necessária para afrouxar as ligações na molécula (...)

Uma situação análoga existiria onde dois vales montanhosos estivessem separados por um alto desfiladeiro." (Metcalf et alii, 1971: 340)

Em Camargo (1976) constatamos a inversão da metáfora: o autor fala que os reagentes precisam atingir o cume da montanha e afirma que a montanha é **representada** pela energia de ativação. Mas é em Feltre (1983 v. 2 e 1989 v.2) e Setsuo (v. 2, beta), que a analogia atinge o ápice, como mostram as figuras 11 e 12. A força da imagem se sobrepõe a qualquer abstração.

As metáforas do ensino de cinética se estendem aos conceitos básicos do equilíbrio químico, principalmente no que se refere a sua maior dificuldade: o aspecto dinâmico da reversibilidade.

Pereira (1989) descreve e analisa trabalhos publicados sobre analogias e modelos para o ensino de equilíbrio químico. São ao todo 17 exemplos de modelos e analogias e, de acordo com a análise feita pela autora, nenhum deles é plenamente satisfatório, necessitando, portanto, ter suas limitações discutidas em sala.

Em verdade, os maiores obstáculos das metáforas referentes ao equilíbrio químico estão relacionados com a dificuldade em discutir a cinética ao nível molecular e o deslocamento. Mantendo-se o aluno vinculado ao concreto, impedindo-o de abstrair, não conseguimos que ele raciocine devidamente em cima de conceitos desvinculados do senso comum.

Vejamos alguns exemplos das metáforas associadas ao equilíbrio químico:

"É um equilíbrio móvel, um equilíbrio cinético, dinâmico, comparável ao de um barco cuja velocidade de avanço contra a corrente fôsse igual à velocidade dessa corrente. Não é um equilíbrio fixo, estático, como o do barco parado sobre um lago tranquilo." (Marciano, 1947: 424)

"Num salão de baile, existem 'pares' dançando enquanto outros estão sentados à mesa. O baile ficará em 'equilíbrio' quando - para cada 'par' que sai para dançar, simultaneamente desfaz-se um outro 'par' que volta da pista para a mesa." (Setsuo, v. 2, beta: 359)

O exemplo não permite a compreensão do fenômeno estatístico: não se trata de algumas moléculas, mas de milhões de moléculas em contante movimento. Não se pode também relacioná-lo

E como um "cara" que do seu quintal quer passar para o quintal do vizinho" Ele tem que pular o muro!

Quanto mais alto for o muro, maior será a dificuldade, pois necessitará de maior energia de ativação!

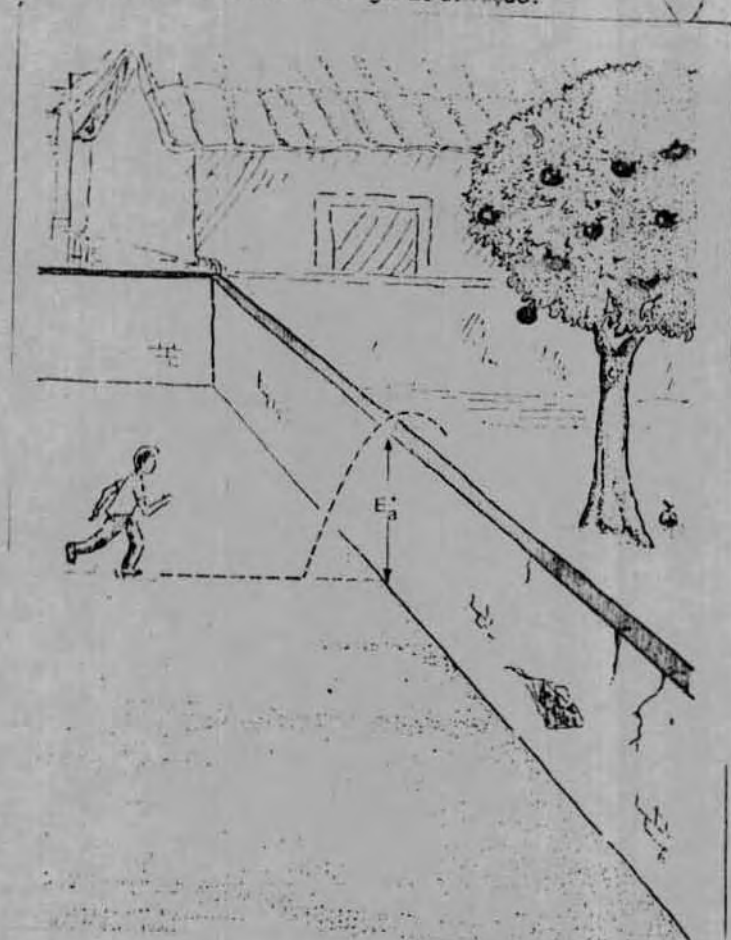
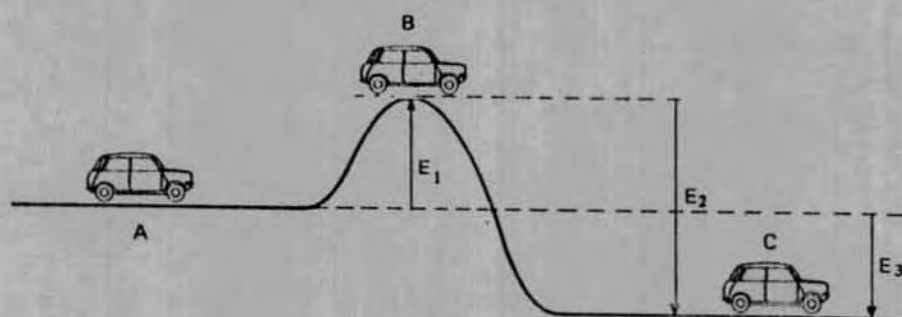


Figura 11

Fonte:
Setsuo, v. 2,
beta: 332

Figura 12

Fazendo uma analogia, podemos imaginar o andamento de uma reação, como sendo um problema de Física, onde temos a trajetória de um automóvel num trecho montanhoso:



Fonte: Feltre, 1982: 192

com o deslocamento de equilíbrio. Poderíamos afirmar que com a entrada de mais casais para dançar haveria novo estado de equilíbrio ? E quanto ao aspecto, pouco discutido, de que o equilíbrio só ocorre em sistema fechado ?

Outrossim, as analogias com os fenômenos macroscópicos exatamente inviabilizam a discussão quanto às diferenças entre a visão macroscópica e a visão microscópica do equilíbrio. Ambas são colocadas em total continuidade: o que se vê é o que acontece.

Outros autores, apelam para as ilustrações, de forma ainda mais nociva, porque de fixação mais imediata ao inconsciente do aluno.

Nas figuras 13 e 14 temos exemplos de processos em equilíbrio que em nada são correlacionados com os processos moleculares, ficando o aluno certamente preso à imagem, sem qualquer abstração. Bem pode ele compreender o fluxo de abelhas no mel e o exercício do atleta sem que isso signifique algum entendimento do equilíbrio químico, o qual é adjetivado como químico exatamente por possuir características que lhe são próprias e distintas dos demais equilíbrios. Além do que, no caso das abelhas e do salão de danças, devemos excluir todas as variáveis correlacionadas com a intencionalidade dos insetos e das pessoas - afinal, devemos considerá-las com igual velocidade nos trajetos de ir e vir - estabelecendo condições de exceção que permitam alguma similaridade com o processo químico. E por vezes a explicação das condições de exceção é mais fastidiosa para o aluno que o enfrentamento direto do conceito abstrato.

E na tentativa de utilizar certa analogia para explicar um ponto teórico, muitas vezes deturpamos outros. É o caso de Setsuo (v. 2, alfa) buscando explicar que, apesar da pequena ionização da água, sua eletrólise ocorre completamente, ou seja, há a reposição constante de H^+ e OH^- no sistema. Para isso ele utiliza o exemplo da figura 15. A intenção é demonstrar que a água na casa só acaba quando o reservatório central seca.

Com isso, a reversibilidade do equilíbrio é completamente desprezada: a água da casa não retorna ao reservatório e para explicar algo simples, que por nossa prática docente sabemos que o aluno não tem dificuldade de entender, o autor promove um obstáculo à compreensão de um tópico muito mais difícil.

O uso compulsório das metáforas realistas leva alguns autores a adaptar o conteúdo à analogia, ao invés de adaptar a analogia ao conteúdo a ser tratado.

Esse é o caso do tratamento feito ao potencial de eletrodo. O objetivo é poder afirmar que os elétrons vão do maior para o menor (Crepaldi & Taranto, 1981) ou, baseado no mesmo princípio, utilizar a comparação com a queda d'água nas cachoeiras (Feltre & Setsuo, 1968; Camargo, 1976). Por conseguinte os autores utilizam potenciais de oxidação, sem discutir seu caráter convencional. É dito que os elétrons "não sabem subir", frase de apelo e memorização fácil que só se aplica aos potenciais de oxidação (16).

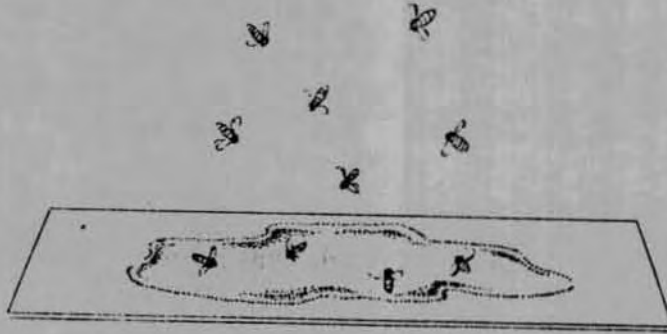
Por outro lado, o conceito de potencial de eletrodo não

Figura 13

A. O QUE SIGNIFICA EQUILÍBRIO QUÍMICO?

Vamos fazer uma analogia:

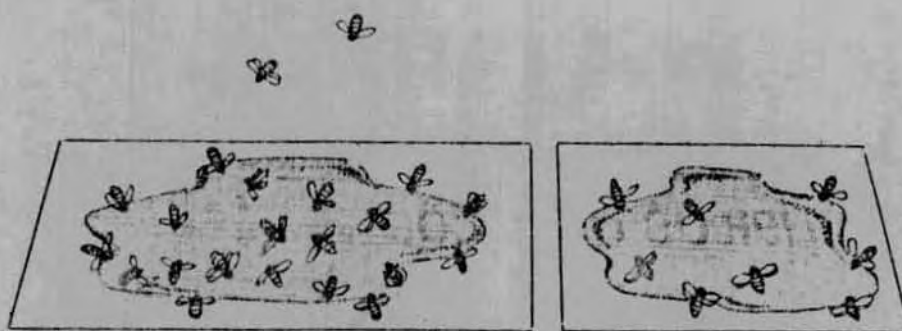
Suponhamos que se tenha 2 frascos com mel e que o conteúdo de um deles seja derramado em uma superfície. Se, nas proximidades, houver grande número de abelhas, elas serão atraídas pelo mel. Depois de algum tempo, o alimento estará "coberto" de insetos.



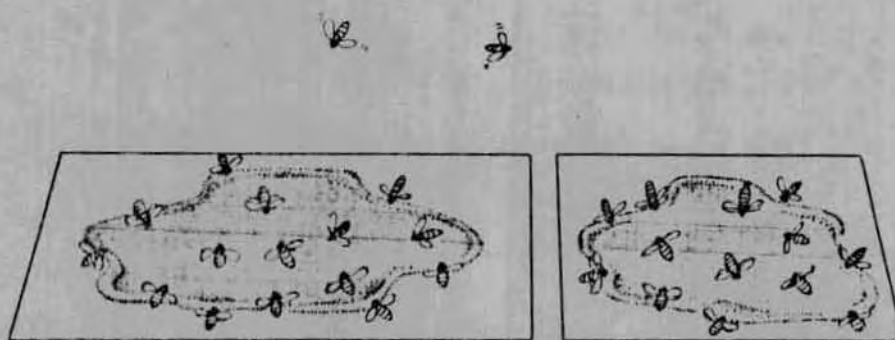
Imagine que se feche o sistema e que outro vidro de mel seja derramado nas proximidades do primeiro. Começa, então, a acontecer que algumas abelhas que estavam com dificuldades de se alimentar na superfície da primeira amostra, passam a *se* dirigir para a segunda, onde a competição ainda não existe.

Fonte: Novaes, 1982: 173

Continua



Com o tempo, o número de abelhas na segunda amostra cresce e, evidentemente, decresce na primeira porção.



Tudo isto não impede que algumas abelhas saiam da segunda porção e dirijam-se à primeira e vice-versa. Chegaremos, no entanto, a uma situação de *equilíbrio dinâmico*, na qual o número de abelhas em cada uma das superfícies permanece constante, isto é, o número de abelhas que saem e que voltam para cada uma das amostras é *constante*.

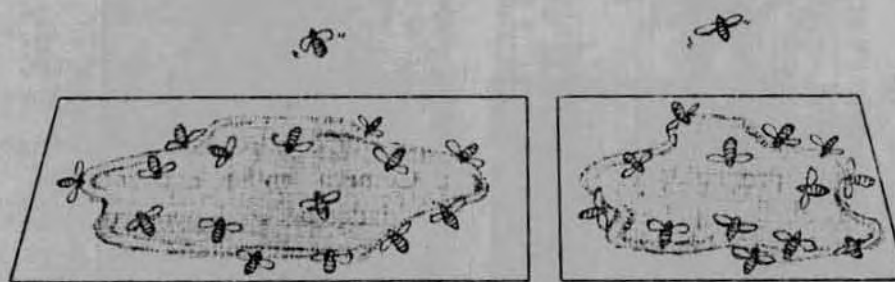


Figura 14

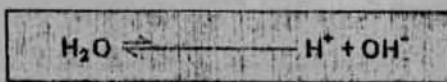


O estado de equilíbrio ou estacionário se parece com a situação de um atleta correndo na esteira mecânica: a esteira "corre para trás", o atleta "corre para a frente" e nunca sai do lugar.

Fonte: Feltre, 1988: 227

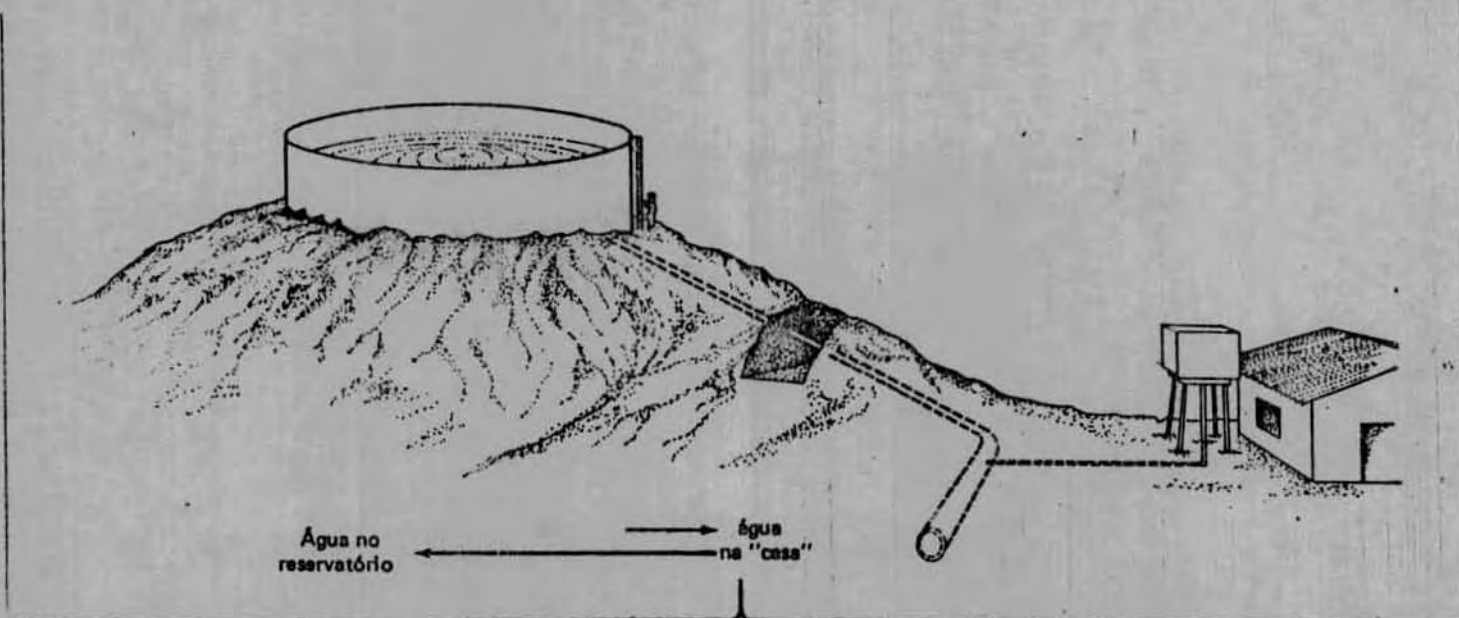
Figura 15

A forma simplificada de representar a ionização da água será:



A seta pequena indica que a ionização é muito pequena. Mas lembre-se que estamos diante de um processo reversível — isto significa que temos pequeníssimas quantidades de H^+ e OH^- , mas a disponibilidade é muito grande.

Compare com um sistema de *caixa d'água residencial* em equilíbrio com um *grande reservatório central*.



Fonte: Setsuo, v. 2, alfa: 210

é devidamente explicado, associando-se-o ao acúmulo de elétrons e à noção de pressão.

"(...) o acúmulo de elétrons é muito menor no zinco e conseqüentemente teremos um E_0 menor. Lembremos que o E_0 é como 'pressão' (de elétrons) ao abrir uma torneira." (Feltre & Setsuo, 1968: 187)

"Imagine que os elétrons que estão 'passeando' na lâmina metálica exercem 'pressões' como as moléculas de gás." (Setsuo, v. 2, alfa: 167)

Constitui-se erro conceitual grave (17) em função do desejo de transmitir algo que se assemelhe ao que o aluno já conhece - fluxo de água corrente, pressão. Porém a confusão pode ser ainda maior, pois o estudante pode vir a questionar porque o par Al/Al^{3+} não possui maior potencial de oxidação que o par Ca/Ca^{2+} , já que a variação de elétrons neste é menor.

E como o objetivo fundamental é a memorização, nota-se que todos os recursos são considerados válidos. Desde a associação do processo redox com um jogo de pôquer - há quem ganhe e há quem perca (Feltre & Setsuo, 1970) - até a colocação do redutor como recheador e do oxidante como assaltante (ver figura 16). Sem contar com as apelações para construções absurdas como a "aparelhagem louca", misto de aspirador com chuveiro, utilizada para "explicar" a eletrólise (ver figura 17). O objetivo é, como afirma o próprio autor, fazer o aluno enxergar intuitivamente que os elétrons saem do anodo para o catodo.

Outra concepção vigente no ensino, característica do realismo, é a de não conceber a propriedade química como fruto da relação entre as partículas da substância, encarando-se assim que qualquer parte do todo possui propriedades idênticas ao próprio todo.

Baseado nisso Faccini (1941, 3a. série), Camargo (1973) e Braga e Silva (1982, v. 1) - notadamente em épocas bem diversas - apresentam esquemas semelhantes para o desenvolvimento da noção de átomo (ver figura 18).

Para o realista, a realidade material do objeto é dotada de tal monotonia que a subdivisão em nada altera as características substanciais: dois ou três átomos de alumínio aglomerados, ou mesmo um átomo, é tão igualmente alumínio quanto uma barra do metal. Não importam as interações da ligação metálica; no sonho realista qualquer parte conserva as propriedades do todo, qualquer parte está ao alcance de suas mãos.

Dai a definição de molécula como "a menor parte da substância que ainda conserva suas propriedades" ter tanta penetração nos livros didáticos.

Figura 16

Seja um assalto: Aquê!e que perde a "gaita" é quem foi assaltado. O assaltante é quem "recheou-se" com a "bolada". Então:

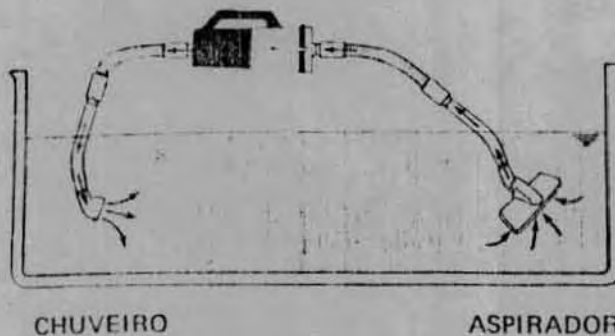


Fonte: Feltre & Setsuo, 1970: 393

Repare, no desenho abaixo, o percurso que a água irá seguir quando o aparelho for ligado.

Figura 17

(a água só percorre pela mangueira)



Fonte: Setsuo, v. 2, alfa: 185

Veja bem: o percurso da água inicia-se no aspirador e termina no chuveiro. (. . .)

Então pense assim: quando você deparar com o sistema ânodo-cátodo faça de conta que você está enxergando o sistema do aspirador.

Você "enxerga" o ânodo "aspirando" elétrons. Esses elétrons caminham pelo fio e vão para o cátodo que funciona como chuveiro.

Minemonicamente:

Aspirador
nodo

Chuveiro
átodo

Figura 18

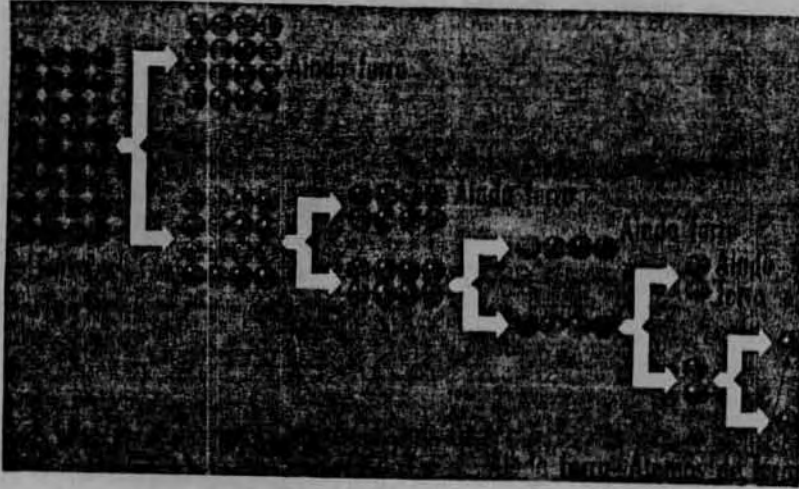
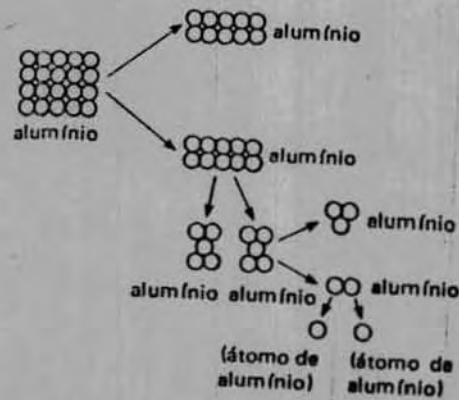


FIG. 1.13 — Noção de átomo

Fonte: Camargo, 1973: 33



Fonte: Braga e Silva, 1982, v. 1: 19

Pesquisamos a definição de molécula em diferentes livros nas quatro reformas e os resultados se encontram na tabela abaixo.

Ainda que o universo pesquisado seja diferenciado, alguns indícios são patentes. O conceito do realismo ingênuo é predominante na vigência da Reforma Francisco Campos, o que se justifica pelo maior descritivismo e menor racionalismo. Com o passar do tempo o conceito vai perdendo terreno, sendo privilegiado o conceito racionalista: conjunto de átomos ligados por covalência. Na vigência da reforma 5692 o conceito realista surge com um pouco mais de ênfase, parecendo indicar um retorno a concepções anteriores. Em 17 livros, 06 ainda definem molécula desprezando as interações intermoleculares determinantes da grande maioria das propriedades físico-químicas da substância. E apenas um livro (Nabuco & Barros, 1978) discute o erro dessa definição.

	LP	LCR	%
Reforma Campos	10	06	60
Reforma Capanema	09	04	44
LDB 61	10	03	30
Lei 5692	17	06	35
Total	46	19	41

LP = número de livros pesquisados

LCR = número de livros com o conceito realista de molécula

Como já foi abordado em V.1, os livros durante o período de vigência da LDB apresentam um corte em relação aos anteriores, no que se refere ao ensino de ligação química. Os princípios da atomística foram introduzidos com tal riqueza de detalhes que acabaram por promover o descritivismo teórico. Deixamos de descrever o comportamento das substâncias e passamos a descrever o comportamento dos elétrons. A resposta a isso veio rápida: no final da década de 60 começaram a surgir os livros onde o uso de imagens realistas passou a ser um fim em si mesmo; os princípios da mecânica quântica eram concretizados de maneira a distorcer completamente seu caráter científico.

Até 1960, a atomística era ensinada, preponderantemente, pelo modelo de camadas. A imagem do núcleo atômico como pequeno sol estava presente no pensamento de alunos e professores.

"O átomo é assim imaginado como um verdadeiro sistema solar em miniatura, no qual o Sol é representado pelo núcleo positivo e os planetas pelos elétrons negativos." (Amado, 1939: 242)

"Assemelha-se, assim, o átomo ao sistema solar: o núcleo representaria o sol do sistema e os elétrons da corôa representariam os planetas satélites, gravitando em diversas órbitas." (Costa & Pasquale, 1940: 53)

"(...) para que estes eletrões não caiam sobre o núcleo positivo que os atrai, é preciso admitir que, à semelhança dos planetas, girem em torno do núcleo com velocidade suficiente para que sua força centrífuga equilibre a atração central." (Marciano, 1947: 215)

Os autores não parecem sequer estar capacitados a decidir se é o átomo que representa o sistema solar ou se é inverso, havendo total transposição do macro ao micro. Os elétrons, comumente denominados satélites, estão gravitando em torno do núcleo, sem que se preocupe com o fato de ser impossível a força gravitacional atuar em corpos de massa tão pequena. Nos dois primeiros autores não há qualquer preocupação com o fato das partículas subatômicas serem dotadas de carga: já que o objetivo é proceder a comparação pura e simples, sem questionamentos, as disparidades são desconsideradas. Já no terceiro autor, a consideração das cargas não o impede de enxergar semelhanças com os planetas: deve haver a grande velocidade para compensar a atração. Entretanto, é importante ter-se em mente que essa conclusão está completamente em desacordo com a Física Clássica (18), e isso era de total conhecimento de Rutherford, elaborador desse modelo. E muito mais conhecido ainda no ano de 1947, mais de trinta anos após Bohr ter instituído as bases da mecânica quântica. Portanto, o que os autores fazem, antes de tudo, é difundir inverdades em nome de uma metáfora atraente aos seus olhos.

A penetração da metáfora do microcosmo atômico permanece nos anos seguintes (Simas Filho, 1953; Neiva & Cohen, 1961). Mesmo autores que discutem princípios quânticos não se furtam a apresentá-la. Nehmi (1962), que no volume 4 de sua coleção discute exclusivamente atomística, com detalhes sobre a teoria quântica, afirma no volume 2 da mesma coleção que a estrutura atômica é análoga ao sistema solar: "o núcleo faz o papel de Sol e os elétrons fazem o papel de planetas" (Nehmi, 1962, v.2: 10). Saffioti (1968) discute a teoria de Bohr baseado nas linhas espectrais, inclusive com desenvolvimento matemático, porém não deixa de afirmar:

"Bohr visualizou o átomo como uma miniatura modificada do sistema solar, em que o núcleo do átomo é o Sol e os elétrons são os planetas." (p. 177)

O termo "visualizou" possui toda força da tradição ocularista que se deseja transmitir ao aluno e com a expressão "miniatura modificada" mantém-se o apego à metáfora. Não importa que as modificações sejam tantas que o menor nada tenha de semelhante com uma miniatura, ao contrário, seja a total ruptura com o miniatural.

E como se trata de um sistema solar, nada mais coerente do que a ele sobrepor uma astronomia.

"Pode-se dizer, com certo abuso de linguagem, que à astronomia dos infinitamente grandes, que perscruta o mistério das estrêlas, veio contrapor-se a astronomia dos infinitamente pequenos, que sonda os segredos dos últimos elementos da matéria." (Luiz Cintra do Prado, citado por Costa & Pasquale, 1953, 3a. série: 121)

Quanto não satisfaz a imagem do sistema solar ! Com grande abuso de linguagem, o autor demonstra sua crença na possibilidade dessa nova astronomia desvendar os mais profundos segredos. Manifesta-se continuamente o anseio do homem pela generalidade gratuita, pelas leis gerais que se traduzam na unidade.

"Este é mais um aspeto da unidade essencial da natureza, encaminhando o observador na síntese de suas leis. E êsses dois sentidos opostos em que, tomados de certa vertigem, podemos alongar nossas vistas, lembram sempre aquela página de Pascal (...) considerando o homem suspenso entre dois infinitos." (Luiz Cintra do Prado, citado por Costa & Pasquale, 1953, 3a. série, 121)

Alongando-se a vista para o infinito, sem dúvida, sempre teremos a percepção panorâmica, total homogeneidade mascarando os detalhes que permitem a construção do conhecimento científico. Nas brumas do conhecimento geral, o espírito é capaz apenas de conclusões precipitadas cercadas de obstáculos.

"Pois bem, na escala das grandezas materiais, o homem fica aos $2/5$ desse intervalo, representando uma espécie de média entre o

Temos o exemplo do conhecimento impreciso, vago, porque prematuro e não retificado, envolto em valores carentes de psicanálise.

O átomo assume contornos ainda mais realistas quando sua estrutura é apresentada em um modelo estático, pronto para a ligação química, esquema de encaixe perfeito.

Em diversos autores (Carneiro Leão, 1938; Amado, 1939; Costa & Pasquale, 1940 e 1953; Faccini, 1941; Feltre & Setsuo, 1970) os átomos são representados como planetários, havendo na órbita do elemento propenso a receber elétron, o desenho do espaço vago. O espaço vago é denominado valência negativa e o elétron valência positiva. Acrescentam-se, inclusive, textos em termos semelhantes aos descritos abaixo:

"Como se acham unidos por exemplo os dois átomos de cloro (Cl) em Cl₂ ? Assim se admite: cada átomo de cloro tem sete elétrons em sua órbita superficial e, portanto, um lugar vago. Os dois átomos de cloro se unem então de modo que cada átomo preencha, com um de seus elétrons superficiais, o lugar vago do outro." (Amado, 1939: 261)

Como já constatamos em outros assuntos, também no trato da ligação química o esquematismo se acentua com o passar dos anos. A medida que a abstração se acentua, os autores buscam as metáforas enquanto estratégia didática.

É o caso de Feltre e Setsuo (1969) referindo-se aos átomos como "bolinhas" e apresentando a ligação química por um sistema de pinos e encaixes. As valências positivas são os pinos e as valências negativas são os encaixes: "os átomos que possuam 'pinos' (...) devem, normalmente, se unir a átomos que possuam 'encaixe'" (p. 33), com toda conotação subjetiva que possa ser transmitida ao termo normalmente.

Como bem concluiu Mortimer (1988), no que se refere a ligação química, os livros didáticos ensinam a errar. O objetivo é pura e simplesmente fazer o aluno resolver exercícios onde se pede a montagem de estruturas e a classificação das substâncias em iônicas ou covalentes.

No domínio da ocularidade, o mundo aparente se impõe ao realista. Como já constatamos, as propriedades macroscópicas, perceptíveis com um golpe de vista, são encaradas como pertencentes ao todo. No oculto se encontram as explicações para o evidente, portanto a menor parte, o interior da substância monotonamente reproduz seu exterior.

Assim sendo, a noção de descontinuidade da matéria desagrade aos realistas que tendem a obstaculizá-la, transmitindo-a como um falso descontinuísmo.

"A divisão de tais substâncias não cessa aí; concebemos que pode ser levada mais longe embora não seja possível a observação direta. Repugna crer, entretanto, que esta divisibilidade seja indefinida, como o é, por exemplo, a quantidade matemática, mero conceito sem realidade física, e à qual se aplica a teoria da continuidade." (Marciano, 1946: 24 e Irmãos Maristas, 1961: 41)

"(...) está perfeitamente assente que há um limite de divisibilidade física da matéria, tal como pensava Dalton (...)" (Simas Filho, 1953: 29)

Aceita-se a divisibilidade, apesar dos olhos não a alcançarem, mas a divisibilidade indefinida causa repugnância. Como reagiriam os autores ao serem colocados hoje diante da teoria dos quarks, constituintes dos prótons e nêutrons, e das discussões acerca da possível existência de partículas ainda mais elementares constituindo os quarks (Mignaco & Shellard, 1984) ?

Por outro lado, ainda como consequência da busca de homogeneidade entre o macro e o micromundo, tenta-se demonstrar que a relação entre o cheio e o vazio está ao alcance dos nossos olhos. Talvez considerando que assim podemos ter maior confiança nela e menor repugnância.

"O que há de particularmente interessante a notar-se é que se passa do mundo sideral, para o mundo atômico, guardando a mesma relação entre o cheio e o vazio. A predominância do vazio sobre o cheio, no mundo sideral constitui uma verdade que nos é familiar: olhando, à noite, para um céu sem nuvens, reparamos logo como é pequena a área ocupada pelas estrelas, comparada com a extensão do fundo negro." (Luiz Cintra do Padro, citado por Costa & Pasquale, 1953, 3a. série: 121)

"Conclui-se que o vazio (vácuo absoluto) impera no átomo como também impera no sistema solar. Sendo a matéria constituída de átomos (...) podemos afirmar que a matéria é, praticamente, vazia, o que não percebemos porque nossa capacidade visual não atinge dimensões tão pequenas (...)" (Nehmi, 1962, v.2: 13)

Nota-se claramente a tendência em se fazer do olhar o

determinante do conhecimento e da, mera percepção, uma razão. Percepção essa que, como todo conhecimento de primeira instância se mostra equivocada: o céu que observamos à noite é um vazio cheio pela massa atmosférica; os objetos a nossa volta é que correspondem ao todo compacto onde impera o vazio. Buscando-se o familiar para justificar o inacessível ao olhar, tenta-se introduzir a continuidade conhecimento comum-conhecimento científico para explicar algo que basilarmente indica a existência de ruptura entre esses dois ramos do saber.

Na defesa do falso descontinuísmo muitos autores colocam a matéria como impenetrável, porém dotada de poros, espaços intermoleculares, utilizando a metáfora da peneira, sem atentarem para o fato de que a peneira é o contínuo dotado de espaços vagos e não o vazio permeado de matéria. Invariavelmente tal metáfora surge para justificar os resultados da experiência de Rutherford bombardeando partículas alfa em folhas de ouro (Feltre, 1983, v. 1; Sardella & Mateus, 1983; Feltre, 1985, v. 1).

"A lâmina de ouro, aparentemente maciça, na realidade é toda 'esburacada' pois ela se comporta como se fôsse uma peneira, deixando passar livremente a quase totalidade das partículas alfa lançadas contra ela."
(Camargo, 1973: 163)

Mais perniciosa é a metáfora quando se apresenta na forma de ilustrações realistas. Assim é que em Lembo e Sardella (1978) a experiência de Rutherford é traduzida como o ato de jogar arroz em uma peneira (figura 19) ou como o homem que atira contra as telas de um galinheiro (figura 20).

E a explicação para a não interferência do elétron no processo é feita afirmando-se que o elétron na trajetória da partícula alfa é um obstáculo comparável a um grão de areia na trajetória de uma granada (Camargo & Saffioti, 1958). A consequência em todos os exemplos é o mesmo: fornecer imagens realistas que acomodam o aluno no macroscópico e inviabilizam sua compreensão do mundo quântico por manterem o espírito diante dos tradicionais conceitos de corpo, trajetória e choque.

De tal maneira, transmite-se como corriqueiro um conceito científico de grande abstração e que se desenvolveu após anos de pesquisas científicas. Banaliza-se a experiência de Rutherford, negando-se-lhe o estatuto epistemológico de ruptura com as concepções até então vigentes. A discussão continuísmo versus descontinuísmo é um dos assuntos que mais exige o levantamento histórico das experiências que constituíram o tema, e da teoria a elas subjacente. Se assim não o fizermos, não haverá como os alunos compreenderem o choque de Rutherford com os resultados de seus trabalhos e as consequências advindas dos mesmos. Continuando a falar de peneiras e telas de galinheiros nossos alunos apenas saberão o que já lhes parece óbvio: que por seus espaços vazios podem passar grãos de arroz e balas de espingarda. Mesmo porque a emissão da partícula alfa pelo polônio é explicada como sendo comparável ao homem atirando com uma

Figura 19

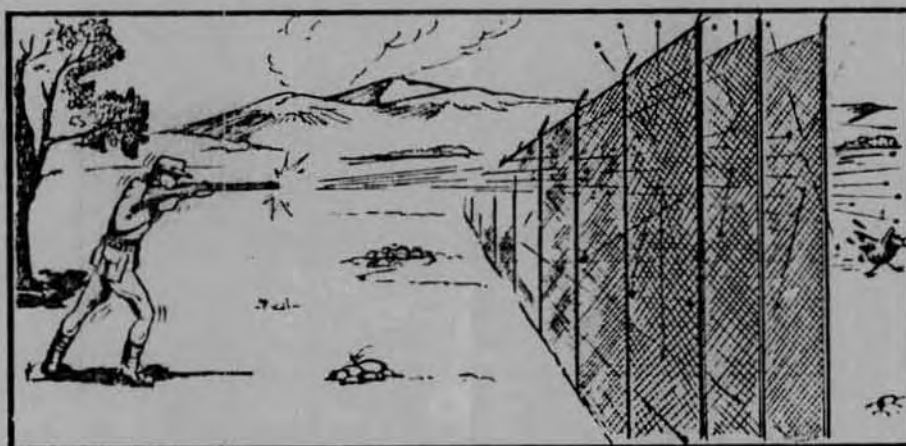


Se você atirar um punhado de grãos de arroz em uma peneira de buracos grandes, conseguirá resultados análogos aos obtidos na experiência de Rutherford.

Fonte: Lembo & Sardella, 1978: 82

Figura 20

Estas observações levaram a crer que a matéria é praticamente ôca. Embora a lâmina de ouro pareça compacta é constituída de muitas camadas de átomos de ouro.



A idéia que se poderia fazer era de:
"um indivíduo dando tiros em telas de galinheiro".

Fonte: Feltre & Setsuo, 1970: 124

espingarda (Feltre & Setsuo, 1970, ver figura 21, Camargo, 1973).

O realismo ingênuo, tão criticado por Bachelard, encontra grandes possibilidades de proliferação no ensino dos princípios da Mecânica Quântica. Comprovando a grande defasagem existente entre a ciência e o ensino, os princípios da Mecânica Quântica passam a ser discutidos nos livros didáticos no início da década de 50. Os autores assumem, contudo, a perspectiva de conferir aos princípios quânticos um caráter de continuidade em relação à física macroscópica; reduzem seu caráter revolucionário transmitindo-os sobre bases realistas.

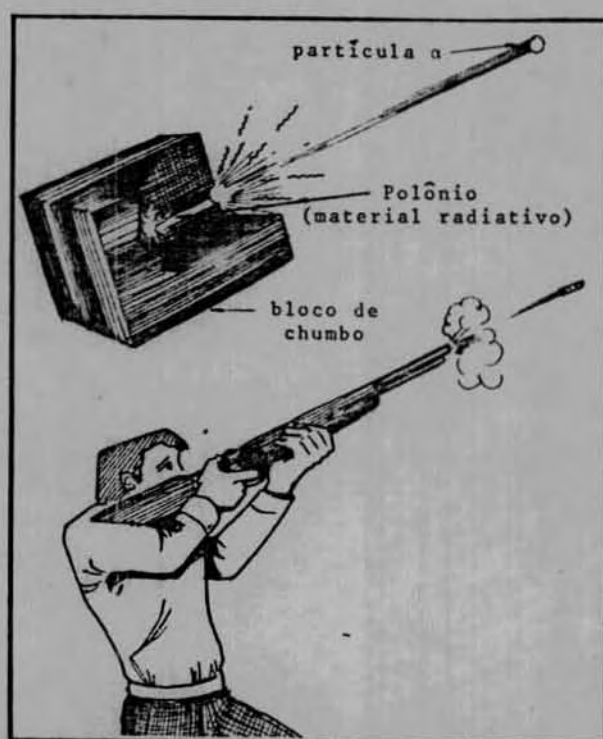
Como já afirmamos, os livros anteriores a 60 limitam-se ao modelo de Rutherford ou à conjunção Rutherford-Bohr. Já na década de 60 e no início de 70, por outro lado, o número de informações e dados referentes à Mecânica Quântica eram inúmeros, existindo algumas publicações referentes apenas à Atomística (Feltre & Setsuo, 1970; Nehmi, 1965).

Mas para o aluno da escola secundária no início da década de 90, a Mecânica Quântica nada tem de extraordinário, e às vezes nem mesmo de difícil. As leis ponderais de Lavoisier e Proust assumem caráter mais problemático para os estudantes do que os números quânticos ou o Princípio de Heisenberg. Exatamente porque estes são transmitidos cercados de metáforas realistas que distorcem completamente seu significado. Em outras palavras, o que os alunos pensam ser Mecânica Quântica nada mais é que um conjunto de erros e conceitos prontos para serem operacionalizados.

Em Costa e Pasquale (1953, 3a. série) e Ferreira (1953) já existe a referência ao spin, mesmo sem a discussão dos números quânticos: trata-se da rotação do elétron em torno do seu eixo. Essa é uma das inverdades quânticas mais repetidas nos livros didáticos. O elétron, para os químicos realistas, é essencialmente um pião. E assim é considerado até hoje (Saffioti, 1968; Camargo, 1973; Feltre & Setsuo, 1977; Sardella & Mateus, 1983; Politi, 1986; Lembo & Sardella, 1987), a despeito Goudsmit e Unlenbeck, autores da idéia, terem sido convencidos por Lorentz de sua não plausibilidade antes mesmo de verem seu trabalho publicado.

"Não pudemos entender inteiramente mas era claro que a imagem do elétron girante daria origem a várias dificuldades. Por exemplo a energia magnética seria tão grande que, pela equivalência de massa e energia, o elétron teria uma massa maior do que o próton, ou então, mantendo sua massa no valor conhecido, o elétron seria maior do que o átomo ! Em qualquer caso parecia um absurdo. Goudsmit e eu sentimos que seria melhor não publicar nada no momento. Mas, quando dissemos isso a Ehrenfest, ele respondeu: 'Já mandei o artigo de vocês há muito tempo. Vocês são suficientemente jovens para se permitirem

Figura 21



Fonte: Feltre & Setsuo, 1970: 77

algumas imprudências! (Unlenbeck, citado por Eisberg & Resnick, 1983: 356)

O spin do elétron é, portanto, um postulado à parte introduzido na Mecânica Quântica de Schroedinger, justificando resultados espectrais e só obteve um tratamento teórico sólido a partir de Dirac, relacionando-o estreitamente com a relatividade.

"Sendo assim, é às vezes mais perigoso do que instrutivo imaginar o spin em termos de um modelo clássico do tipo uma pequena esfera girante; é necessário reconhecer, entretanto, ser difícil evitar pensar em tais termos." (Eisberg & Resnick, 1983: 357)

O que fazem os livros didáticos, contudo, é ainda mais nocivo, na medida em que não discutem as limitações do modelo clássico para o spin. Não existe sentido algum em se abordar a mecânica de Dirac no segundo grau, mas tampouco deve-se transmitir o modelo clássico de rotação como inquietante. Caso assim seja, apenas habituaremos nossos alunos a pensarem nos elétrons como pequenos piões.

Acima de tudo, o problema sempre se repete. Esmiuçam-se assuntos desnecessários ao nível de segundo grau, por exigirem conhecimentos matemáticos e físicos mais abrangentes, e, impossibilitados de explicarem-nos devidamente, os autores lançam mão de inúmeras metáforas.

"Uma ilustração do efeito fotoelétrico pode ser dada, considerando-se o bombardeio do vidro de uma janela com jato de areia e com uma pedra. O jato de areia não quebra o vidro, mesmo que empreguemos milhões de grãos. Entretanto, uma única pedrada (ou melhor ainda, uma tijolada) é suficiente para esmagar o vidro (o grão de areia, a pedra e o tijolo, simbolizam quantas de diferentes valores)." (Nehmi, 1965: 17)

Mais uma vez prevalece o macroscópico sobre o submicroscópico, o real aparente sobre o real construído. A emissão de elétrons do metal por meio de incidência de energia radiante é resumida ao choque material, havendo total menosprezo pelo que há de mais importante: o processo de interação da radiação com o elétron.

O tratamento clássico conferido à mecânica quântica pelos livros didáticos atinge diretamente as noções de forma, velocidade e espaço. Vejamos alguns conceitos de orbital:

"O termo orbital foi mantido com o sentido de indicar a forma geométrica da onda estacionária." (Nehmi, 1965: 38, grifos nossos)

"Em função da velocidade do elétron e do raio do átomo podemos imaginar figurativamente que cada elétron encontrar-se-ia praticamente ao mesmo tempo em todos os pontos de uma superfície que envolve ou seja nas proximidades do núcleo do átomo." (Menezes, 1971: 299, grifos nossos)

"Orbital é uma superfície de carga negativa, formando parte da eletrosfera do átomo, em que cabem dois elétrons de spins contrários." (Idem, p. 302, grifos nossos)

Maior honestidade científica existiria se, no caso das duas primeiras citações, fossem discutidas suas limitações, mesmo afirmando ao aluno que no futuro ele pode vir a precisar de uma definição diferente, que ressalte os aspectos matemáticos do termo orbital - resposta da resolução da função de onda para um elétron. A terceira definição, infelizmente, envereda sobre um completo equívoco.

Os livros mais recentes tratam o orbital com imagens ainda mais realistas, inclusive utilizando seguidamente ilustrações. Feltre e Setsuo (1970) se referem ao beija-flor sendo fotografado no ninho como modelo para compreensão do orbital. Juntando-se as fotos perceberemos haver regiões onde é maior a probabilidade de se encontrar o pássaro. Já na edição de 1977, os mesmos autores utilizam a imagem da foto do beija-flor tirando mel de uma flor: no local das asas apenas perceberemos uma mancha, devido a velocidade de deslocamento das asas. Somam a essas, as imagens da corda de violão e do menino na escola: a escola é o orbital do menino. Nesse caso com imagens diferentes os autores abordam pontos diferentes: no caso do beija-flor pode-se discutir a idéia de velocidade e no caso do aluno na escola a idéia de posição, mas isso não é ressaltado pelos autores. A apresentação do modelo é feita sem que se saliente o que se busca demonstrar com ele e o que ele tem de totalmente diverso em relação ao modelo racional.

Lembo e Sardella (1978 e 1987) utilizam, por sua vez, o exemplo da rota de um avião: espaço aéreo calculado matematicamente dentro do qual provavelmente o avião se manterá. Essa imagem possui a vantagem de ser fruto do cálculo matemático e não da visualização, contudo reforça a noção de trajetória. Por outro lado, Sardella e Mateus (1980), na hora de discutirem as formas geométricas dos orbitais, afirmam que probabilidades matemáticas as indicam, em clara expressão de que nada há para explicar. Afinal, a matemática concluiu ... Mas os autores não se

escusam de colocar que as formas dos orbitais d e f são indeterminadas. Diante da dificuldade, optam pela incorreção científica.

Feltre (1983, 1985 e 1989) discute a noção de orbital a partir da imagem das hélices do avião em movimento (ver figura 22) e Braga e Silva (1982, v. 1) utiliza o modelo dos passarinhos no viveiro (ver figura 23). Mais uma vez as limitações dos modelos não são discutidas e alguns erros são cometidos: no primeiro caso fala-se em elétron esparramado devido a sua velocidade e no segundo caso refere-se ao subnível como local onde estão os orbitais (viveiro dos pássaros).

Aliás, é tendência dominante na discussão de níveis e subníveis o vínculo com a idéia de localização. Os números quânticos são ensinados como a forma de se localizar o elétron, forma essa que não se diferencia da forma que utilizamos para localizar as pessoas no mundo.

Feltre e Setsuo (1970 e 1977) salientam que, para a memorização da configuração eletrônica, devemos comparar os elétrons a pensionistas nos cômodos de um prédio de apartamentos. O prédio tem sete andares, com quatro tipos de apartamentos onde o número de cômodos é respectivamente 1, 3, 5 e 7 e em cada cômodo cabe um casal. O inquilino é o elétron, o cômodo é o orbital, o apartamento é o subnível, o andar, a camada e o prédio, a eletrosfera. Mais esquemático, impossível.

Camargo (1973) compara a localização do elétron na eletrosfera à localização de uma pessoa no globo terrestre. A pessoa será localizada a partir de quatro "números quânticos" (rua, número, cidade e país). Algo semelhante faz Braga e Silva (1982, v. 1), afirmando que os quatro números quânticos são comparáveis ao conjunto de informações para localizar certa pessoa em uma cidade. Já em Lembo e Sardella (1978 e 1987) os números quânticos são comparados aos números dos documentos de uma pessoa, ou seja, um método de identificação.

Porém, em Sardella e Mateus (1980) é que a distribuição eletrônica assume realismo mais exacerbado com a figura 24, modelo onde a noção de localização é mais acentuada. O menino distribuindo as bolas pelas caixas representa o que os alunos aprendem a fazer com os elétrons: encaixam conforme os números permitidos nas camadas. Não sabem porque o fazem: repetem simplesmente as regras do jogo. Em nenhum momento lhe é explicado como as regras se constituem e, o que é mais importante, a variabilidade dessas regras.

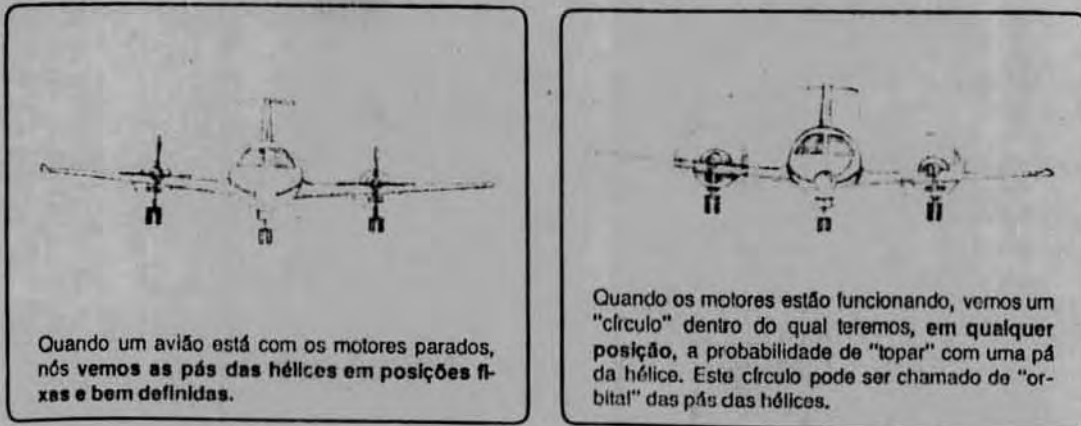
Supostamente, o livro reforça o jogo, tornando o ensino atraente. Em verdade, o lúdico existente no racional se apaga pelo dogmatismo realista.

Sobre o orbital os autores acrescentam:

"Se você fosse um elétron, a sala onde você está e na qual você pode ocupar qualquer carteira, seria o seu orbital; o andar do prédio o seu subnível, e o prédio seria o nível." (p. 87)

Figura 22

Façamos uma comparação grosseira:



Fonte: Feltre, 1988: 71

Figura 23

O conceito de orbital será precedido da seguinte comparação.

Considere um pássaro dentro de um viveiro e o viveiro em um sítio. Vamos dizer que se consiga fotografar as posições deste pássaro no viveiro, segundo após segundo, e que se marque cada posição do pássaro. Após certo tempo fotografando as posições deste pássaro, e, conseqüentemente, marcando tais posições, chega-se ao desenho apresentado na Figura 2.12.



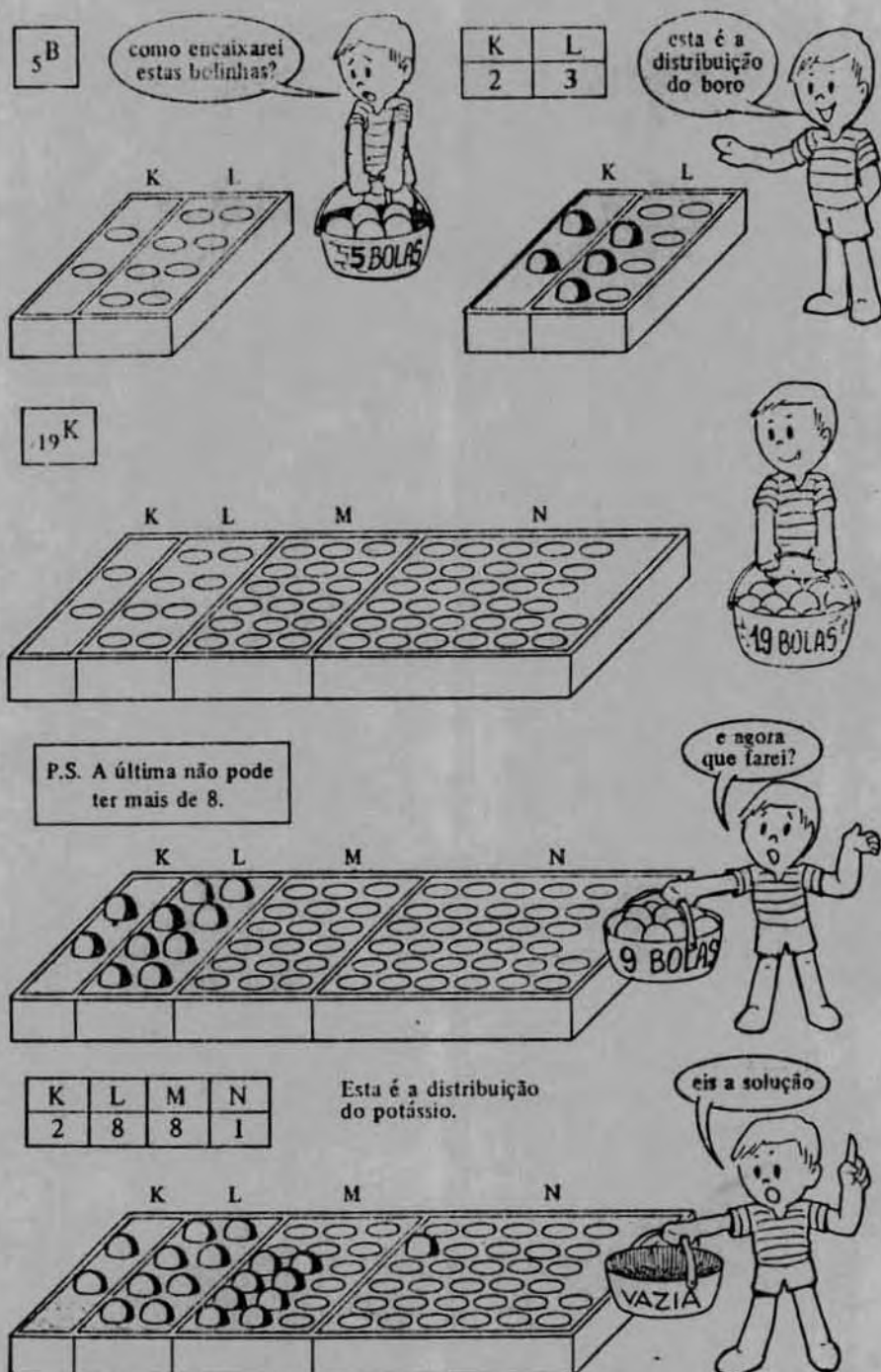
Figura 2.12

Pela figura, vemos que a região próxima do ninho apresenta uma quantidade (densidade) de figuras do pássaro muito maior que outras regiões, e concluímos que é mais provável encontrar o pássaro próximo ao ninho do que em outras regiões, embora também possa ser encontrado fora deste local, com menor probabilidade, pois a quantidade (densidade) de figuras do pássaro é menor.

A região com maior quantidade de figuras do pássaro (região densa), ou seja, a região onde é mais provável encontrar o pássaro, representa o *orbital* do pássaro. Assim, temos:

Fonte: Braga & Silva, 1982, v. 1: 36

Figura 24



Fonte: Sardella & Mateus, 1980: 24

Incoerentemente, os autores em seguida colocam que os subníveis no interior de um nível e os orbitais no interior de um subnível devem ser compreendidos sem serem imaginados. Se apenas são oferecidas imagens vazias de raciocínios, como esperar que o aluno compreenda sem imaginar? E o que é mais grave, como não esperar que ele não associe a essas imagens seus sonhos particulares, já que todo espaço há para o irracional?

Outros tópicos de extrema dificuldade para o professor, e por isso mesmo se apresentando como terrenos férteis para as metáforas do realismo ingênuo, são os conceitos básicos da mecânica quântica, tais como o caráter ondulatório do elétron, a teoria dos quanta, a emissão de radiação e as partículas subatômicas. Os autores diante de tais temas trabalham fundamentalmente segundo conceitos da mecânica clássica ou mesmo do senso comum, obstaculizando a compreensão do que há de mais importante: a ruptura entre a física newtoniana e a física não-newtoniana.

Temos um exemplo na figura 25. Os autores de livros didáticos parecem não querer admitir que existem conceitos abstratos que não são passíveis de serem traduzidos em dados concretos. Na associação do desenho à idéia de partícula-onda desejam, mais uma vez, acomodar a razão. Alguns livros chegam a colocar desenhos semelhantes como sendo o modelo atômico de De Broglie. Ou seja, não existe imagem concreta impossível ao realista, sempre se sobrepondo à matematização. Quando expressam essa impossibilidade, colocam-na na forma descrita abaixo:

"Se você tentar imaginar uma bola de futebol ou mesmo um grão de poeira associado a uma onda, poderá achar tudo confuso.

Mas o fato é que no mundo atômico as partículas possuem um comportamento duplo de partícula e onda.

Isto pode ser provado em laboratório."
(Sardella & Lembo, 1978: 89)

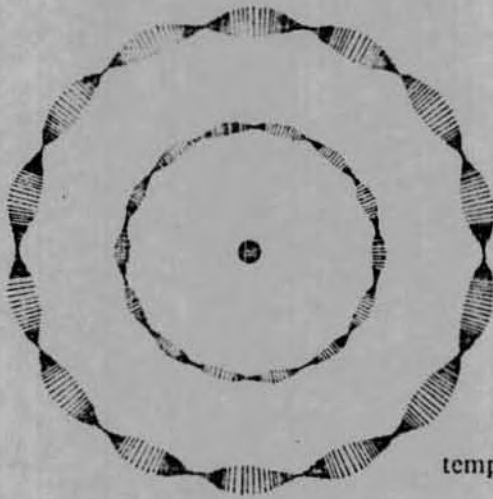
Utiliza-se como argumento de poder a prova empírica, já que nada se consegue explicar, cometendo-se inclusive erros como os de colocar a idéia de comportamento duplo para o elétron, fazendo o aluno pensar em algo que ora é, ora não é, e não como a unidade diferenciada, nem partícula nem onda.

O tratamento da teoria dos quanta é ainda mais inconseqüentemente.

"Podemos dizer que fótons são 'pacotinhos' de energia, sob forma de ondas eletromagnéticas, emitidos pelos átomos." (Camargo, 1973: 167)

Em iguais termos se manifesta Matsui (1987, v. 1). O termo "pacote de energia" utilizado por Planck nada tem a ver com sua utilização nos livros didáticos, já que neste caso inexiste a

Figura 25



O elétron se comporta, ao mesmo tempo, como **partícula** e como **onda**.

Fonte: Lembo & Sardella, 1987: 138

matematização subsidiando a metáfora. A imagem do pacote de Planck expressa uma teoria racionalmente constituída; a imagem dos livros didáticos não ultrapassa o realismo ingênuo. Nada melhor expressa isso que a figura 26.

Quando os autores usam o imperativo "veja" sequer sinalizam para uma analogia. Desejam exatamente que o aluno coloque os olhos sobre a figura e capte a imagem como real: os pacotes desenhados são os quanta. E, segundo eles, quanto maior a energia, maior o pacote, logo fica fácil mostrar um quantum de luz vermelha e um quantum de luz ultravioleta.

Na pedagogia realista, o aluno vê e, por isso, aprende. Se não há como ver, criam-se as imagens. Quanto mais imagens, melhor; assim os olhos não são tentados a se fechar, permitindo à razão entrar em ação.

Na discussão sobre emissão de energia, Feltre e Setsuo (1970) associa os níveis de energia aos degraus de uma escadaria, igualmente valorizando a imagem e nada desenvolvendo sobre o conceito (ver figura 27).

Igual tratamento é conferido às subpartículas. Feltre (1976) na sua ânsia de realismo "desenha" a saída da partícula beta e do neutrino de um núcleo. Todo o caráter quântico do neutrino é assim neutralizado, representando-o por uma pequena esfera. E pior é que não se explica o que é o neutrino e porque é liberado. Por que então citá-lo? O mesmo fazem Sardella e Mateus (1983) e Politi (1986).

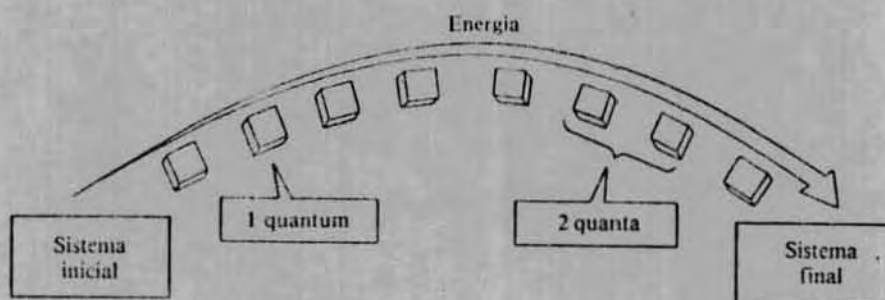
Outro exemplo de um realismo ingênuo utilizado para "explicar" algo que sequer há necessidade de ser referido se encontra em Nabuco e Barros (1978). Na discussão da estabilidade nuclear, os autores se referem aos mésons e para tanto utilizam a imagem do jogo de tênis (ver figura 28). O que o aluno pode aprender com essa metáfora? Para o entendimento das forças nucleares a discussão precisaria ser muito maior, partindo-se do porquê de se haver pensado na sua existência, discutindo-se as limitações das forças eletromagnética e gravitacional no campo nuclear.

O apelo às imagens fáceis, concretas, capazes de permitir ao aluno associação direta com idéias que lhe são familiares, mostra-se então como o caminho preferido dos mestres. Não há problematização dos conceitos, nem tampouco o desenvolvimento do raciocínio abstrato do aluno. Mais uma vez o único objetivo alcançado é a consolidação do senso comum na mente do aluno. Transmite-se apenas a sombra da ciência, imprecisa, vaga. Não estranhemos, portanto, porque nossos alunos não aprendem. Antes assim: os espíritos ao menos se rebelam diante da fragilidade dos princípios e de tamanha irrazão.

11. A contribuição de Max Planck

Em 1900, Max Planck lançou uma idéia verdadeiramente espetacular sobre a propagação da energia. Segundo ele, a energia seria perdida ou recebida por um sistema em "pacotes", e chamou cada pacote de **quantum** de energia. (O plural de **quantum** é **quanta**.)

Veja:

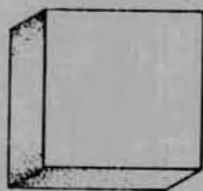


Quantum é o "pacote" fundamental de energia.

Agora observe alguns fatos importantes acerca desta teoria:

- A troca de energia sempre se dá através de um **número inteiro de quanta**, ou seja, um sistema perde ou ganha 1, 2, 3, ..., n quanta, nunca $\frac{1}{2}$ quantum, por exemplo. Então, o **quantum é indivisível**.
- Cada tipo de energia tem o seu quantum característico. Por exemplo, o quantum da luz vermelha é menor que o quantum da luz ultravioleta, porque esta é mais energética que a luz vermelha. Por outras palavras, quanto mais energia possuir uma radiação, maior será o seu "pacote" fundamental de energia, ou seja, **maior será o seu quantum**.

Veja:



quantum da luz ultravioleta



quantum da luz vermelha

Fonte: Lembo & Sardella, 1987: 132

Figura 27

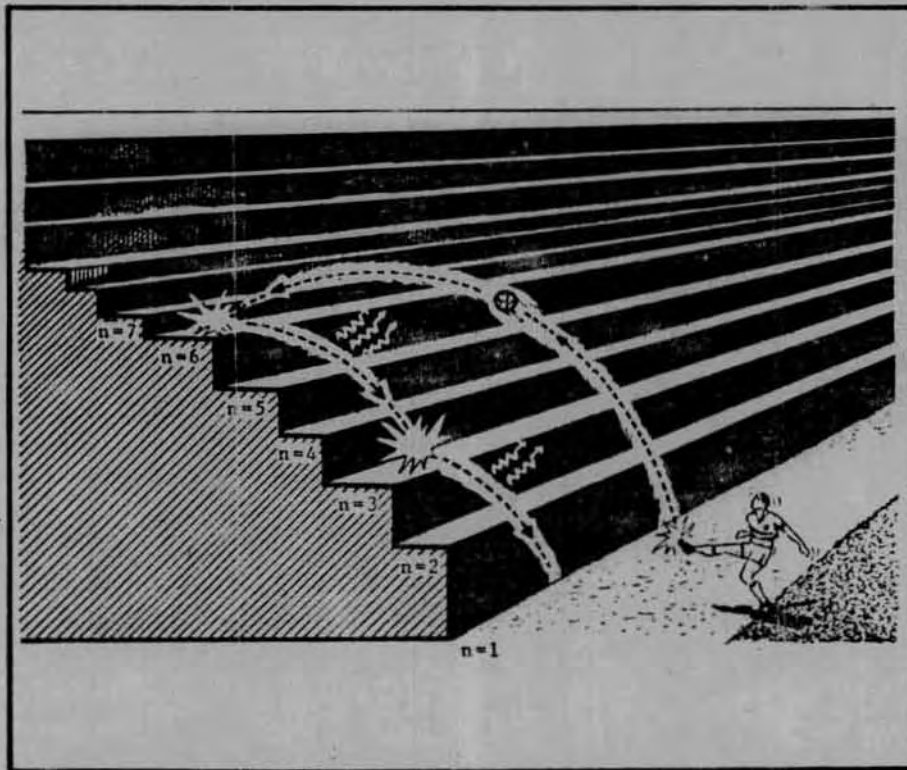
No desenho esquemático vê-se que, para cada " n ", corresponde determinada energia. Então, a energia do elétron não varia de modo contínuo.

Apenas as posições inicial e final no "salto do elétron", é que determina o " λ " do fóton emitido.

Para melhor visualizar a idéia energética do elétron, imagine uma miniatura de um estádio de futebol com suas arquibancadas.

Suponhamos que o jogador esteja bem próximo das arquibancadas (fora do campo).

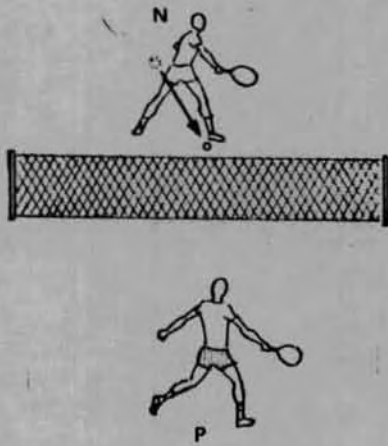
Faça de conta que a "bola" é o elétron que, chutada pelo "craque" (que fornece energia), vai para o alto e depois desce a arquibancada dando "saltos".



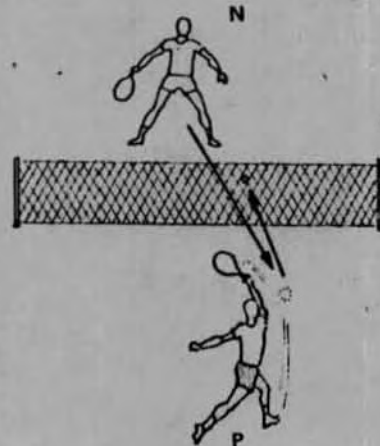
Fonte: Feltre & Setsuo, 1970: 134

Figura 28

Nos esquemas abaixo, os tenistas representam o próton e o nêutron, enquanto a bola representa o méson.



nêutron \rightarrow próton + méson negativo



próton \rightarrow nêutron + méson positivo

Fonte: Nabuco & Barros, 1978: 102

V.4.3 - Obstáculo Verbal

O obstáculo verbal é delineado por Bachelard, na *Formation de l'Esprit Scientifique*, como os hábitos puramente verbais do pensamento; quando uma única palavra é considerada enquanto domínio explicativo, exatamente porque introduz-nos em uma rede de imagens capazes de entorpecer o espírito com explicações fáceis.

Dentro do objetivo da obra, Bachelard analisa obstáculos no pensamento pré-científico, sendo o uso da palavra esponja um dos exemplos abordados. Como afirma o epistemólogo francês, a função da esponja é tão evidente que dispensa explicações, fazendo com que o transporte do caráter esponjoso a outros objetos se caracterize como generalização precipitada, verbalismo se constituindo em obstáculo.

É o caso de Réamur, físico do século XVIII citado por Bachelard, ao considerar o ar como uma esponja. Com essa metáfora o cientista julgava explicar a compressão e expansão do ar. Por outro lado, fazia-o questionar a concepção de Mariotte para a dissolução do ar em água - encarada como análoga à dissolução do sal. Se o ar é uma esponja, é ele que absorve a água, e uma vez molhado, não mais pode ser comprimido.

Bachelard, em obras posteriores, volta a se preocupar com os problemas do verbalismo, quando então amplia a discussão para o campo da linguagem científica como um todo. Já tivemos ocasião de nos referirmos a essa discussão ao abordarmos a ruptura do conhecimento científico (ver II.1): a construção de nova racionalidade exige nova linguagem.

Será, então, intrinsecamente associada à noção de ruptura que se constituirá a linguagem para Bachelard, podendo-se a partir daí aprofundar o enfoque dos obstáculos verbais.

No dizer de Bachelard (MR), a linguagem científica se encontra em estado de revolução semântica permanente. Portanto, a desatenção e o descaso para com o novo sentido dos termos nos limites da nova teoria constitui-se por si só em obstáculo. Assim sendo, não é possível efetuar o transporte do conceito newtoniano de massa - razão entre a força aplicada ao objeto e a aceleração obtida - para os limites da física relativística.

Os termos camada ou nível, utilizados em textos que discutem o modelo quântico para o átomo, não podem ser compreendidos da mesma forma que o seriam se discutíssemos o modelo de Rutherford, ou mesmo de Bohr. Por sua vez, a palavra orbital deriva do termo órbita e com ele rompe completamente.

Além das rupturas presentes no processo de construção da ciência, precisamos estar atentos ao mascaramento das rupturas existentes entre o conhecimento científico e o conhecimento comum, ocasionado pela compreensão equivocada dos termos científicos.

Como exemplo, Bachelard (RA) discute o rompimento radical da técnica da lâmpada elétrica com todas as técnicas de iluminação que lhe foram precedentes. Antes da lâmpada elétrica, a iluminação se baseava na combustão; a lâmpada de Edison se baseia no impedimento de que o material queime. Configura-se a

ruptura que pode ser nublada pelo termo lâmpada, entendido na acepção de objeto utilizado para iluminar.

"A lâmpada elétrica não tem, absolutamente, nenhum caráter constitutivo comum com a lâmpada ordinária. O único caráter que permite designar as duas lâmpadas pelo mesmo termo é que todas as duas iluminam o quarto quando vem a noite. Para aproximá-las, para confundi-las, para designá-las, faz-se delas um objeto de comportamento da vida comum. Mas essa unidade de objetivo só é unidade de pensamento para quem não pense em outra coisa além do objetivo." (Bachelard, RA, 1975: 106, tradução própria)

De tal maneira os continuístas da cultura pretendem fazer valer seus argumentos: interpretando a linguagem científica pelo uso que dela faz o senso comum. Daí Bachelard (MR) salientar o uso de aspas como símbolo da descontinuidade do saber. O termo entre aspas é sempre um termo retificado, um termo da nova linguagem construída pela nova razão.

Bachelard (MR) exemplifica esse uso científico das aspas com a utilização da palavra temperatura no modelo da gota líquida, construído por Niels Bohr para o núcleo atômico. Compreendendo-se o núcleo como uma "gota", dado aumento de "temperatura" acarretará sua fissão. As palavras gota e temperatura nada se assemelham aos termos do senso comum, e por isso são devidamente aspeados. A maior temperatura do núcleo é causada pela entrada de mais um nucleon e de forma alguma pode ser medida com termômetro. Nem tampouco a gota nuclear é necessariamente esférica como gotas d'água.

"A linguagem científica é, por princípio, uma neo-linguagem. Para ser entendido na cidade científica, é necessário falar cientificamente a linguagem científica, traduzindo os termos da linguagem comum em linguagem científica." (Bachelard, MR, 1972: 216, tradução própria)

E' dessa maneira que Bachelard (AR) diferencia claramente o repouso das idéias científicas sobre as imagens, dos obstáculos epistemológicos. Sem dúvida as imagens garantem certa comodidade à linguagem científica, após a construção das idéias. Porém, passa a se constituir em obstáculo, a linguagem que se traduz apenas em imagens, o que ocorre sempre que ela é apresentada sem a prévia discussão das idéias.

Toda vez que a apreensão da linguagem se faz fora dos limites de pensamento em que foi construída, só pode acarretar equívocos, erros, interpretações falhas que entravam o verdadeiro entendimento.

Isso não apenas se dá no campo da ciência. Bachelard (PD) aponta para as falhas na compreensão da alquimia, como consequência da interpretação equivocada de sua linguagem.

O animismo estudioso dos alquimistas só pode ser apreendido se a língua alquímica for entendida enquanto língua do devaneio, dos sonhos, da solidão.

"Um espírito positivo - algum historiador da alquimia desejoso de encontrar, sob os textos de exaltação, rudimentos de ciência - não cessará de 'reduzir' a linguagem. Mas tais textos foram vivos por sua linguagem. E o psicólogo não pode se enganar aí; a linguagem do alquimista é uma linguagem apaixonada, uma linguagem que só pode ser entendida como o diálogo de uma alma com um animus, unidos na alma de um sonhador." (Bachelard, PD, 1988: 68)

Tendo-se em vista os livros didáticos, a linguagem é um dos pontos que mais necessita de avaliação criteriosa. O uso indiscriminado de termos da linguagem comum pode não apenas impedir o domínio do conhecimento científico, como também cristalizar conceitos errados - verdadeiros obstáculos à abstração.

Alguns exemplos desse mau uso da linguagem já foram apontados nos tópicos sobre o realismo e o animismo (IV.4.1 e IV.4.2). Inúmeras vezes, termos do senso comum são utilizados única e exclusivamente para reter o aluno no realismo ingênuo ou ainda para transmitir uma visão anímica e antropomórfica do mundo, ações justificadas pela necessidade, altamente questionável, de concretizar a ciência a fim de permitir seu entendimento.

E' assim no caso do uso do termo nobreza, analisado em IV.4.1. Dentro do conhecimento científico, ser nobre significa possuir baixa reatividade, e alguns livros incorporam o termo de forma a salientar uma similitude com o ser nobre da sociedade humana.

Igualmente a palavra afinidade é empregada com forte conotação anímica ocasionada, ou por sua frágil base físico-química, existente nos livros até meados de 60, ou por uso intencional dos autores pós-60, os quais julgam facilitar a compreensão do aluno a partir da ênfase na categoria da vontade. Nos livros até 60 a afinidade é definida ora como força atrativa que une os átomos ou energia íntima ou química dos átomos (Nobre, 1933), ora como força que mantém os átomos unidos na molécula (Simas Filho, 1953), ou força que solicita os elementos a se combinarem, mantendo-os unidos após a combinação (Fróes, 1935 e 1940). Nessa confusa conceituação ainda há quem diga que a verdadeira natureza da afinidade é ignorada, mas que ela pode ser medida (Costa & Pasquale, 1953, 3a. série). Conceito tão inconsistente, ocasionando mesmo uma medida sem teoria, torna-se alvo fácil de imagens criadas pelo espírito para preencher o

espaço vago da razão; deixa de ser conceito para se fazer obstáculo.

Nos livros da segunda fase, após a inovação educacional, a idéia de afinidade se mantém enquanto "recurso didático" e se vincula pela linguagem animista: vontade de receber ou doar elétrons. Ou então prevalece o realismo através de termos como "puxar", "empurrar", "sugar" elétrons, todos visando que o aluno proceda associações imediatas com os fenômenos macroscópicos. Trata-se de um empobrecimento da linguagem científica, em nada contribuindo para a construção do conhecimento.

Exemplo típico se encontra no desenvolvimento da teoria das colisões por Feltre (1983, v. 2 e 1989, v. 2), tratado em V.4.2. O termo científico **colisão** é retirado da linguagem comum, ganhando status próprio dentro da teoria cinética dos gases, sendo utilizado nos livros didáticos sem aspas e sem a devida discussão a respeito dos limites do termo na linguagem científica. Mas o termo **trombada**, não científico, realista ao extremo, é apresentado entre aspas.

Ou seja, o ato de aspear nos livros de química existe em virtude dos autores se permitirem aos maiores barbarismos em nome de um pretenso didatismo.

É o caso do exemplo abaixo:

"Neutralização: quase todas as propriedades dos ácidos 'desaparecem' ou melhor são 'neutralizadas' pela adição de uma base (ou algumas outras substâncias, como por exemplo, carbonatos, bicarbonatos, etc)." (Feltre & Setsuo, 1969: 175)

A ação de neutralizar é associada à ação de fazer desaparecer, reforçando-se com isso o sentido não-científico da neutralização - anular, eliminar. Por isso as palavras **desaparecem** e **neutralizadas** vêm entre aspas: ressalva-se assim o uso impróprio, não-científico. Ademais, constitui erro grave induzir o aluno a conceber os íons carbonato e bicarbonato como não sendo bases. Retornaremos a este último ponto em IV.4.4.

Por outro lado, já que tratamos de obras didáticas, tendo não-cientistas como público, não adianta se fazer o uso científico de palavras do senso comum sem que haja a devida explicação da diferença. O autor pode pensar no conceito científico ao escrever o texto, mas se não salientar a diferença, o aluno compreenderá a palavra com o conceito pertencente ao domínio do conhecimento comum, que lhe é mais próximo e acessível. Toda aula e toda explicação de um livro didático deve ser precedida pela discussão dos termos utilizados, como forma de proceder a inserção do aluno no universo científico.

Por exemplo, faz parte do conhecimento prévio do aluno a concepção sensorial do que é calor, algo que se opõe à noção de frio, e essencialmente se associa à temperatura. Portanto, se iniciarmos o estudo de Termoquímica sem a prévia discussão do que é calor, confrontando a aceção científica do termo com a aceção do conhecimento comum, estaremos introduzindo conceitos que se

transformarão em noções-obstáculo, canais de bloqueio do aprendizado.

Não haverá como o aluno aceitar que um objeto com temperatura - 10 °C libere calor para um objeto a - 20 °C. Para ele, dentro da estrutura do senso comum, é plenamente aceitável nesse caso a transmissão de frio. E mais ainda, como fazê-lo compreender que dois objetos com iguais temperaturas podem liberar diferentes quantidades de calor ?

Baseado nos pressupostos discutidos anteriormente, procedemos a análise dos livros didáticos e constatamos três diferentes tipos de obstáculos verbais: aqueles referentes aos equívocos de linguagem dos próprios autores, aqueles referentes à desatenção para as rupturas entre conhecimento comum e conhecimento científico, e por último os referentes à não percepção das rupturas intrínsecas ao próprio conhecimento científico.

Ao contrário do que foi relatado para os obstáculos animistas e realistas, para os obstáculos verbais não há distinção tão precisa entre a fase até meados de 60 e a fase posterior. Excetuando no caso dos obstáculos verbais associados ao animismo e ao realismo, os demais se apresentam uniformes de reforma a reforma.

No que se refere aos equívocos de linguagem dos autores, existem alguns exemplos bem significativos, sendo um deles o que se encontra abaixo:

"Nos compostos iônicos fala-se em ligação eletrovalente ou ligação por eletrovalência entre os íons. O termo 'ligação' não é conveniente porque nestes compostos não existem átomos ligados, entre si, mas existem os íons, atraídos por força eletrostática. Não existem moléculas de compostos iônicos, mas existem íons livres." (Camargo & Saffioti, 1958: 199)

Os autores demonstram se equivocarem completamente com o termo **ligação**. Para eles estar ligado é necessariamente constituir molécula; compostos iônicos apresentam íons livres. Seria interessante saber como interpretariam o fato do composto com "íons livres" não permitir a passagem da corrente elétrica, a não ser quando fundido.

Outro tipo de erro muito comum, associado à linguagem, é aquele que denota confusão dos autores com os conceitos da física e da química. O uso da palavra **força** é um dos mais problemáticos para os químicos. Já observamos sua utilização no caso do conceito de afinidade, confundindo-se inclusive com outro conceito mal desenvolvido: a energia. Mas o exemplo mais representativo desse emprego equivocado do termo **força** se encontra na enunciação do Princípio de Le Chatelier: comumente

exposto como princípio de fuga ante à força. Ou seja, a toda força aplicada ao sistema em equilíbrio corresponde uma reação que promove sua neutralização.

Claramente se evidencia nessa expressão do princípio a influência tardia do mecanicismo: para toda ação corresponde uma reação igual e contrária. Baseado nisso, o Princípio de Le Chatelier é introduzido por associação com a física. Entretanto, não podemos considerar alterações na concentração, pressão e temperatura como forças atuando no sistema em equilíbrio. Dessa maneira os autores de livros didáticos apenas se furtam a discutir o assunto mais detidamente.

Essa idéia de ação e reação se mostra ainda mais incerta no exemplo abaixo:

"O termo reação implica na presença de duas coisas: uma que reage e a outra que age."
(Irmãos Maristas, 1961: 245)

Com afirmações como essa, os autores fazem o aluno correlacionar erradamente o termo reação na física com o termo reação na química, obstaculizando igualmente a compreensão do processo reacional enquanto processo de interação mútua das substâncias reagentes. A reação perde sua característica fundamental: ação recíproca entre substâncias, com as propriedades sendo encaradas enquanto consequência dessa ação.

Os livros didáticos demonstram total descaso no que se refere à discussão das rupturas entre o conhecimento comum e o conhecimento científico. Raramente os autores atentam para o fato de que, possuindo sua origem na linguagem do senso comum, os termos científicos necessitam sofrer análise constante, a fim de que o aluno perceba a ruptura existente com o que lhe é familiar. Um dos poucos exemplos que pudemos extrair, contrário a essa afirmativa, se encontra abaixo.

"No nosso dia-a-dia é muito comum escutarmos que o ácido sulfúrico é um ácido forte. Mas, o que significa o termo 'ácido forte' ? Na linguagem popular, o ácido forte é aquele que corrói metais, que, se cair na mão de uma pessoa, causa séria queimadura, que se cair na roupa, fura esta roupa, etc. Em Química não é este o conceito de ácido forte." (Braga & Silva, 1982, v.1: 160)

Caso não houvesse tal preâmbulo ao desenvolvimento do conceito de ácido forte, o aluno sobreporia ao conceito científico seus conhecimentos cotidianos intuitivos, configurando-se um obstáculo verbal.

Para a discussão acerca dos obstáculos verbais referentes à essa desconsideração da ruptura entre o conhecimento comum e o conhecimento científico, optamos por analisar um ponto do conteúdo e as consequências advindas da cristalização desses obstáculos. A escolha recaiu sobre o ensinamento do conceito de espontaneidade.

Nos livros pertencentes ao período de vigência das reformas Campos e Capanema, a termodinâmica química, campo ao qual se vincula o estudo da espontaneidade, era ainda incipiente. As reações eram classificadas em espontâneas ou provocadas segundo critérios respaldados diretamente no senso comum. Espontâneo era o processo que ocorria sem ação externa, naturalmente; reações que necessitassem de calor, quer fosse para favorecer seu equilíbrio, quer fosse para favorecer sua cinética, eram consideradas como não espontâneas. Pelo exemplo abaixo podemos compreender como a espontaneidade se associava ao que fisicamente consideramos como processo irreversível, por violar a segunda lei da Termodinâmica.

"Uma reação só se realiza espontaneamente quando ocasiona uma produção de energia livre pelas mesmas razões que um objeto não se eleva no espaço espontaneamente." (Fróes, 1935: 44)

Alguns autores colocavam a possibilidade de uma reação exotérmica ser provocada (Fróes, 1940; Brandão, Ref Campos), mas insistiam que as reações endotérmicas são sempre provocadas, fornecendo a justificativa nos termos abaixo:

"(...) o calor [atua] nas reações endotérmicas, como causa eficiente, ao passo que, nas reações exotérmicas, onde a sua intervenção pareceria desnecessária, funciona, por vezes, como causa determinante, sendo a quantidade de calor fornecida, insignificante, em relação ao trabalho total a que corresponde a ação química considerada." (Brandão, Ref Campos: 339)

Teoricamente sustentava-se o conceito de espontaneidade a partir do desenvolvimento dos princípios de Berthelot: "Um sistema de corpos tende a evoluir segundo a transformação química que produz a maior quantidade de energia" (Amado, 1939: 22). A idéia parecia suficientemente clara, capaz de justificar sem maiores problemas o porquê da ocorrência de reações químicas. Afinal, se há liberação de calor, passa-se de um estado de maior energia, mais instável, para um estado de menor energia, mais estável (19).

Contudo, essa clareza apenas impedia a racionalização do conceito. Existem reações exotérmicas - tais como a queima do carvão - que não ocorrem sem que a ela cedamos uma ativação

inicial. Como enquadrar uma reação capaz de liberar tanto calor, no rol das não espontâneas? A solução foi encontrada em verdadeiras noções-obstáculo: as resistências passivas.

"(...) um sistema cuja evolução seja capaz de produzir calor tende a evolver espontaneamente. Si nem sempre evolue é porque 'resistências passivas', como a pequena temperatura ambiente relativa ou outra, age como estabilisante, prendendo o sistema num falso equilíbrio, que desaparecerá com a cessação da força estabilisante ou com a ação de catalizadores." (Pecegueiro do Amaral, 1933, v.2: 39)

"A maior ou menor estabilidade dos corpos depende das suas resistências passivas, isto é, das circunstâncias naturais que impedem a realização das reações, ou seja, que impedem a transformação íntima dos corpos." (Fróes, 1935: 44)

As resistências passivas são assim consideradas como causas da não espontaneidade, agora associada à baixa velocidade de reação. É interessante notar que o termo energia livre já era utilizado na literatura didática.

"Um sistema químico cuja evolução liberta energia livre, tende a evolver espontaneamente e para o sistema que liberta maior energia na sua produção. Em rigor deve-se falar em 'energia livre' ou 'trabalho' e não em 'calor', porquanto este é apenas uma das manifestações da energia libertada, e não a sua totalidade." (Pecegueiro do Amaral, 1933, v. 2: 38-39)

"Energia livre é, pois, o máximo de trabalho que teoricamente um fenómeno póde produzir quando utilizado para movimentar uma máquina perfeita de qualquer género." (Fróes, 1935: 67)

Nota-se a total imprecisão do conceito, impossibilitando a aplicação racional do mesmo. Permanece o obstáculo causado pelo sentido não científico do termo espontaneidade. Nem mesmo o fato de se constatar a impossibilidade de aplicar o conceito aos processos reversíveis - afinal os dois sentidos ocorrem e apenas um é exotérmico - provoca o questionamento da teoria.

Por outro lado, segundo os autores dessa fase, podemos evitar o fornecimento de calor a fim de vencer as resistências passivas, através da adição de um catalisador, o qual retirará o sistema do estado de falso equilíbrio ou meta-estável.

"Pode-se estimular estes sistemas meta-estáveis, promovendo sua evolução, ou melhor, apressando-a (pois geralmente ela se dá embora muito lentamente, o que dá a aparência de inércia) por meio de catalizadores, os quais agem como lubrificantes abolindo o atrito que impedia a queda da rocha pelo vale, na comparação de Ostwald." (Pecegueiro do Amaral, 1933, v.2: 27)

Nesse caso constatamos a presença de outro obstáculo verbal: a utilização dos termos atrito e lubrificante. Para Ostwald, se algo impedia a ocorrência do "movimento" nas reações, facilmente se poderia proceder sua analogia com o atrito mecânico. Ora, o que permite a supressão do atrito é o lubrificante, portanto o catalisador é considerado como tal. E através de analogias tão equivocadas quanto simples e gerais, nada era explicado.

E onde predomina o irracional, os obstáculos facilmente se constituem. Há quem insista na relação dos catalisadores com o calor, chegando a vincular a força de um catalisador, entre outros fatores, com a cor preta (20): o poder termo-absorvente é maior (Faccini, 1941, 5a. série). Dificultava-se com isso a verdadeira compreensão da catálise, mantendo-se forte a concepção de ação por presença.

O obstáculo à compreensão da termodinâmica das reações químicas encontra-se claramente no apego à concepção de espontaneidade como aquilo que ocorre naturalmente. Esse conceito não se sustenta, mas permanece presente inviabilizando a interpretação mais coerente da cinética e do equilíbrio químico.

Nos livros pertencentes à Reforma Capanema não há grandes modificações nesse quadro. Em conjunto a teoria é a mesma, excetuando quanto ao fato de se apresentar mais frequentemente os limites do princípio de Bertholet. Por exemplo, no caso das então chamadas reações reversíveis, o princípio só se aplicaria em temperaturas baixas (as reações exotérmicas são favorecidas por temperaturas baixas).

Permanecem os termos físicos e a classificação das reações em reversíveis e irreversíveis, espontâneas e provocadas.

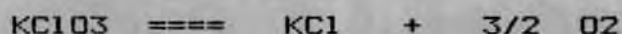
Camargo e Saffioti (1959) apresentam como exemplo de reação reversível



e como exemplo de reação irreversível



O livro dos Irmãos Maristas (1961) e o de Neiva & Cohen (1961) colocam a mesma reação do CaCO_3 como exemplo de reação reversível e:



reação exatamente do mesmo tipo da anterior, como exemplo de processo irreversível. Macedo (1948, v. 3) também aponta a decomposição do KClO_3 como irreversível por formar produto gasoso, e a reação do AgNO_3 com o NaCl como irreversível por formar precipitado. Mas nenhum deles salienta a necessidade do sistema estar fechado para garantir a reversibilidade no caso da formação de gases.

O maior equívoco se encontra em Macedo (1948, v.3) ao colocar a mistura de KNO_3 e NaCl como processo reversível, quando no caso sequer há reação. Depois é que acrescenta a inexistência, na prática, de reações tipicamente irreversíveis: sempre há alguma reversibilidade, mesmo que não se note.

O conceito de irreversibilidade, causador de toda essa confusão no entendimento do equilíbrio químico, permanece porque existe o conceito de espontaneidade: se um sentido é espontâneo, o sentido oposto deve ser obrigatoriamente não espontâneo. Por outro lado, não se questiona que se algumas reações são reversíveis, o conceito de espontaneidade não se aplica a elas.

Poder-se-ia dizer que, com a não aplicação dos princípios mais avançados da termodinâmica à química, mais precisamente, do conceito de entropia, havia incompreensão acerca de porque ocorrem as reações químicas, ocasionando toda essa sorte de erros e obstáculos. Contudo, se assim fosse, após a introdução do conceito de entropia, o ensino de química deveria sofrer grande avanço nesse campo.

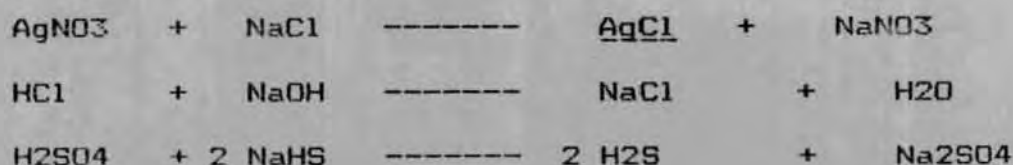
Assim não se dá. Dentre os livros analisados, o primeiro a se referir à entropia é o CBA, logo seguido pelo Chem Study, mas os dois, mesmo possuindo tratamento cuidadoso da questão energética, não discutem a diferenciação do sentido químico da espontaneidade em relação ao senso comum. Mais problemático ainda é o que vem sendo feito nas demais obras.

Dentre os livros nacionais, o primeiro a introduzir o termo entropia foi igualmente o primeiro livro somente de Físico-Química, da autoria de Feltre e Setsuo (1968). Nele, não há discussão do termo espontaneidade dentro dos limites da ciência. Ou seja, de acordo com a termodinâmica química, a espontaneidade se associa ao K_c alto para determinado sentido da reação. Não implica em ocorrência ou não da reação, na medida em que todas as reações são reversíveis, mas, sim, em maior ou menor tendência da reação ocorrer. Em outras palavras, maior ou menor extensão da reação.

Mas quando a questão é colocada nos livros didáticos nada disso é explicado. Ao contrário, a discussão a respeito da espontaneidade se restringe à colocação da sua dependência com ΔG , associando-o com ocorrência ou não ocorrência do processo. Inclusive não se salienta que um processo pode ter ΔG menor que zero apenas em temperaturas altas, o que implica em ação externa para efetiva ocorrência.

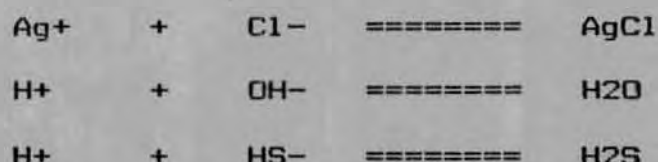
Por sua vez, permanece a classificação das reações em

reversíveis e irreversíveis, obstaculizando a compreensão do equilíbrio químico e, principalmente, do equilíbrio iônico. Isso porque, primeiro o aluno aprende que reações como:



são reações irreversíveis, que ocorrem completamente.

Depois, iniciado o estudo de equilíbrio, deverá encarar como reversíveis as reações:



Dessa maneira, é impossível a química ser lógica, logo é também impossível que seja compreendida.

Quanto ao terceiro tipo de obstáculo verbal - não compreensão das rupturas intrínsecas ao conhecimento científico - encontramos um ponto de análise importante na discussão da eletronegatividade e do potencial de eletrodo.

Os dois conceitos possuem uma história com pontos de encontro, passíveis de provocarem confusões aos que não se mostram atentos às revoluções ocorridas na linguagem científica.

Segundo Rheinboldt (1984), Berzelius, ao desenvolver a teoria eletroquímica, organizou os corpos simples em ordem decrescente de eletronegatividade, sendo essa série definida em função da maneira como os elementos se ligam nos compostos.

"Um corpo, que se pode combinar com outros, ora como eletropositivo, ora como eletronegativo, pode ser expulso do primeiro composto só por corpos mais positivos e do segundo só por mais negativos; assim o enxofre pode ser expulso do ácido sulfúrico, em que é eletropositivo, só por ainda mais positivos; mas do sulfeto de chumbo, em que é eletronegativo, pode ser expulso por corpos que são em relação ao chumbo negativos e ainda mais negativos que o enxofre." (Berzelius, 1836 citado por Rheinboldt, 1984: 2005)

Dessa maneira constatamos que o conceito de

eletropositividade / eletronegatividade de Berzelius é equidistante dos conceitos atuais de potencial de eletrodo e de eletronegatividade, isso porque é definido a partir dos compostos químicos, ou seja, em função da carga do elemento no composto determinada através da eletrólise.

O termo utilizado por Berzelius ainda hoje pertence ao vocabulário científico, porém com sentido totalmente diverso. Atualmente a eletronegatividade "representa a atração por elétrons, de um átomo neutro numa molécula" (Pauling citado por Parente, 1969). Ainda por Parente (1969), temos que a eletronegatividade de Mulliken pode ser obtida por:

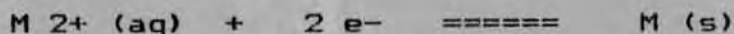
$$IA + EA / 2 = \text{eletronegatividade de A}$$

onde: IA = energia de ionização

EA = afinidade eletrônica

Como a energia de ionização e a afinidade eletrônica são medidas em átomos isolados, o mesmo teremos para a eletronegatividade. Há, portanto, total distinção com o conceito de potencial de eletrodo, que é determinado por processo totalmente diverso.

O potencial de redução, ao contrário da eletronegatividade, se refere a um processo coletivo em seu aspecto global, já que se trata de medida concernente ao equilíbrio:



Conseqüentemente, a atração por elétrons não se dá na ligação isolada, mas envolve a energia de desidratação do cátion (processo coletivo), a afinidade eletrônica do $M^{2+} (g)$ (processo individualizado) e a energia do processo de transformação $M (g)$ em $M (s)$ (mais uma vez coletivo). Logo, o potencial de redução E_r é fruto de:

$$E_r = + D - AE - S$$

D = energia de desidratação

AE = afinidade eletrônica

S = energia para $M (g) \rightleftharpoons M (s)$

A gênese desses conceitos é totalmente desprezada nos livros didáticos e conseqüentemente, evidencia-se o obstáculo verbal pelo não entendimento da alteração do significado científico do termo eletronegatividade. E, o que é ainda mais problemático, pela equiparação da eletronegatividade ao potencial de eletrodo.

Nos livros didáticos, de maneira quase unânime, associa-se a eletronegatividade à maior tendência em atrair elétrons, sem especificar seu cálculo ou os limites de sua conceituação. Portanto, a confusão com o potencial de redução está implícita,

pois o mesmo é definido de igual maneira.

Em outros casos, o equívoco é explícito, pois os autores afirmam que a fila das tensões eletrolíticas (potenciais de eletrodo) representa a ordem crescente de eletronegatividade.

Analisemos alguns exemplos nos quais se constata o que foi afirmado acima.

"Os átomos da Família dos Halogêneos, grupo VII da Tabela Periódica, apresentam forte atração por elétrons, formam íons negativos com facilidade e são agentes oxidantes muito ativos. O átomo de flúor, cuja eletronegatividade é a mais elevada, é também o mais ativo agente oxidante de todos os elementos e, assim, devido à sua forte atração por elétrons, o íon fluoreto é o mais fraco dos agentes redutores." (Metcalf et alii, 1971: 381)

Os autores conseguem com esse texto introduzir, subliminarmente, o conceito de eletronegatividade diretamente associado ao caráter oxidante ou redutor, característica derivada do potencial de eletrodo.

Confusão ainda maior promove textos como abaixo:

"A sequência dos elementos, em ordem crescente de eletronegatividade, chama-se fila ou série de eletronegatividade dos elementos. Representa também a fila ou série de reatividade química, a fila ou série de nobreza e a fila ou série das tensões eletrolíticas dos elementos." (Camargo, 1978: 433)

Concluimos, portanto, que a linguagem de nossos livros didáticos não tem se mostrado de forma alguma científica. Não explica, não se vincula à racionalidade. Ao contrário, é enganosa, obstáculo ao aprendizado. E assim o é porque a literatura didática se mostra distante do dinamismo da ciência. Revela apenas a tradição e a memória, quando deveria ser veículo da criação racional.

A idéia de ciência enquanto construção constantemente retificada não integra o ensino de química e isso se demonstra cabalmente por textos onde se reflete o desconhecimento da permanente revolução semântica da ciência.

"A denominação átomo (indivisível) já não tem sentido, é conservada por tradição." (Camargo, 1973: 33)

A palavra átomo, ao contrário, não é conservada por tradição. E tampouco a tradição de indivisibilidade se mantém na palavra átomo. A construção científica progressivamente conferiu à palavra de origem grega estatuto e significado distintos. O átomo quântico não se diferencia do átomo de Dalton ou do átomo de Demócrito por ser divisível, mas por ser outra construção científica, objeto de uma fenomenotécnica. Não chegamos às subpartículas dividindo o átomo outrora indivisível, mas mudando o sentido da concepção científica. As letras que grafam o termo permanecem as mesmas, mas a razão que a constitui é toda nova. E a isso se mostram indiferentes os livros didáticos.

V.4.4 - Obstáculo Substancialista

Abordar o ensino de química, e portanto a ciência química, a tão decantada ciência das substâncias, exige rigor na análise do obstáculo substancialista. Bachelard (FES) inclusive salienta o fato do substancialismo, já definido por nós em II.3, ser um dos obstáculos mais difíceis de superar, dado seu apoio na filosofia fácil do realismo ingênuo. A articulação do substancialismo do íntimo, interior, com o substancialismo do exterior, da propriedade evidente para o empirismo imediato, permite, no dizer de Bachelard (FES), a monótona explicação das propriedades pela substância. E essa monotonia obstaculiza a compreensão da química não-lavoisieriana, onde a substância adquire o estatuto de real construído, constante devir.

Nos livros didáticos analisados nesta dissertação, constatamos, sem distinção de época, a força do substancialismo. Sem dúvida, o descritivismo reinante nas reformas Campos e Capanema acentua a marca substancialista no ensino. As propriedades das substâncias são enumeradas; saber química é conhecer as substâncias como conhecemos os objetos de nossa vida diária: quais são suas cores, seus sabores, onde podemos encontrá-los, quais são as transformações a que estão sujeitos. Entretanto, é conclusão precipitada não conceber a presença de obstáculos substancialistas durante a vigência das reformas LDB e 5692, devido à ausência do descritivismo sobre a substância. O descritivismo não é o mesmo, mas a substância ainda domina o ensino de química, a julgar por nossa literatura didática.

Mesmo a inovação educacional do período pós-60, articuladora da entrada dos princípios da Mecânica Quântica no desenvolvimento de ligação química, não provocou questionamento do substancialismo dos químicos.

Trata-se de mais uma demonstração de que as mudanças de conteúdo não provocaram a ruptura da razão desenvolvida. Os conceitos transmitidos se modificaram, o século XX tardiamente alcança as páginas escolares, mas o faz apenas na superficialidade. É o químico do século XIX, obreiro, manipulador do real, quem permanece a ditar a forma de pensar cientificamente.

Partindo-se da própria conceituação de substância podemos avaliar como o substancialismo se apresenta através das diferentes reformas. A definição de substância ou espécie química pode variar entre a visão macroscópica - possui composição definida - e a visão microscópica - moléculas quimicamente iguais. Mas em um ponto todos estão de acordo: a substância pura apresenta constância de propriedades. E mais: a propriedade é atributo da substância.

"Propriedades específicas ou íntimas são inerentes, constantes em cada corpo, independentes da quantidade e da forma dos mesmos. Enquadram-se como propriedades específicas ou íntimas: a cor, cheiro, sabor,

solubilidade, densidade, temperatura de fusão, de ebulição, etc, combustibilidade, comburencia, etc." (Fróes, 1941: 28)

Por conhecer os atributos das substâncias, o químico substancialista considera-se livre de equívocos. Não há como confundir o giz branco com o grafite negro, o cheiro do éter distingue-o facilmente da água. A propriedade é algo de domínio próprio, inerente ao corpo, íntima. Não se discute que a cor inexistente se não houver luz, que o sabor e o cheiro são frutos de interação mútua, e que a solubilidade é destituída de sentido sem a discussão da interação com o solvente. Ainda assim poderiam nos argumentar quanto ao caráter absoluto das constantes físicas citadas, mas o que são elas senão medidas e, como tais, vinculadas ao método de determinação? Retido na aparência primeira do real, o espírito incorpora a ilusão de conhecimento.

Junto às propriedades organolépticas e físicas, situam-se as propriedades químicas, classificadas igualmente como específicas. E principalmente com a propriedade química desmorona a noção de propriedade enquanto a atributo da substância. A reação química é sinônimo claro de processo interativo, não se podendo falar da propriedade química em si, ou da capacidade de reagir por si só. A propriedade química se constitui durante o processo reacional, não sendo potência atribuída à substância. Sem dúvida podemos nos referir à capacidade oxidante do permanganato em meio ácido, ao poder redutor dos íons iodeto, mas sempre devemos ter em mente os limites de nossas afirmativas. Não se trata de propriedades absolutas, mas relativas às demais espécies: afinal, em solução molar, o iodeto não reduz os íons magnésio II nem tampouco o permanganato oxida os íons fluoreto.

Nos livros didáticos, ainda que a noção de reação esteja presente, as propriedades químicas são discutidas dentro do mesmo contexto.

Durante as quatro reformas, não houve distinção de tratamento. De acordo com os livros didáticos, as propriedades específicas compõem a ficha de identidade da substância, documento invariável que garante ao químico empiricamente diferenciar uma substância da outra.

"Toda substância apresenta, além de propriedades gerais e funcionais, um conjunto de propriedades que lhe são peculiares e que constituem por assim dizer, a sua ficha de identidade." (Costa & Pasquale, 1945: 30)

"Nós reconhecemos que uma substância é pura, ou que ela foi realmente separada das outras substâncias que a acompanhavam numa mistura, pelas propriedades que a substância nos apresenta.

Façamos uma comparação. Como nós reconhecemos, na rua, uma pessoa conhecida ou um parente?

Evidentemente, pelas características dessa pessoa como sexo, estatura, fisionomia, cor da pele, cor dos cabelos, cor dos olhos, etc. Analogamente, nós reconhecemos uma substância química por suas propriedades características como cor, brilho, cheiro, etc." (Feltre & Setsuo, 1969: 87)

"Enfim, o leitor pode observar que a 'ficha de identificação' de uma substância funciona como a 'ficha de identificação' de uma pessoa, que é organizada pelo Serviço de Identificação da Polícia.

Se nos apresentam uma substância (ou uma pessoa) desconhecida, medimos no laboratório suas constantes físicas (ou levantamos seus dados pessoais), confrontamos essas constantes com as fichas das substâncias já conhecidas (ou confrontamos os dados com o fichário policial) e acabaremos por identificar a substância (ou a pessoa)." (Feltre & Setsuo, 1969: 95-96, a mesma analogia, com texto diverso, consta de Feltre & Setsuo, 1977)

Com a metáfora da ficha de identidade - ou ficha de identificação policial, em tempo de nuvens negras -, os autores introduzem a noção de propriedade-atributo. No segundo e no terceiro exemplo essa noção é por demais evidenciada, quando se compara as características substanciais às características pessoais. Identificar é, portanto, reconhecer os dados pelo confronto direto. Mais uma vez, reconhece-se sem nem bem conhecer.

Efetivamente, os textos acima constroem a ponte entre o conhecimento comum e o conhecimento científico, simplificando por demais a identificação laboratorial da substância. Nesta há confrontação de dados, sim, mas não isenta de referenciais. Constituindo a investigação existe o método, o qual não se baseia no meramente visto ou sentido. A determinação de constantes físicas, exige a introdução do aparelho de medida, daí a verificação do resultado exigir a identificação do aparelho para que se garanta a efetiva identificação da substância.

E no substancialismo do oculto temos a substância vista como o interior a ser desbravado, pois é no interior da substância que se encontra a justificativa para as propriedades que saltam aos olhos. No dizer de Bachelard (FES), para o químico substancialista a substância é um interior (ver II.3). As propriedades são geradas no interior da substância como os sonhos no interior das retortas dos alquimistas.

"Ao observarmos o grande número de

propriedades que a matéria apresenta, somos levados a indagar se existe algo no seu interior e se é a isso que devemos as propriedades observadas. Infelizmente não se pode simplesmente 'levantar a tampa' de cada porção de matéria e espiar o seu conteúdo diretamente. Alguns meios sumariamente engenhosos foram entretanto inventados para se ter a noção do que existe 'no lado de dentro' sem uma inspeção direta." (CBA, 1967: 10)

"Se pudéssemos ver o interior de uma amostra qualquer da substância pura água, veríamos um aglomerado de moléculas, todas quimicamente iguais entre si." (Politi, 1986: 14)

Interessante como no primeiro exemplo levanta-se a questão a respeito da origem das propriedades substanciais, mas não se reluta em supor um interior para a substância. Trata-se de uma caixa enigmática e o sonho do homem é poder abri-la, devassá-la. Há um interior, um 'lado de dentro', mágico, promissor. Pobres de nós, seres limitados, aos quais não foi dado o direito divino de abrir a caixa... Porque afinal, e isso os dois exemplos deixam explícito, se pudéssemos ver, poderíamos saber tudo quanto há para saber. Nossos meios são engenhosos, mas podem nos dar apenas certa noção do que existe. Nossos olhos, sim, se a eles fosse facultado o direito de ver o infinitamente pequeno, nos permitiriam reconhecer que todas as moléculas de água são quimicamente iguais.

Não percebe, esse homem que quer ver como um deus, o quanto se diferenciam o que vemos e o que sabemos. Moléculas quimicamente iguais não podem ser reconhecidas pelos olhos, mas conhecidas pela razão associada à técnica. E certamente nossos engenhosos métodos nos permitem obter maiores conhecimentos do que nos permitiriam super-olhos, pois no primeiro caso o que há para saber se multiplica no próprio ato de conhecer, fruto de construção efetiva, enquanto no segundo caso seríamos meros contempladores anotando dados desconexos.

Sendo a propriedade substancial concebida como evidente, mas determinada por causas que se encontram ocultas no interior imaginado, nada mais coerente a concepção de fenômeno químico como aquele que produz alterações irreversíveis, duradouras (21), íntimas e profundas. Dentre os livros analisados, 29 apresentaram definição explícita de fenômeno. Desses, 41 % (12 livros) consideram que fenômeno químico é o que provoca alterações na constituição íntima da matéria, algo mais profundo que o fenômeno físico, simples alteração ligeira. Encara-se o fenômeno físico quase como um simples tocar na superfície da caixa, sem penetrar nos segredos misteriosos guardados em seu interior. De tal forma, se obstaculiza a compreensão de que os limites entre os fenômenos físicos e os fenômenos químicos é muito mais frágil do que fazem parecer nossos livros didáticos.

A concepção substancialista é também capaz de gerar outros equívocos. A idéia de interior logo nos faz vislumbrar um conteúdo oculto, como quando se afirma que o solvente líquido contém o soluto, seja ele sólido, líquido ou gás (Amado, 1961). Ficam assim absolutizadas no aluno noções de soluto e solvente desprovidas de sentido científico; desprezando-se suas interações mútuas, os componentes da solução resumem-se a ser envoltório e envolvido. O equívoco é ainda mais evidente quando nos referimos às soluções líquido-líquido. Em soluções 50 % álcool - 50 % água, qual é o solvente, qual o soluto? Qual líquido contém o outro?

As perguntas não possuem resposta, o que caracteriza para Bachelard o problema mal-posto: não há conteúdo e continente.

Questões como essa precisam ser contrapostas aos espíritos substancialistas, capazes de concordar com afirmativas como abaixo:

"Chama-se em química um 'complexo' uma substância que tem uma estrutura tal que oculta todos ou alguns ou parte de alguns de seus componentes." (Pecegueiro do Amaral, 1933, v. 1: 58)

Mas se a substância é uma caixa, nada como guardar dentro dela o que nós conhecemos de mais valioso: a energia. O substancialismo tende a encarar a energia como tesouro guardado no interior da matéria.

"Assim sendo, as energias som, calor e luz desenvolvidas na combinação do hidrogênio com o oxigênio para produzir água, leva-nos a aceitar que esses elementos encerram quantidades de matéria hidrogênio e oxigênio como também quantidades determinadas de energia que se transforma nas energias sonora, calórica e, possivelmente, em outras modalidades de energia." (Fróes, 1935: 64)

Talvez a maior dificuldade do químico substancialista seja entender a reação química enquanto processo, ato mesmo de produzir. Se há envolvimento de energia, esta há de estar entrando ou saindo de algum lugar. Não se discute produção, mas sim liberação no sentido mesmo de algo que está preso e consegue o direito à liberdade. Pelo texto se observa como o autor encara a substância: algo que contém a matéria substancial e a energia, a qual se transformará em som, luz e calor, e o que mais houver. Assim, todo sistema químico é encarado como possuindo uma quantidade de energia definida (Ferreira, 1953) ou um conteúdo de calor, a entalpia (Cotton, Lynch & Macedo; Chem Study, 1981; Camargo, 1976; Jorge, 1976; Crepaldi e Taranto, 1981; Braga e

Silva, 1982, v.2; Novais, 1982; Feltre, 1983, v.2, 1985, v. 2, 1989, v.2; Gallo Netto, 1986, v.2; Politi, 1986; Matsui et alii, 1987, v. 2). Não estabelecendo a conexão entre matéria e energia, a matéria continua a ser encarada como receptáculo para a energia. Assim, para Gallo Netto (1986, v.2), os combustíveis são a forma de se guardar calor.

Já para Feltre e Setsuo (1977):

"A energia da luz solar é absorvida pelos vegetais, fica 'guardada' (energia química, sob forma latente ou potencial) na madeira e volta a ser libertada quando a madeira é queimada." (p. 27)

O que se ensina sobre o processo, sobre por quê se pode obter energia através dele? Para o aluno apenas permanecerá a idéia da caixa que armazena, guarda o tesouro. Quando há alguma tentativa de se justificar como é feita essa armazenagem, mais equívocos se estabelecem:

"Este calor armazenado estaria transformado em vários tipos de energia: energia cinética, energia de ligação, etc." (Crepaldi e Taranto, 1981: 70)

"Podemos admitir que toda e qualquer substância possui uma certa quantidade de energia interna ou potencial (E) armazenada em seu interior, em parte, na forma de 'energia química' (nas ligações entre os átomos, na coesão entre as moléculas, etc) e, em parte, na forma de 'energia térmica' (nos movimentos de translação, rotação e vibração de átomos e moléculas)." (Feltre, 1983, v. 2: 128)

"Qualquer substância possui certa quantidade de energia interna, armazenada em seu interior, principalmente na forma de energia de ligação." (Feltre, 1985, v.2: 61)

E como a energia de ligação é por vezes definida?

"Esta energia é, em outras palavras, igual à energia 'armazenada' pela ligação entre os átomos." (Crepaldi e Taranto, 1981: 83)

Assim, guardada na intimidade da matéria, a energia se

supervaloriza, adquire substancialidade aos olhos do químico realista. O mesmo químico que considera a molécula a menor parte da substância capaz de guardar suas propriedades. (ver II.3 e V.4.2). Sempre surge a imagem do estojo, sempre a ânsia de abrir a caixa e dela extrair todos os segredos.

"Podemos dizer que o progresso humano começou quando o homem descobriu que podia 'extrair' a energia 'armazenada' nos materiais (chamada energia latente) por meio de certas transformações. (Feltre & Setsuo, 1969: 16)

Ou seja, a transformação é apenas um meio de extrair energia, não a própria razão de ser da energia. Energia latente é compreendida no estrito sentido dicionarizado, pertencente ao senso comum (22): aquilo que permanece oculto, não se manifesta. A equivalência entre matéria e energia, a percepção de que, como afirma Bachelard (PN), matéria é energia e energia é matéria, se apresenta muito distante, bloqueada pela noção substancial conteúdo-contidente.

Os livros didáticos só fazem reforçar essa concepção, ao colocarem a substância contendo os elementos, ou seja, contendo a própria essência substancial.

"Exemplo: Figuremos assim a molécula da água (H₂O):

HIDROGENIO	OXI - GENIO
HIDROGENIO	

Feita a decomposição, obtemos:

HIDROGENIO	HIDROGENIO	OXIGENIO
------------	------------	----------

(Faccini, 1941, 3a. série: 276)

Além de haver o erro de decompor a água em H + H + O, ao invés de H₂ mais 1/2 de O₂, veicula-se a idéia de que os átomos dos elementos estão reunidos dentro da molécula sem interação mútua. O todo é a soma das partes e a substância se reduz à noção de molécula, desconsiderando-se as interações intermoleculares.

Encarando-se o elemento como estando encerrado dentro da substância, conseqüentemente considera-se a obtenção de dado composto em termos de sua libertação da substância onde se encontra.

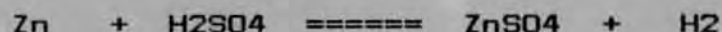
"O problema da obtenção da substância hidrogenio se resume, pois, em libertar o elemento hidrogenio das moleculas de seus compostos, a reunião dos átomos em moléculas diatômicas sendo espontânea." (Pecegueiro do Amaral, 1935: 113)

Tal teoria leva à conclusão de que a existência pura e simples do elemento em dado composto permite obter a substância a partir dele. Por outro lado, não permite a diferenciação do ion H_3O^+ quando existente em solução, do elemento hidrogênio na ligação covalente e da substância H_2 (g), espécies bem diversas.

Dando prosseguimento ao tema, Pecegueiro do Amaral (1935) afirma que as "moléculas que mais facilmente libertam hidrogênio são: a água, os ácidos e os hidretos." (p.113, grifos nossos) A partir da generalização mal-feita, o autor conclui que se "retira" hidrogênio da água pela "substituição" por outro elemento como carbono ou metal. Mas como há desconhecimento da espontaneidade dos processos, entende-se que, se metais como Na, K e Ca reagem com a água, todos os metais reagem igualmente. Diante do experimento negativo de obtenção do hidrogênio pela reação da água com metais como zinco, ferro e estanho, sua explicação é de que há formação de óxidos insolúveis sobre a superfície do metal, impedindo a continuidade da reação. Para que esta se dê há necessidade, segundo Pecegueiro do Amaral (1935), de adicionarmos ácido. Ou seja:



A qual pode ser resumida em:



O autor, preso ao substancialismo, não racionaliza o processo em seu sentido estrito: trata-se de uma reação do zinco com os ions hidrônio, e não com a água, fato facilmente compreendido pela análise dos potenciais de redução das espécies em jogo (23).

Erros como esse não são mais cometidos em livros posteriores, mas ilustra bem o obstáculo substancialista. Além do mais, o princípio que o norteia permanece. A reação entre o zinco e o ácido sulfúrico diluído ainda é visualizada como a simples troca de lugar do Zn com o H, apesar do amplo conhecimento da teoria iônica. Esta nos permite dizer que tal reação nada mais é que o processo redox entre Zn e H_3O^+ , não havendo, portanto, nenhuma simples troca. Além do mais, permanece em livros atuais a

concepção do gás que se liberta do sistema. Feltre e Setsuo(1969), por exemplo, utiliza essa linguagem para se referir à liberação de H_2S de um sistema reacional $FeS + HCl$.

A idéia do elemento representando a entidade substancial, algo constante e invariável, levou alguns autores como Marciano (1946) a considerar a existência de dezoito formas alotrópicas para o hidrogênio. Para ele, a isotopia, os diferentes estados físicos de uma substância simples, os íons formados, todos são exemplos de alotropia. Afinal, em todos permanece o elemento em diferentes formas. A substancialidade é a mesma. Assim, H_2 , deutério, trítio, H^+ , H_2 (g), H_2 (l), H_2 (s), são formas alotrópicas do hidrogênio.

A mesma idéia da espécie química conter determinado caráter substancial faz com que Costa e Pasquale (1953, 2a. série) e Amado (1939) se refiram, respectivamente, aos hidrocarbonetos metênicos e à série metânica. Não se trata, no caso, da racionalização que nos leva a compreender os compostos orgânicos dentro de séries homólogas, mas da visualização dos hidrocarbonetos acíclicos saturados como sendo o somatório de unidades de metano, unidades substanciais.

Também baseado na idéia da permanência de uma entidade substancial única é que Camargo e Saffioti (1963) afirmam:

"(...) o diamante e o grafite são formados por uma substância comum e que entra na composição do gás carbônico; esta substância comum é o elemento químico carbono." (p. 19)

"O diamante só difere do grafite pela estrutura de cristal." (p. 58, grifo nosso)

A que conceito de substância se refere o texto? Não é outro senão aquele que vê no elemento último, "guardado na caixa", a unidade substancial. Para os autores, grafite e diamante não são diferentes substâncias, mas variações do mesmo corpo substancial, diferindo apenas na estrutura. Simplesmente desprezam o fato de que somente essa diferença de estrutura promove características totalmente diversas. O átomo de carbono sp^3 do diamante não é o mesmo que o átomo de carbono sp^2 da grafita, as ligações químicas não são as mesmas, as propriedades são diferentes frente às mesmas condições reacionais.

Igual concepção substancialista podemos encontrar em Amado (1939) nessa colocação sobre os metais do grupo IA:

"Todos comunicam coloração à chama do bico de Bunsen." p. 78

A cor é vista como propriedade específica, inerente à substância, portanto o surgimento de coloração quando uma solução contendo íons dos metais do grupo IA é levada à chama, só consegue ser encarado como a liberação de uma cor não visível a olho nu. Mais uma vez é desprezado o processo de construção: a cor não é da chama nem do íon metálico, mas oriunda do processo de excitação de elétrons. Não é o íon (e muito menos o metal) que comunica cor à chama, nem tampouco a chama cede sua cor ao metal. Ambos interagem e a cor é apenas o produto dessa interação.

Orientado por referenciais realistas que fazem de si o explorador da matéria, o químico substancialista se mostra incansável na busca do oculto e íntimo. E que pode haver de ainda mais íntimo na substância?

"O átomo nuclear: atingindo o coração da matéria." (Sardella & Mateus, 1983: 27)

O ensino da química nuclear vê-se facilmente envolvido por metáforas substancialistas. O núcleo, cuja estrutura foge completamente aos olhos do químico realista, torna-se alvo fácil dos desejos não psicanalisados: o mais "recôndito reduto da matéria" é um terreno a ser invadido (Amado, 1939: 250).

Temos na teoria dos elétrons nucleares demonstração clara de como a metáfora substancialista obstaculiza a ciência. Essa teoria permanece em alguns de nossos livros didáticos até a década de 60: da intimidade do átomo saem as partículas radioativas. Para justificar os decaimentos radioativos - emissão de partículas alfa (núcleos de hélio) e beta (elétrons) só se concebia que essas partículas existissem no núcleo: se elas saem do núcleo é porque lá existem. Mais uma vez não se concebe um possível processo de transformação; é constante a idéia de que aquilo que se forma na reação sempre está contido nos reagentes.

Macedo (1949, 3a. série) coloca inclusive a existência no núcleo de partículas simples - "neutrão, positão e negatão" - e partículas associadas - "protão, deutão, tritão, heliã".

Dando prosseguimento ao processo de exploração do íntimo, o substancialismo atinge as partículas subatômicas.

"Pela passagem da corrente elétrica, na solução de ácido sulfúrico, os cátions de hidrogênio vão ao pólo negativo, nela depositam a sua carga elétrica e, (...)" (Costa & Pasquale, 1940: 157)

A carga elétrica é concebida como mais uma propriedade substancial, impedindo o entendimento do processo de oxirredução. O cátion H_3O^+ não deposita sua carga como se esta fosse

um objeto determinado. Os íons H_3O^+ é que, atraídos pelo pólo negativo, recebem elétrons.

"O eletrão é um grão de eletricidade negativa pura, privado de suporte material. É uma esfera eletrizada cujo diâmetro é 100 000 vezes menor do que o diâmetro do átomo; é da ordem de 10^{-13} cm." (Marciano, 1946: 41)

Nesse exemplo o caráter substancialista se inverte: omite-se a materialidade do elétron, ficando-se restrito ao atributo. Segundo Bachelard (AR), não podemos considerar a matéria como estando por trás do atributo e, completamos nós, tampouco antepor o atributo à matéria. Devemos, sim, "realizar" o atributo: os elétrons são átomos de eletricidade (Bachelard, AR). Como afirma Wilson, citado por Bachelard (AR), os elétrons não são matéria eletrizada na medida em que o processo de eletrização consiste em retirar ou fornecer elétrons. E juntar um elétron a outro elétron é simplesmente ter dois elétrons.

Por conseguinte, a distinção entre eletricidade e matéria denota mais um obstáculo substancialista. Ao se proceder a separação entre substância e atributo, supervaloriza-se uma das partes, no caso o atributo. Segundo Bachelard (AR), devemos operar a síntese total do atributo e da substância, no caso matéria e eletricidade.

A questão da propriedade como sendo intrínseca à substância está extremamente presente na química orgânica, especialmente na discussão sobre o átomo de carbono.

O carbono é considerado como tetravalente, ou de valência praticamente invariável e igual a quatro, em todos os livros de orgânica para o ensino secundário analisados nesta dissertação. Tanto que, ao se colocarem diante de exceções como a formação do CO, alguns autores não relutam em defender a tetravalência para o oxigênio (Terra, 1936; Costa & Pasquale, 1953, 2a. série). Transforma-se então em dogma, uma teoria que teve seu marco de importância e hoje precisa ser rediscutida.

"O átomo de carbono possui, pois, um conjunto de propriedades peculiares que se manifestam em todos os compostos orgânicos." (Ferreira & Costa, 1973: 17)

A perspectiva da propriedade que se manifesta é típica do substancialismo. Como a substância é uma caixa, as propriedades lá estão guardadas, mais ou menos profundas. Trata-se então de promover sua manifestação. Assim, os compostos de carbono não são encarados como fruto das relações entre o carbono e os demais elementos, mas como manifestação das propriedades do

carbono. O carbono contém a substancialidade orgânica.

"Logo, as diferenças entre os compostos minerais são, principalmente, de ordem qualitativa e nos orgânicos, de natureza quantitativa. (Décourt, 1946: 13)

Ou seja, os compostos orgânicos se diferenciam pelo número de carbonos do composto. A cada carbono adicionado, novas propriedades se manifestam. Em afirmações como acima, pouco parecem importar os demais elementos dos compostos orgânicos e sua capacidade de, interagindo como o carbono, produzir novas propriedades.

Um aspecto do substancialismo que já discutimos em II.3 é aquele referente ao odor e ao sabor. Bachelard aponta para o equívoco da afirmação: "o mentol sabe à menta", quando sabemos ter a menta o seu sabor devido ao mentol que a constitui.

No mesmo equívoco incorrem os livros didáticos:

"[O mentol] encontra-se na *Mentha piperita*, planta da família das labiadas. É sólido, cristalizado, de cheiro da planta de onde é extraído (hortelã pimenta)..." (Gama Rangel, 1933: 74, grifos nossos)

Mas a questão não se limita ao mentol. Devido ao mesmo erro, o limoneno é dito tendo odor de limão (Costa & Pasquale, 1953, 2a. série), as bases têm sabor de lixívia (Marciano, 1946), o aldeído benzóico tem cheiro de amêndoas amargas (Rangel, 1933; Azambuja, 1952), as aminas têm odor de peixe (Pimenta, 1953; Freitas & Costa, 1975; Feltre, 1985, v. 3), certamente não muito fresco; e o sulfeto de hidrogênio possui odor de ovos podres (Costa & Pasquale, 1945; Camargo e Saffioti, 1963; Camargo, 1973).

Lembro-me do tempo em que meu professor provocava risos dos alunos do curso técnico de química com a afirmação de que o HCN tem cheiro de amêndoas amargas (Nobre, 1933; Costa & Pasquale, 1945; Camargo & Saffioti, 1956, 1963; Camargo, 1973; Freitas & Costa, 1975). Pensávamos em quem teria sido aquele que, nos estertores da agonia após cheirar o gás cianídrico, conseguira comunicar à sociedade científica seu odor. Mas lembro-me também de como me pareceu lógico o cheiro das amêndoas no dia em que descobri haver pequeníssimas porções de cianeto em sua composição. Não é o cianeto que rescende às amêndoas, o odor delas é que possui uma de suas justificativas no cianeto presente em sua composição.

O químico substancialista não racionaliza devidamente esse fato porque se prende às propriedades evidentes da

substância; não analisa qual o radical osmóforo nem em qual composto ele está constituído.

Se ao cultivar hortelã-pimenta, o cheiro de mentol lhe chega aos sentidos, estabelece a primeira constatação e associa o odor à planta. Posteriormente, ao proceder a extração do mentol, ao estudar sua estrutura e suas características, não tem o espírito predisposto à retificação e associa imediatamente o mentol à menta.

Um dos assuntos onde os obstáculos substancialistas mais proliferam é a teoria ácido-base ou, como se referem os livros didáticos, o desenvolvimento das funções inorgânicas. Existe grande homogeneidade no tratamento desse assunto de forma que de 1931 a 1990 os erros se repetem sem maiores variações.

Dentre os livros por nós analisados, apenas o CBA, o Chem Study e Metcalfe et alii (1971) fogem ao tratamento tradicional. Os demais definem ácido e base a partir de dois conceitos: o primeiro empírico e o segundo, racional. No primeiro caso, ácido é toda substância que envermelhece o tornassol, que descora a fenolftaleína envermelhecida por uma base, possuidor de sabor azedo, capaz de reagir com carbonatos produzindo efervescência e que tem hidrogênio capaz de ser substituído por um metal. No segundo caso, é a substância que "encerra na sua molécula um ou mais átomos de hidrogênio" (Pecegueiro do Amaral, 1933, v. 1: 55), ou aquelas "que em solução aquosa se ionizam, produzindo cátion hidrônio como o único tipo de íon positivo" (Nehmi, 1962: 214).

O mesmo se faz para as bases: primeiramente se coloca um conceito empírico, relacionado à ação sobre os indicadores e à forma de reagir, e em seguida salienta-se que base é a substância que "encerra uma ou mais vezes, em cada molécula o grupo atômico ou radical HO, chamado hidroxila" (Pecegueiro do Amaral, 1933, v.1: 59) ou os "eletrólitos que possuem como único ânion o íon OH-" (Ferre, 1990: 87).

A presença do substancialismo se expressa nos conceitos de ácido e base, na racionalização mal-feita que considera as propriedades ácidas e básicas como intrínseca ao OH- e ao H+ encerrados na molécula.

O problema maior surgirá no desenvolvimento da função sal. Feltre, por exemplo, inicia assim a discussão dessa função:

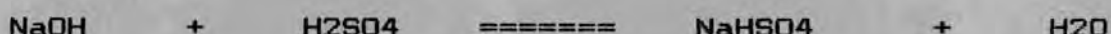
"Não tendo radical funcional comum, os sais, logicamente, não terão propriedades funcionais bem definidas." (p. 191)

A inversão epistemológica é patente: não cabe ao sal ter ou não ter radical funcional, como se o mesmo fosse fruto de mera identificação empírica. Se as propriedades funcionais não são bem definidas, se o radical comum não é estabelecido é porque a função, empírica e racionalmente, não tem razão de ser, foi equivocadamente definida.

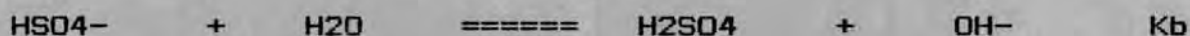
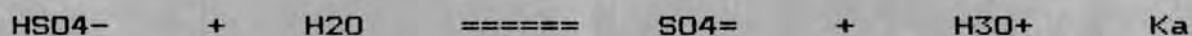
E apesar da teoria ácido-base de Bronsted ser de 1923, fazendo perder sentido as tradicionais funções inorgânicas, os livros didáticos mantêm até hoje o mesmo esquema. Apresentam as funções ácido, base, óxido e sal e ainda as subdividem em óxidos ácidos, óxidos básicos, óxidos neutros, sais ácidos, sais básicos, sais neutros, sem contar os anfóteros, duplos, etc.

Mas enquanto no caso dos óxidos a classificação não se choca com a de Bronsted, o mesmo não se dá no caso dos sais. Dentro do substancialismo reinante no ensino de química, o sal neutro é apresentado como aquele obtido a partir da reação entre uma base forte e um ácido forte, com conseqüente neutralização total.

Já o sal ácido será obtido quando ainda restar H ionizável, ou seja, H ácido, no sal. Exemplo:



Já que a propriedade ácida é entendida como inerente ao H, NaHSO₄ é considerado sal ácido. Realmente o é, mas suas propriedades ácidas são devidas à interação do íon HSO₄⁻ com a água, e não à permanência do H, ou à acidez remanescente do H₂SO₄. Temos, sim, os dois equilíbrios em solução aquosa, visto se tratar de íon anfiprótico:



No caso, como K_a é maior que K_b, há predomínio do primeiro equilíbrio. Entretanto, o mesmo não se dá com os íons HS⁻, HCO₃⁻, HPO₄⁼, para tristeza dos químicos substancialistas. Todos esses íons são geradores de soluções básicas devido às respectivas constantes de equilíbrio básico serem maiores que as respectivas constantes de equilíbrio ácido. Soluções aquosa desses íons são capazes de envermelhecer a fenolftaleína, azulescer o tornassol e, no entanto, nem mesmo essa prova empírica é capaz de promover mudanças nas classificações dos livros didáticos. Prova de que o empirismo não é racionalizado, não constitui conhecimento científico.

O problema é acirrado pelo fato de que nem todos os chamados sais neutros assim o são. NH₄Cl, FeCl₃, CuSO₄ são sais ácidos, ainda que os últimos sequer possuam hidrogênio na estrutura.

E no caso dos chamados sais básicos - os que possuem OH na estrutura - a questão é ainda mais complexa. Segundo os autores de livros didáticos, quando reagimos Pb(OH)₂ com HNO₃, podemos obter Pb(OH)NO₃, sendo este sal básico.

Em tais condições - reação do precipitado de Pb(OH)₂ com ácido forte -, já é por demais discutível a possibilidade de se formar o íon Pb(OH)⁺, visto a hidroxila se tratar de ligante fraco, havendo a formação do composto coordenado apenas em meio

fortemente básico. Consideremos, porém, para efeito de análise, condições ideais de controle de pH, capazes de garantir a formação do íon. Nesse caso, $Pb(OH)^+$ é um íon fracamente ácido e não básico.

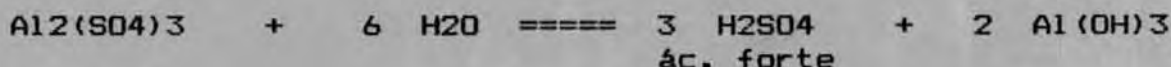
Diante desses impasses, os autores optam por introduzir nova classificação para os sais, agora segundo o tipo de reação hidrolítica que apresentam.

"É preciso não confundir a reação ácida, básica ou neutra das soluções salinas (hidrólise) com o caráter ácido, básico ou neutro das soluções salinas.

É possível e freqüente que um sal-ácido, como $NaHCO_3$, apresente, por hidrólise, reação básica, como também, que um sal básico, como o $Pb(OH)NO_3$, dissolvido, apresente reação ácida. Do mesmo modo, certos sais neutros como $ZnCl_2$ dão, por hidrólise, reação ácida e outros, como o K_2CO_3 , dão reação alcalina." (Ferreira, 1953: 121)

Assim temos, sais neutros de reação neutra, sais neutros de reação básica e sais neutros de reação ácida. O mesmo, analogamente, para os sais ácidos e sais básicos. E se ao menos essa classificação confusa servisse para dirimir os erros, poderíamos nos dar por satisfeitos. Mas os erros se multiplicam.

Sendo a hidrólise concebida como a reação inversa à salificação, para justificar o caráter ácido do $Al_2(SO_4)_3$, Pecegueiro do Amaral (1933, v. 1) por exemplo, apresenta:



Se há formação de ácido forte no produto, a solução é ácida.

Já Marciano (1947), Costa e Pasquale (1945), Camargo e Saffioti (1958), Neiva e Cohen (1962), Feltre e Setsuo (1968), Saffioti (1968), Menezes (1971), Feltre (1977, 1985, v. 2), Matsui et alii (1987, v. 2), Sardella e Mateus (1983) e Ferré (1990) apresentam a hidrólise genericamente como:



Sendo BA básico se apenas BOH for forte; ácido, se apenas HA for forte e neutro se os dois forem fortes.

Com o bloqueio causado pela equação molecular (24), mais um exemplo de substancialismo, refletido no apego à estrutura básica da substância, comete-se o erro de somar equilíbrios cujas constantes (K_c) são totalmente diversas.



Nesse caso há dissociação total, considerando-se a alta solubilidade do sal iônico.



Aqui há reversibilidade, portanto trata-se de um erro estequiométrico muito grande montarmos:



Além do que, o caráter ácido ou básico é analisado em função da força do ácido ou base de origem, na clássica concepção substancialista de que no sal formado ainda resta a acidez ou basicidade das espécies de origem.

O mais significativo é que, mesmo aqueles livros que discutem a teoria ácido-base de Bronsted-Lowry, não a utilizam enquanto instrumental teórico para rediscutir as funções inorgânicas. Permanecem elas mal-definidas, bloqueadas pela reação molecular, pelo não entendimento de equilíbrio químico e da teoria ácido-base por parte dos alunos.

Isso também é causado porque a própria teoria de Bronsted é apresentada com erros. O mais comum deles, presente em quase todos os livros (excetuando Décourt, 1951; Gallo Netto, 1986, v. 1), é o de que quando o ácido é forte a base conjugada é fraca e vice-versa. A assertiva correta é "quanto mais forte o ácido, mais fraca a base conjugada".

Macedo (1948) aponta um dos motivos pelo qual a teoria ácido-base de Bronsted custou, e de certa forma ainda custa, a ser aceita no ensino secundário de química:

"Alguma confusão tem surgido por terem modificado as definições de ácidos e de bases e por se falar, agora em bases ligadas e bases livres. Bronsted e Lowry chamam de base à parte da molécula protogênica unida com seu prótio. Assim, o gás clorídrico cedendo prótio ao dissolvente, liberta anionte Cl que aqueles autores chamam de base livre e, antes da solvatação, base ligada. Foi infeliz a generalização do nome para êsses átomos ou radicais, em oposição ao conceito clássico e a muitos autores repugna adotar tal nomenclatura." (Macedo, 1948: 158)

E a repugnância do autor em parte deve estar relacionada

à dificuldade de entendimento da teoria, pois ele apresenta o equilíbrio:



denotando desconhecimento de que, sendo iônico, o hidróxido de sódio não é considerado base de Bronsted: apenas se dissocia em solução aquosa, fornecendo os íons correspondentes.

Em meio à confusão de conceitos, fundamentalmente transmite-se ao aluno as classificações tradicionais de ácido e base e o caráter ácido ou básico dos sais é concluído a partir da reação de neutralização que o produz. Assim o aluno aprende que o H_2S é ácido, mas que FeCl_3 é um sal neutro de reação ácida, porque provém do ácido clorídrico, quando na prática, $\text{pK}_a \text{H}_2\text{S} = 7.00$ e $\text{pK}_a [\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+} = 2.20$, logo $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ é muito mais ácido que H_2S .

Em princípio, a generalização que permite concluir o caráter do sal possui apoio lógico na teoria de Bronsted-Lowry. Exemplifiquemos com o NH_4Cl : sendo derivado de $\text{NH}_3(\text{aq})$ - base fraca - e $\text{HCl}(\text{aq})$ - ácido forte -, concluímos se tratar de sal ácido. Por Bronsted, chegaríamos a mesma conclusão porque analisaríamos a interação dos íons NH_4^+ e Cl^- com a água. NH_4^+ é razoavelmente ácido porque é ácido conjugado de base fraca (NH_3) e o Cl^- praticamente não interage com a água por ser base conjugada de ácido muito forte.

Contudo, a mesma análise não pode se estender indistintamente a todos os sais. $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$, por exemplo, não é ácido conjugado de $\text{Fe}(\text{OH})_3$, gerando-se assim racionalização incorreta.

Porém, o maior prejuízo da generalização em questão está no fato de ser apresentada sem a devida justificativa, ficando o aluno apenas com o instrumental substancialista: resquícios das propriedades ácidas ou básicas dos reagentes restam nos produtos.

Muito mais lógico é simplesmente considerar que as espécies: OH^- , O^{2-} , H^- , CO_3^{2-} , NH_3 , S^{2-} , HS^- , etc são bases e as espécies: H_3O^+ , HAc , H_2S , HNO_3 , $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$, NH_4^+ , são ácidos. Dessa forma poder-se-ia explicar porque os metais e carbonatos não apenas reagem com HCl e HNO_3 , mas com FeCl_3 e CuSO_4 . Seria claro o entendimento de porque os óxidos iônicos, que liberam O^{2-} em solução aquosa, são básicos, e os óxidos covalentes, não.

Seria possível também ampliar o entendimento das reações ácido-base: há reação entre qualquer espécie ácida e qualquer espécie básica, variando apenas em extensão.

Todavia, o caso mais explícito de substancialismo na química talvez ainda seja o tratamento conferido à base $\text{NH}_3(\text{aq})$. Todos os livros expressam-na como NH_4OH , na ânsia de impor ao aluno o cumprimento da regra: toda base tem OH . Então representam:



ou



Ao considerarmos que em solução aquosa existe o hidróxido de sódio, ao invés de nos referirmos aos íons Na^+ e OH^- , ainda é aceitável, pois podemos, por evaporação da água, obter NaOH cristalizado.

No entanto, quando aquecemos a solução de NH_3 (aq) há evolução do NH_3 (g), devido ao favorecimento do equilíbrio inverso à solubilização do gás, e não devido à facilidade de decomposição do NH_4OH pelo calor, como afirmam químicos substancialistas.

Além do que o equilíbrio:



possui $K_b = 1.8 \times 10^{-5}$, o que significa que uma solução de NH_3 (aq) se apresenta 0.42 % ionizada. E como atestam Cotton e Wilkinson (1978), não existe nenhuma evidência da existência do NH_4OH . Mesmo quando cristalizadas, as soluções de NH_4OH apresentam unidades de NH_3 e H_2O unidas por pontes de hidrogênio, não há moléculas discretas de NH_4OH .

Não obstante, o mais exacerbado substancialismo mantém os químicos se referindo ao NH_3 (aq) como hidróxido de amônio. Exacerbado por ser o substancialismo da substância inexistente, aquela que explicitamente é construída, não para atender ao materialismo racional, mas para satisfazer o desejo dos químicos de enxergar na caixa, estojo promissor, a justificativa da propriedade evidente.

-NOTAS

(1) Pela portaria 966, de 02 de outubro de 1951, houve simplificação dos programas do curso secundário, com o intuito de aliviar a carga de deveres escolares. O programa de Química sofreu algumas alterações, porém insuficientes para caracterizar nova fase no ensino.

(2) Também no início do capítulo de Nomenclatura Inorgânica do volume 1 da coleção do mesmo autor, encontra-se uma figura ilustrativa do desânimo diante do assunto.



CAPÍTULO

5

Notação e Nomenclatura Inorgânica

BRAGA & SILVA, 1982, v. 1

(3) Bachelard, na obra Formação do Espírito Científico, denomina de pré-científico o período que compreende os séculos XVI, XVII e XVIII, de científico o período que engloba o século XIX e o início do século XX e de era do novo espírito científico o período posterior a 1905, ano culminante para a Teoria da Relatividade. O próprio epistemólogo considerou essa classificação como meras etiquetas históricas, necessárias para a organização da análise desejada. Tanto que nas obras posteriores não torna a utilizar tal classificação.

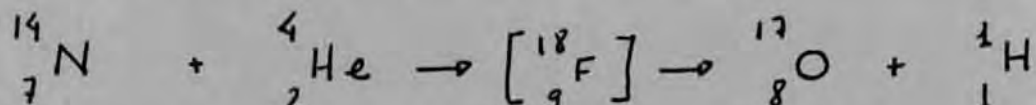
O pré-cientificismo pode ser, então, caracterizado pelo maior apego ao concreto, à experiência primeira e à Natureza, onde quase não há abstração matemática.

(4) Nos processos exotérmicos a ação do calor deve ser analisada com mais cuidado, pois o aumento da temperatura favorece a velocidade da reação, porém desfavorece o equilíbrio: a reação alcança mais rapidamente um equilíbrio de rendimento menor.

(5) A reação de metal com ácido é, em verdade, a reação redox do metal com o íon hidrônio (H_3O^+). Portanto, como o H_2SO_4 concentrado possui, aproximadamente, apenas 2 % de água, não há nele concentração de hidrônio suficiente para permitir rápida reação com o zinco. Ao contrário, a reação é muito lenta.

A força de uma substância atuando como ácido está relacionada, portanto, com a capacidade de protonar a água e não de fornecer reações rápidas ou não.

(6) Rutherford, em 1919, bombardeou nitrogênio 14 com partículas alfa derivadas da desintegração do rádio.



(7) Em solução aquosa não existem as espécies Pb^{4+} ou Mn^{7+} , cátions extremamente ácidos, portanto tendendo a formar complexos, íons ou compostos oxigenados, no caso PbO_2 e MnO_4^- .

O composto $\text{Fe}_2(\text{CO}_3)_3$ não existe, pois carbonato é básico e o íon ferro III é bastante ácido, acarretando reação.

Por sua vez H_2SO_3 , H_2CO_3 e $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ não se estabilizam, sendo, respectivamente: SO_2 em água, CO_2 em água e solução contendo íons cálcio e íons bicarbonato.

(8) No caso apresentado também existe o equívoco dos autores utilizarem o termo nobreza de nossa linguagem corrente - qualidade de ser nobre, ilustre - como sinônimo do termo químico nobreza - baixa reatividade. Configura-se, assim, um obstáculo verbal, que será detidamente analisado em V.4.3.

(9) O cálculo desse percentual foi feito com base no número de páginas dedicadas às teorias e à descrição dos elementos e substâncias.

(10) A segunda série, na Reforma Capanema, corresponde à Química Orgânica, logo não calculamos o percentual da parte descritiva em virtude do ensino de orgânica ser praticamente todo descritivo, como já discutimos em V.3.

(11) Borzani et alii (1960) foi redigido, originalmente, para servir aos alunos do ano prévio do Instituto de Tecnologia da Aeronáutica - ITA e Ferreira (1953) é um livro que aborda apenas as então denominadas grandes teorias da química.

(12) A energia reticular corresponde à energia absorvida no processo de rompimento da estrutura cristalina do sólido e a energia de hidratação corresponde à energia liberada pela interação da água com os íons. O saldo entre as duas energias pode ser, portanto, negativo ou positivo, gerando assim exotermia ou endotermia.

(13) Evidencia-se com o termo corrosão um caso típico de

obstáculo verbal - utilização de um termo fora de seu contexto, sem que seja feita a devida ressalva. Discutiremos o tema em V.4.3.

(14) No sistema fechado a reação se processa até atingir o equilíbrio. Se retirarmos os produtos haverá deslocamento até que se obtenha novo estado de equilíbrio, produzindo-se assim mais produto, no caso, gás carbônico.

(15) Igualmente evidencia-se um obstáculo verbal. Ver aprofundamento do tema em V.4.3.

(16) Quando utilizamos potenciais de redução, a espécie com maior potencial de redução atrai os elétrons, havendo fluxo de cargas negativas do potencial menor para o maior. Utilizando-se potenciais de oxidação ocorre o inverso.

Em compensação, a corrente elétrica, convencionalizada como o inverso do fluxo dos elétrons, se estabelece do maior ao menor potencial de redução e do menor ao maior potencial de oxidação.

(17) O potencial de eletrodo corresponde à diferença de potencial metal-solução (forma oxidada-forma reduzida), não se relacionando, portanto, com quantidade de elétrons, mas com a posição do equilíbrio termodinâmico entre as espécies.

(18) Segundo a Física Clássica, um objeto descrevendo uma órbita circular sofre uma aceleração em direção ao centro do círculo e, por sua vez, uma partícula carregada sofrendo aceleração deve emitir energia radiante. Esses princípios não se coadunam de forma alguma com a estabilidade do átomo.

(19) O princípio de Bertholet é limitado porque, apesar da exotermia contribuir efetivamente para a espontaneidade, não é o único fator em jogo. Existe também a variação de entropia, a qual pode, inclusive, favorecer processos endotérmicos.

(20) A opinião expressa pelo autor está sedimentada no fato de que muitos óxidos de metais de transição, que são negros, atuam como catalisadores. Entretanto, a atuação catalítica como a cor estão associadas à configuração eletrônica e à estrutura, não ao fictício poder termo-absorvente.

(21) A noção de fenômeno físico como reversível e passageiro está presente em Nobre (1933), Pecegueiro (1935), Feltre e Setsuo (1969, 1977), Feltre (1983, 1985, 1989, v.1) e Politi (1986), sendo questionada por Marciano (1946) com o simples exemplo do rompimento de uma barra de ferro. Por outro lado, é igualmente equivocado considerarmos fenômeno químico como duradouro e irreversível: primeiro porque as reações químicas são reversíveis em sistema fechado; segundo porque reações onde há formação de composto instável não garante nenhum fenômeno duradouro.

(22) Nesse caso temos mais um exemplo de obstáculo verbal, já discutido em V.4.3.

(23) Os potenciais de redução envolvidos nas reações em questão são:

$E_0 \text{ Zn}^{2+} / \text{Zn}$	$= - 0.76 \text{ V}$
$E_0 \text{ H}^+ / \text{H}_2$	$= 0 \text{ V}$
$E_0 \text{ H}_2\text{O} / \text{H}_2$	$= - 0.83 \text{ V}$

Conseqüentemente, a reação entre Zn e H^+ é espontânea ($\text{ddp} = 0.76 \text{ V}$) e a reação entre Zn e H_2O é não espontânea ($\text{ddp} = - 0.07 \text{ V}$).

(24) As reações são tradicionalmente classificadas em quatro tipos: síntese, análise, dupla e simples troca. Essa classificação é oriunda da teoria de eletroquímica de Berzelius, já discutida por nós em II.2. No entanto, hoje se configura em obstáculo, pois impede a compreensão dos processos em solução aquosa, quando se diferenciam as espécies ionizadas e dissociadas das espécies moleculares. Constitui apenas instrumental mecanicista que valoriza o substancialismo.

VI - CONCLUSÃO

"A verdade é filha da
discussão, e não filha da
simpatia."

Bachelard, La Philosophie
du Non

Ao fim do trabalho aqui desenvolvido, algumas idéias se mostram bem delineadas. A fragilidade teórica e a presença constante de obstáculos epistemológicos caracterizam nossos livros didáticos de química e, por conseguinte, indicam a existência de um quadro no mínimo preocupante com respeito ao ensino de química no segundo grau.

Como tivemos ocasião de discutir, esse quadro apresenta matizes diversos com o passar dos anos. Porém, não se configura um processo evolutivo, não sendo possível considerarmos os livros atuais como melhores que os anteriores. Ao contrário: se os livros antigos apresentam diversos obstáculos em função da marcada influência do período pré-científico, os livros atuais enveredam pela tentativa vã de ensinar ao desenvolver um "didatismo" que produz mais equívocos do que conhecimento. Isso porque se baseia na premissa de que é preciso concretizar para o olhar do aluno os modelos abstratos da ciência, associando-os a recursos animistas, de maneira falsa e tosca.

O aluno, diante das metáforas dos livros didáticos de química, está como o velho judeu cego querendo saber da menina como é o leite.

- "- O leite ? - repete a menina assombrada.
- E'. Sou cego e não consigo fazer uma idéia.
- Bem... O leite é branco.
- Branco... mas eu sou cego, não sei o que é branco.
- Vou explicar. Branco é como os cisnes.
- Eu nunca vi um cisne.
- Cisne tem o pescoço curvo.
- E o que é curvo ?
- E' assim, ó - disse a menina levantando o braço e dobrando o punho para frente - Pegue. E' curvo.
O velho corre a mão várias vezes pelo braço e pelo punho dobrado da menina, e exclama satisfeito:
- Graças a Deus já sei o que é o leite !"
(recolhida por Mikes, 1976: 5)

A satisfação do velho cego é total, como pode ser a satisfação dos que se emaranham na teia das ilusões.

Analogias à parte, não podemos continuar na busca constante de concretizar o abstrato como quem transmite a corruptela do real, falsas imagens na tentativa de manter a ilusão de conhecimento. Permanecer no vício da ocularidade que concebe o olhar como o sentido capaz de gerar todo o conhecimento e tenta de todas as formas ver aquilo que só se compreende racionalmente.

No fundo a satisfação que existe para alguns é passageira, pois as imagens oferecidas são toscas como a da anedota, e os danos logo se fazem sentir. O principal deles é o afastamento dos alunos em relação à química, encarada como um conjunto de regras sem sentido que precisam ser memorizadas.

Sendo assim, consideramos ser demonstração de lucidez por parte de nossos alunos o não-aprendizado de química. Não é possível existir aprendizagem quando há o ensino do irracional e do ilógico.

Com isso, perdem os alunos, perde a cidade científica e, mais que todos, perde a sociedade. Afinal, não ensinamos química apenas para futuros cientistas. Acima de tudo ensinamos uma linguagem necessária a fim de que cada cidadão possua instrumentos mínimos de compreensão da sociedade tecnológica. E o espírito crítico desse ser social não mais pode renunciar ao conhecimento de conceitos científicos básicos, e dentre eles os conceitos químicos.

Todavia, tal quadro nos coloca diante de inúmeras indagações. Como modificar essa situação? Quais caminhos seguir? E as respostas não estão prontas, apenas se apresentam pistas para o início de construção do processo. Processo árduo, mas se oferecendo na forma de instigante desafio.

Algumas propostas já são elaboradas, fora do espaço de comercialização maciça, possuindo grandes dificuldades para conseguirem manter edições regulares, formando um oásis no sistema de ensino pela seriedade do trabalho elaborado. Um dos mais significativos exemplos é o PROQUIM (Schnetzler et alii, 1986).

Projetos como esse precisam se multiplicar, gerando uma pressão que permita edições em larga escala de material didático mais condizente com objetivos racionais para o ensino de química.

Por outro lado, é preciso que se discuta a formação do profissional da química. Afinal, a química não-lavoisieriana não chega ao ensino porque não chega à mente de muitos químicos, e muito menos dos professores de química. E construir um ensino de química não-lavoisieriana não é apenas falar em partícula-onda, números quânticos ou relativizar o conceito de massa. Para tanto é preciso combater o dogmatismo empirista, o absolutismo das verdades positivistas, da metodologia única, o que deve ser feito mesmo quando tratamos de conceitos químicos constituídos no século XIX.

É preciso entender a química a partir do entendimento do químico, outrora manipulador de metais, "cozinheiro" que buscava dominar a essência das substâncias em seu laboratório, hoje um cientista racionalizando o trabalho da sua mão. Precisamos compreender o vício da ocularidade existente na ciência ocidental, a força do substancialismo e do realismo na química, obstaculizando o processo de abstração.

Ademais há que se entender a alquimia, sua verve mística e seu legado à química, analisando a ruptura que se dá entre um conhecimento e outro. E por aí efetuar a crítica da visão do químico como meio bruxo meio louco, o criador de fumaças coloridas e poções desconhecidas e fatais, como bem transmitem os programas de televisão.

Para o desenvolvimento desse ensino é crucial o entendimento da história da química, não como coleção de fatos superpostos, mas como processo de constantes retificações para a construção do conhecimento científico. Conhecer os obstáculos epistemológicos enfrentados no decorrer da história para, então, melhor compreendê-los no ensino.

Além disso, há necessidade de "enxugar" sobremaneira os conteúdos, e por esse "enxugamento" entenda-se não o puro e simples corte de tópicos, mas sua reelaboração.

Por que não ensinar primeiro os aspectos macroscópicos antes de estrutura atômica? Permitir ao aluno o entendimento das relações de massa, o trabalho com reações químicas simples antes da elaboração de conceitos de atomística, seguindo portanto a ordem de elaboração dos conceitos.

Há necessidade de retirar as classificações excessivas e reestruturar classificações como a das reações químicas, substituindo as tradicionais dupla e simples troca, análise e síntese por ácido-base, redox, precipitação, complexação e decomposições e sínteses térmicas. Ou seja, substituir a classificação meramente instrumental pela classificação racional, que identifica os processos químicos que realmente ocorrem.

Em contrapartida, não há necessidade de se insistir no ensino de química orgânica como disciplina à parte. No segundo grau a química deve ser uma só, envolvendo inorgânica, físico-química e orgânica. O mais importante é permitir que o aluno elabore respostas para os problemas básicos da química, sem especificidades que são necessárias apenas no terceiro grau.

O ensino das primeiras idéias da química é o mais difícil, mais cheio de riscos e tropeços, visto ser na mente do aluno iniciante que podem ficar marcados os mais indelévels obstáculos. E exatamente nos primeiros passos constatamos que residem os maiores erros:

"quando comecei a estudar um curso de química pela primeira vez, ainda que o professor escolhido por mim (...) fosse considerado o mais claro e mais ao alcance dos iniciantes, surpreendeu-me ver, de quanta escuridão estavam rodeadas as primeiras abordagens da ciência.' Depois de referir-se à forma racional e rigorosa dos cursos de física e matemática que seguiu, acrescentava: 'Na química o caminho era completamente diferente. Desde os primeiros passos começava-se por supor em vez de provar, apresentavam-me palavras que não [se sabia] definir ou, pelo menos, que só se podia definir empregando conhecimentos que eram-me absolutamente desconhecidos e que não podia adquirir senão pelo estudo de toda química. Assim começavam a ensinar-me ciência supondo que eu já sabia". (Lavoisier, citado por Tosi, 1989: 49)

Mais uma vez confirmamos o quanto o ensino de química, não é de hoje, se afasta da coerência lógica. Concluímos, portanto, que a discussão teórica contundente é mais do que necessária para que sejam redefinidos os objetivos e os princípios do ensino da química.

E um dos pontos mais importantes dessa discussão se

encontra no viés epistemológico desenvolvido por Bachelard. A rediscussão de nossos conceitos sobre ciência deve passar pelo entendimento do racionalismo aplicado, a constante dialética razão-experimentação, capaz de trazer para o ensino a concepção de uma razão toda nova, polêmica, em sintonia com a ciência de ponta deste século.

VII - A N E X O

Listagem dos Livros Didáticos de Química

Os livros foram organizados por ordem cronológica, sendo os nomes em maiúsculas correspondentes à forma de referência feita no decorrer da dissertação.

- Reforma Francisco Campos (1931-1941)

01 - PECEGUEIRO DO AMARAL, João. Compêndio de Química Geral e Mineral. Rio de Janeiro, s. ed., 1933, 286 p, v. 1, 4a. série.

02 - ----- . Compêndio de Química Geral e Mineral. Rio de Janeiro, s. ed., 1933, 176 p, v. 2, 5a. série.

03 - NOBRE, Freitas. Tratado de Química Elementar. Porto, Lelo, 1933, 14a. edição, 414 p.

Obs: há indicação no livro de que se trata de obra adotada em estabelecimentos secundários em Portugal e no Brasil. Esse volume inclui praticamente todo programa oficial brasileiro.

04 - RANGEL, Geraldo da Gama. Rudimentos de Química Orgânica. Rio de Janeiro, Francisco Alves, 1933, 204 p.

05 - PECEGUEIRO DO AMARAL, João. Compêndio de Química Geral e Mineral. Rio de Janeiro, Villani & Barbero, 1935, 2a. edição, 292 p, v. 1, 4a. série.

Obs: esse livro sofreu poucas alterações em relação à edição de 1933.

06 - FROES, Arlindo. Química. Rio de Janeiro, Francisco Alves, 1935, 634 p, 5a. série.

07 - TERRA, Barros. Noções Elementares de Química Orgânica. Rio de Janeiro, s. ed., 1936, 339 p.

08 - PECEGUEIRO DO AMARAL, João. Compêndio de Química Geral e Mineral. Rio de Janeiro, s. ed., 1936, 2a. edição, 230 p, v. 2, 5a. série.

Obs: esse livro apresenta modificações, em relação à 1a. edição de 1933, apenas quanto à ordem dos capítulos.

09 - FACCINI, Mario. Física e Química. Rio de Janeiro, F. Briguier & Cia, 1937, 4a. edição, 768 p., 4a. série.

10 - CARNEIRO LEAD, Arnaldo. Química. São Paulo, Cia Ed Nacional, 1938, 3a. edição, 293 p, 3a. série.

11 - AMADO, Gildásio. Química. Porto Alegre, Livraria do Globo,

1939, 484 p, 5a. série.

- 12 - FROES, Arlindo. Química. Rio de Janeiro, Francisco Alves, 1940, 610 p, 5a. série.
- 13 - COSTA, Carlos & PASQUALE, Carlos. Química. São Paulo, Cia Ed Nac, 1940, 2a. edição, 337 p, 4a. série.
- 14 - FACCINI, Mario. Física e Química. Rio de Janeiro, F. Briguiet & Cia, 1941, 8a. edição, 430 p, 3a. série.
- 15 - _____, Mario. Química. Rio de Janeiro, Francisco Alves, 1941, 394 p, 5a. série.
- 16 - BRANDAO, Alvaro Soares. Química. São Paulo, Melhoramentos, s.d., 252 p, 4a. série.

Obs: o programa do livro está de acordo com o programa da Reforma Campos.

- 17 - _____, Alvaro Soares. Química. São Paulo, Melhoramentos, s.d., 361 p, 5a. série.

Obs: o programa do livro está de acordo com o programa da Reforma Campos.

- 18 - FROES, Arlindo. Química. Rio de Janeiro, J. R. de Oliveira & Cia, 510 p, 3a. série.

Obs: o conteúdo é referente à 3a. série, porém concerne à parte prática. Consta na primeira página a assinatura do ex-dono, indicando o ano de 1941.

- Reforma Capanema (1942-1961)

- 19 - COSTA, Carlos & PASQUALE, Carlos. Química. São Paulo, Ed. do Brasil S/A, 1945, v. 1, 2a. edição, 228 p, 1a. série do curso científico e 2a. série do curso clássico.
- 20 - PUIG, Pe. Ignacio. Curso Geral de Química. Porto Alegre, Livraria do Globo, 1945, 4a. edição, 585 p.

Obs: esse livro foi elaborado, de acordo com a 3a. edição espanhola, por Mario Saraiva e Alcides Caldas. O livro se dirige aos preparatórios para as universidades, aos ginásios, seminários, escolas normais, etc. Não segue exatamente o programa da Reforma Capanema, mas com ele se assemelha.

- 21 - MARCIANO, Irmão Mário. Química. Rio de Janeiro, Francisco Alves, 1946, 322 p, 1a. série do curso científico.
- 22 - MACEDO, Luiz. Química. São Paulo, Cia Ed Nacional, 1948, 3a. edição, v.1, 141 p, 1a. série do curso científico e 2a.

série do curso clássico.

- 23 - _____. Química. São Paulo, Cia Ed Nacional, 1949, 3a. edição, v. 2, 196 p, 2a. série do curso científico e parte da 3a. série do curso clássico.
- 24 - _____. Química. São Paulo, Cia Ed Nacional, 1949, 3a. edição, v. 3, 192 p, 3a. série do curso científico e parte da 3a série do curso clássico.
- 25 - DECOURT, Paulo. Química. São Paulo, Melhoramentos, 1946, 384 p, 2a. série.
- 26 - MARCIANO, Irmão Mário. Química. Rio de Janeiro, Francisco Alves/Paulo de Azevedo, 1947, 570 p, 3a. série.
- 27 - DECOURT, Paulo. Química. São Paulo, Melhoramentos, 1951, 3a. edição, v. 3, 406 p, 3a. série do colegial científico e clássico.
- 28 - AZAMBUJA, Abílio. Lições de Química Orgânica. Porto Alegre, Coruja, 1952, v. 2, 220 p, 2a. série.
- 29 - COSTA, Carlos & PASQUALE, Carlos. Química. São Paulo, Ed do Brasil, 1953, 238 p, 2a. série do curso colegial científico e clássico.
- 30 - COSTA, Carlos & PASQUALE, Carlos. Química. São Paulo, Ed do Brasil S/A, 1953, 8a. edição, 263 p, 3a. série do colegial científico e clássico.
- 31 - FERREIRA, Tristão Feijó. Pontos de Química. Porto Alegre, Coruja, 1953, 3a. edição, v. 1, 152 p, 3a. série.
- 32 - PIMENTA, Aluisio. Elementos de Química. São Paulo, Melhoramentos, 1953, 225 p, 2a. série.
- 33 - SIMAS FILHO, Eduardo. Química. Rio de Janeiro, F. Briguiet & Cia, 1953, 3a. edição, 222 p, 1a. série.
- 34 - CAMARGO de Carvalho, Geraldo & SAFFIOTI, Waldemar. Química. São Paulo, Cia Ed Nacional, 1956, 7a. edição, 252 p, 1a. série.
- 35 - CAMARGO de Carvalho, Geraldo & SAFFIOTI, Waldemar. Química. São Paulo, Cia Ed Nacional, 1958, 9a. edição, 412 p, 3a. série.
- 36 - CAMARGO de Carvalho, Geraldo & SAFFIOTI, Waldemar. Química. São Paulo, Cia Ed Nacional, 1959, 12a. edição, 428 p, 2a. série.
- 37 - BORZANI, Walter et alii. Fundamentos da Química. São Paulo, Clássico-Científica, 1960, 1a. edição, 254 p.

Obs: esse livro não segue o programa da Reforma Capanema. Trata-se de um exemplar organizado para servir ao curso introdutório de Química do Instituto de Tecnologia da Aeronáutica - ITA, servindo também ao colegial regular. Contém essencialmente Química Geral.

38 - NEIVA, J. B. P. & COHEN, R. M. Notas de Química. Rio de Janeiro, Ed. do Colégio Militar do Rio de Janeiro, 1961, 107 p.

Obs: esse livro também não segue o programa da Reforma Capanema, abrangendo basicamente Química Geral.

39 - IRMÃOS MARISTAS. Química. São Paulo, Ed do Brasil, 1961, 5a. edição, 284 p, 1a. série.

Obs: esse livro é uma reedição, com mínimas alterações, do livro do Irmão Mário Marciano de 1946.

40 - AMADO, Gildásio. Química. São Paulo, Cia Ed nacional, 1961, 340 p, 2a. série.

Obs: na primeira página, contém assinatura de antigo dono, indicando que o livro foi utilizado no 3o. ano científico, em Brasília, no ano de 1966.

41 - _____. Química. São Paulo, Cia Ed Nacional, 1961, 2a. edição, 378 p, 3a. série.

Obs: idem ao livro anterior.

- Reforma da Lei de Diretrizes e Bases (1962-1971)

42 - NEHMI, Victor. Química Geral II. São Paulo, Nobel, 1962, 2a. edição revista, v. 2, 168 p, 1a. série.

43 - _____. Química Geral III. São Paulo, Nobel, 1962, 2a. edição, v. 3, 410 p, 3a. série.

44 - CAMARGO de Carvalho, Geraldo & SAFFIOTI, Waldemar. São Paulo, Cia Ed Nacional, 1963, 29a. edição, 331 p, 1a. série.

Obs: poucas alterações em relação à 7a. edição de 1956.

45 - CBA, Chemical Bond Approach Committee. Química. Brasília, Universidade de Brasília, 1964-1967, v. 1, 118 p.

46 - _____. Química. Brasília, Universidade de Brasília, 1964-1965, v. 2, 131 p.

Obs: os dois exemplares anteriores correspondem à tradução

brasileira, feita por Astréa Giesbrecht et alii, do "Chemistry" (1961), organizado pelo CBA.

- 47 - NEHMI, Victor. Química Geral - Atomística. São Paulo, Nobel, 1965, 5a. edição, 127 p, 3a. série.
- 48 - AMARAL, Luciano do. Química Orgânica. São Paulo, Ed do Brasil, 1966, 317 p, curso colegial.
- 49 - FREITAS, Renato Garcia de & COSTA, Carlos Alberto da. Química Orgânica. Rio de Janeiro, Livro Técnico, 1966, 2a. edição, 248 p, curso colegial.
- 50 - MACHADO, Gilberto Freire & MOREIRA, Aureo. Química Orgânica. [Rio de Janeiro], Cursos ADN/IDA, 1966, 6a. edição, 326 p, para o ciclo colegial e exames vestibulares.
- 51 - NEHMI, Victor. Química Orgânica. São Paulo, Nobel, 1967, 11a. edição revista, v. 1, 220 p.
- 52 - NEHMI, Victor. Química Orgânica. São Paulo, Nobel, 1967, 10a. edição revista, v. 2, 220 p.
- 53 - NAGIB, Francisco. Química Orgânica para Exames Vestibulares. Rio de Janeiro, [Curso de Ciências Médicas], v. 1, 154 p.
- Obs: consta a assinatura do antigo dono com a data de 1967.
- 54 - FELTRE, Ricardo & Yoshinaga, SETSUO. Físico-Química. São Paulo, Moderna, 1968, 2a. edição, v. 3, 418 p.
- 55 - SAFFIOTI, Waldemar. Fundamentos da Química. São Paulo, Cia Ed Nacional, 1968, v. 1, 689 p.
- 56 - FELTRE, Ricardo & Yoshinaga, SETSUO. Química Geral. São Paulo, Moderna, 1969, v. 1, 533 p.
- 57 - _____. Atomística. São Paulo, Moderna, 1970, v. 2, 478 p.
- 58 - EBERT, Alberto & NOTRICA, Victor. Química Orgânica. Rio de Janeiro, Cadernos MEC/FENAME, 1970, 1a. edição, 174 p.
- 59 - MENEZES, Edgard. Química Geral e Inorgânica. s.l., s.e., [1971], 9a. edição, 384 p.
- 60 - COTTON, F. A., LYNCH, L. D. & MACEDO, H. Curso de Química. São Paulo, Forum Ed, s.d., 658 p.
- 61 - COTTON, F. A., LYNCH, L. D. & MACEDO, H. Manual do Curso de Química. São Paulo, Forum Ed, s.d., 529 p.

Obs: os dois livros anteriores correspondem ao "Chemistry, an Investigate Approach". Esse livro foi escrito nos EUA por Cotton e Lynch em 1968, revisando a edição americana do Chem

Study. A tradução e adaptação brasileira ficou a cargo de Macedo et alii.

62 - METCALFE et alii. Química Moderna. Rio de Janeiro, Renes, 1971, 2a. edição, v. 1, 265 p.

63 - ----- . Química Moderna. Rio de Janeiro, Renes, 1971, 2a edição, v. 2, 322 p.

Obs: esse livro é uma tradução revista por Mello et alii, da obra americana de Metcalfe, William e Castka, escrita em 1958 e reeditada em 1962 e 1966.

- Reforma 5692 (1972-1990)

64 - FREITAS, Renato Garcia & COSTA, Carlos Alberto. Química Orgânica. Rio de Janeiro, Ao Livro Técnico, 1973, v. 1, 248 p.

65 - CAMARGO de Carvalho, Geraldo. Química Moderna. São Paulo, Nobel, 1973, v. 1, 284 p.

66 - FELTRE, Ricardo & Yoshinaga, SETSUO. Química Orgânica. São Paulo, Moderna, [1974], v. 4, 670 p.

Obs: os livros 54, 56, 57 e 66, que compõem a primeira coleção de Feltre & Setsuo, tiveram nova edição em 1990, sem alterações de conteúdo.

67 - FREITAS, Renato Garcia & COSTA, Carlos Alberto. Química Orgânica. Rio de Janeiro, Ao Livro Técnico, 1975, v.5, 248 p.

68 - ----- . Iniciação à Físico-Química. São Paulo, Nobel, 1976, 297 p.

69 - JORGE, Eduardo. Físico-Química. Goiânia, s.e., 1976, 316 p.

70 - FELTRE, Ricardo. Química - Segundo Grau. São Paulo, Moderna, [1976], v. 2, 471 p.

71 - AMARAL, Luciano do. Estudos de Química. São Paulo, Moderna, 1977, 1a. edição, v. 2, 196 p.

72 - FELTRE, Ricardo e Yoshinaga, SETSUO. Química - Segundo Grau. São Paulo, Moderna, 1977, v. 1, 398 p, 1a. série.

73 - LEMBO, Antonio & SARDELLA, Antonio. Química. São Paulo, Ática, 1978, 5a. edição, v. 1, 303 p.

74 - CAMARGO de Carvalho, Geraldo. Química Moderna. São Paulo, Nobel, 1978, v. 2, 459 p.

- 75 - NABUCO, João Roberto & BARROS, Roberto V. Química Geral e Inorgânica. Rio de Janeiro, Ao Livro Técnico, 1978, 1a. edição, 393 p.
- 76 - SARDELLA, Antonio & MATEUS, Edegar. Química Fundamental. São Paulo, Ática, 1980, 4a. edição, v. 1, 240 p.
- 77 - CREPALDI, José & TARANTO, José. Química. Belo Horizonte, Lê, 1981, v. 2, 296 p.
- 78 - Pimentel, George C. de acordo com CHEM STUDY. Química - uma Ciência Experimental. Lisboa, Calouste Gulbenkian, 1981, 4a. edição, 686 p.

Obs: o conteúdo é o mesmo do Curso de Química, de Cotton, Lynch e Macedo.

- 79 - LEMBO, Antonio & SARDELLA, Antonio. Química. São Paulo, Ática, 1981, 4a. edição, v. 3, 366 p.
- 80 - BRAGA da Silva, Edson & SILVA, Ronaldo. Princípios Básicos de Química. São Paulo, Harper & Row do Brasil, 1982, v. 1, 217 p.
- 81 - _____. Princípios Básicos de Química. São Paulo, Harper & Row do Brasil, 1982, v. 2, 217 p.
- 82 - _____. Princípios Básicos de Química. São Paulo, Harper & Row, 1982, v. 3, 210 p.
- 83 - NOVAIS, Vera Lúcia Duarte de. Físico-Química. São Paulo, Atual, 1982, 345 p.
- 84 - FELTRE, Ricardo. Química. São Paulo, Moderna, 1983, 2a. edição, v. 1, 364 p.
- 85 - _____. Química. São Paulo, Moderna, 1983, 2a. edição, v. 2, 445 p.
- 86 - _____. Química. São Paulo, Moderna, 1983, 2a. edição, v.3, 357 p.
- 87 - SARDELLA, Antonio & MATEUS, Edegar. Química. São Paulo, Ática, 1983, 3a. edição, 456 p.

Obs: o livro contém o programa completo do segundo grau.

- 88 - NOVAIS, Vera Lúcia Duarte de. Química Geral. São Paulo, Atual, 1983, 2a. edição, v. 1, 391 p.
- 89 - FELTRE, Ricardo. Curso Básico de Química. São Paulo, Moderna, 1985, v. 1, 177 p.
- 90 - _____. Curso Básico de Química. São Paulo, Moderna, 1985,

v. 2, 202 p.

- 91 - _____. Curso Básico de Química. São Paulo, Moderna, 1985, v. 3, 214 p.

Obs: os três últimos livros correspondem a versões resumidas da coleção do "Química", do mesmo autor, de 1983.

- 92 - NOVAIS, Vera Lúcia Duarte de. Química Orgânica. São Paulo, Atual, 1985, v. 4, 362 p.

- 93 - POLITI, Elie. Química: Curso Completo. São Paulo, Moderna, 1986, 454 p.

- 94 - GALLO NETTO, Carmo. Química. São Paulo, Scipione, 1986, 1a. edição, v. 1, 367 p.

- 95 - _____. Química. São Paulo, Scipione, 1986, 1a. edição, v. 2, 407 p.

- 96 - _____. Química. São Paulo, Scipione, 1986, 1a. edição, v. 3, 368 p.

- 97 - LEMBO, Antonio & SARDELLA, Antonio. Química. São Paulo, Ática, 1987, 17a. edição, v. 1, 408 p.

- 98 - MATSUI, Ana Nemoto et alii. Química 1. São Paulo, FTD, 1987, 165 p.

- 99 - _____. Química 2. São Paulo, FTD, 1987, 168 p.

- 100- _____. Química 3. São Paulo, FTD, 1987, 199 p.

- 101- FELTRE, Ricardo. Química. São Paulo, Moderna, 1989, 3a. edição, v. 1, 415 p.

- 102- _____. Química. São Paulo, Moderna, 1989, 3a. edição, v. 2, 472 p.

- 103- _____. Química. São Paulo, Moderna, 1989, 398 p.

Obs: os três últimos livros correspondem à reedição, sem alterações, da coleção, do mesmo autor, de 1983.

- 104- FERRE', Juan. Química para o 2o. Grau. São Paulo, Scipione, 1990, 416 p.

Obs: o livro contém todo conteúdo de Química para o 2o. grau.

- 105- Yoshinaga, SETSUO. Caderno de Química - alfa. São Paulo, Espelho, s.d., v.2, 433 p.

- 106- _____. Caderno de Química - beta. São Paulo, Espelho, s.d., v. 2, 250 p.

Obs: os dois últimos livros foram elaborados com a colaboração da APROQ - Assessoria aos Professores de Química.

107- BELLINTANI, Hélio Alberto. Química. São Paulo, Cia Ed Nacional, s.d. (pós 1982), 283 p.

VIII - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- .ALBUQUERQUE, Francisco. Que sabemos sobre o Livro Didático. Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos. Rio de Janeiro, 61 (138), 218-223, abr/jun, 1976.
- .ALONSO, Carmen. Do Valor da Observação e da Experimentação Dirigida na Aprendizagem das Ciências Físicas e Naturais. Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos. Rio de Janeiro, INEP, 20 (52): 167-170, out/dez, 1953.
- .ALVES, Nilda. O Conteúdo e o Método nos Livros Didáticos de 1a a 4a Série do 1o Grau. Educação e Sociedade. São Paulo, Cortez, 9 (27), 13-22, set, 1987.
- .ALVES, Rubem. Filosofia da Ciência. São Paulo, Brasiliense, 1983, 209 p.
- .AMADO, Gildásio. Educação Média e Fundamental. Rio de Janeiro, José Olympio, Brasília, INL, 1973, p.
- .ARROYO, Miguel. A Função Social do Ensino de Ciências. Em Aberto. Brasília, 7 (40), 3-11, out/dez, 1988.
- .AZEVEDO, Fernando. Manifesto dos Pioneiros. A Educação Entre Dois Mundos. São Paulo, Melhoramentos, 1932, 59-81.
- .BACHELARD, Gaston. L'Activité Rationaliste de la Physique Contemporaine. Paris, Presses Universitaires de France, 1965, 224 p. Traduzido por Estela Canto. La Actividad Racionalista de la Física Contemporanea, Buenos Aires, Siglo Veinte, 269p. Abreviatura: AR
- .----- . A Água e os Sonhos. São Paulo, Martins Fontes, 1989, 202 p. Abreviatura: AS
- .----- . A Epistemologia. Lisboa, Edições Setenta, 1971, 220 p. Abreviatura: EP
- .----- . Essai sur la Connaissance Approchée. Paris, J. Vrin, 1987, 310 p. Abreviatura: ECA
- .----- . L'Engagement Rationaliste. Paris, Presses Universitaires de France, 1972, 190 p. Traduzido por Hugo Beccacege. El Compromiso Racionalista. Mexico, Siglo Veintiuno Editores, 1985, 179 p. Abreviatura: ER
- .----- . Etudes. Paris, J. Vrin, 1970, 98 p. Abrev: ET
- .----- . La Formation de L'Esprit Scientifique. Paris, J. Vrin, 1947, 255 p. Traduzido por José Babini. La Formación del Espíritu Científico. Buenos Aires, Argos, 1948, 303 p. Abreviatura: FES
- .----- . Lautréamont. Lisboa, Litoral Edições, 1989, 126 p. Abreviatura: LAU

- ----- . Le Matérialisme Rationnel. Paris, Presses Universitaires de France, 1972, 224p. Traduzido por Elsa Laguzzi e Norma Castrillón. El Materialismo Racional, Buenos Aires, Paidós, 1976, 346 p. Abreviatura: MR
- ----- . Le Nouvel Esprit Scientifique. Paris, Presses Universitaires de France, 1983, 185 p. Traduzido por J. Hahne Júnior. O Novo Espírito Científico. Rio de Janeiro, Tempo Brasileiro, 1985, 151 p. Abreviatura: NEC
- ----- . Le Pluralisme Cohérent de la Chimie Moderne. Paris, Vrin, 1973, 235 p. Abreviatura: PC
- ----- . A Poética do Devaneio. São Paulo, Martins Fontes, 1988, 205 p. Abreviatura: PD
- ----- . A Psicanálise do Fogo. Lisboa, Litoral Edições, 1989, 120 p. Abreviatura: PF
- ----- . La Philosophie du Non. Paris, Presses Universitaires de France, 1983, 147 p. Traduzido por J. J. Moura Ramos. A Filosofia do Não - Filosofia do Novo Espírito Científico. Lisboa, Presença, 1984, 136 p. Abreviatura: PN
- ----- . Le Rationalisme Appliqué. Paris, Presses Universitaires de France, 1975, 217 p. Traduzido por Nathanael Caixeiro. O Racionalismo Aplicado. Rio de Janeiro, Zahar Editores, 1977, 244 p. Abreviatura: RA
- .BASBAUM, Leôncio. História Sincera da República, das Origens a 1889. São Paulo, Alfa-Omega, 1975, v. 1, 284 p.
- .BASTOS, Tocary A. A Vocação Pedagógica do Positivismo. In: O Positivismo e a Realidade Brasileira. Belo Horizonte, 1965, Revista Brasileira de Estudos Políticos, Faculdade de Direito, UFMG.
- .BASTOS SILVA, Geraldo. A Educação Secundária. São Paulo, Cia Editora nacional, 1969, 422 p.
- .BEAUDE, Joseph. Mecanismo. In: Galileu, Descartes e o Mecanismo. Lisboa, Gradiva, 1987, p. 59-71.
- .BERGO, Antônio Carlos. O Positivismo: Caracteres e Influências no Brasil. Reflexão. Campinas, 8 (25): 47-97, jan-abr, 1983.
- .BERNAL, John D. Ciência na História. Lisboa, Livros Horizonte, 1975/1978, 7 v, 1400 p.
- .BITTENCOURT, Raul. A Educação Brasileira no Império e na República. Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos. Rio de Janeiro, 19 (49): 41-76, jan-mar, 1953.

- .BORGES, Gilberto de Azevedo. Utilização do Método Científico em Livros Didáticos de Ciências para o 1o Grau. Campinas, Unicamp, 1982, tese de mestrado, 359 p.
- .BOSI, Alfredo. Cultura Brasileira. In: Filosofia da Educação Brasileira. São Paulo, Civilização Brasileira, 1987, p. 135-194.
- .BRONOWSKI, Jacob. O Senso Comum da Ciência. Belo Horizonte/São Paulo, Itatiaia/Edusp, 1977, 126 p.
- .BRUN, Jean. Os Pré-Socráticos. Lisboa, Edições Setenta, 1988, 110 p.
- .BULCAO, Marly. O Racionalismo da Ciência Contemporânea. Rio de Janeiro, Antares, 1981, 144 p.
- .CALLONI, Humberto. Influência do Positivismo no Ensino de 1o e 2o Graus no Brasil. Educação e Realidade. Porto Alegre, 9 (3): 107-17, set/dez, 1984.
- .CHASSOT, Attico Inácio. A Educação no Ensino de Química. Ijuí, Unijui, 1990, 117 p.
- .CHAUÍ, Marilena. Janela da Alma, Espelho do Mundo. In: O Olhar. São Paulo, Companhia das Letras, 1988, p. 31-63.
- .CHEMICAL BOND APPROACH COMMITTEE. Química. Brasília, Universidade de Brasília, 1964-1967, 2 v, 247 p.
- .CLAPP, Leallyn. Química do Grupo OH. São Paulo, Edgard Blücher, 1969, 133 p.
- .COMTE, Auguste. La Philosophie Chimique et la Philosophie Biologique. In: Cours de Philosophie Positive. Paris, Librairie J.-B. Baillière et Fils, 1877, v.3.
- ._____. Curso de Filosofia Positiva. São Paulo, Abril Cultural, Coleção Os Pensadores, 1978, p. 1-39.
- ._____. Discurso Sobre o Espírito Positivo. São Paulo, Abril Cultural, Coleção Os Pensadores, 1978, p. 41-94.
- .COTTON, F. A. & WILKINSON, G. Química Inorgânica Avanzada. Mexico, Limusa, 1978, 1173 p.
- .DAGOGNET, François. Bachelard. Lisboa, Ed. Setenta, 1986, 102 p.
- .DELHEZ, Robert. Bachelard et la Chimie. In: Bachelard - Colóquio de Cerisy. Paris, Union Générale D'Éditions, 1974, p. 121-133.
- .DESCARTES, René. Discours de La Méthode. Paris, J. Vrin, 1989, 146 p.

- .EISBERG, Robert & RESNICK, Robert. Física Quântica. Rio de Janeiro, Campus, 1983, 928 p.
- .ELKANA, Yehuda. Science, Philosophy of Science and Science Teaching. Education, Philosophy & Theory. Pergamon Press, 1970, Great Britain, v. 2, p. 15-35.
- .FERRAÇO, Carlos Eduardo. Os Conteúdos de Física no Ensino das Séries Iniciais: a Necessidade de Superação do Conhecimento Empírico. In: O Cotidiano do Livro Didático. São Paulo, Cortez, 1987, Cadernos Cedes, p. 54-62.
- .FERREIRA, Ricardo. De Berzelius ao problema dos muitos corpos - uma análise do autoritarismo institucional na química. Ciência e Cultura. São Paulo, 32 (4): 413-417, abr, 1980.
- .FILGUEIRAS, Carlos. Newton e a Alquimia. Ciência e Cultura. São Paulo, 40 (1): 41-44, jan, 1988.
- .FLEURY, Renato S. Livro Didático. Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos. Rio de Janeiro, 35 (82): 174-177, abr/jun, 1961.
- .FRACALANZA, Hilário. O Conceito de Ciência Veiculado por Atuais Livros Didáticos de Biologia. Campinas, Unicamp, 1982, tese de mestrado, 203 p.
- .FRANCO JUNIOR, Creso. Os Livros e a Gravidade, uma Queda pouco Didática. Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos. Brasília, 70 (165): 224-242, maio-ago, 1989.
- .FREITAS, Bárbara. Escola, Estado e Sociedade. São Paulo, Moraes, 1986, 142 p.
- .FREITAS, Bárbara; MOTTA, Valéria e COSTA, Wanderley. O Estado da Arte do Livro Didático no Brasil. Brasília, INEP, 1987, 129 p.
- .GAGLIARDI, R. Cómo Utilizar la Historia de las Ciencias en la Enseñanza de las Ciencias. Enseñanza de las Ciencias. Barcelona, Universidad Autónoma de Barcelona, 6 (3): 291-296, nov, 1988.
- .GALVAO, W. N. Robert Boyle. In: Os Cientistas. São Paulo, Abril Cultural/FUNBEC, 1972, p. 117-132.
- .GEWANDSZNAJDER, Fernando. O que é o Método Científico. Rio de Janeiro, IESAE/FGV, 1987, tese de mestrado, 2 v, 556 p.
- .GIL PEREZ, Daniel. A Metodologia Científica e o Ensino de Ciências. Enseñanza de las Ciencias. Barcelona, 4 (2): 111-121, 1986, tradução do IBECC, Núcleo de Documentação sobre Formação Científica.

- .GOLDFARB, Ana Maria A. Da Alquimia a Química. São Paulo, Nova Stella/Edusp, 1987, 279 p.
- .HAIDAR, Maria de Lourdes Mariotto. O Ensino Secundário no Império Brasileiro. São Paulo, Edusp/Grijalbo, 1972, 285 p
- .HAMBURGER, Amélia. Alguns Dilemas da Licenciatura. Ciência e Cultura. São Paulo, 35 (3): 307-313, mar, 1983.
- .HARTWIG, Dácio et alii. Descrição e Análise de Problemas de Desempenho de Professores de Química do Segundo Grau na Região de São Carlos, São Paulo. Química Nova. São Paulo, abr, 1981, p. 44-48.
- .HOFFLING, Luciana. Reflexões sobre a Influência Positivista no Pensamento Brasileiro. Reflexão. Campinas, 7 (22): 15-26, jan-abr, 1982.
- .INDICE da Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos (1944-1984). Brasília, INEP, 1986, 433 p.
- .KOLODKINE, Paul. Mendéléfiev et la loi Périodique. paris, Seghers, 1963, 221 p.
- .KOLOSIMO, Peter. Não é Terrestre. São Paulo, Melhoramentos, 1972, p. 113.
- .KOYRE, Alexandre. L'Histoire des Sciences. In: Etudes d'Histoire de la Pensée Scientifique. Paris, Presses Universitaires de France, 1966, p. 352-361.
- .KRASILCHIK, Myriam. Inovação no Ensino de Ciências. In: Inovação Educacional no Brasil: Problemas e Perspectivas. Org: Walterr Garcia. São Paulo, Cortez/Autores Associados, 1989, p. 164-182.
- .KUHN, Thomas S. A Estrutura das Revoluções Científicas. São Paulo, Perspectiva, 1987, 257 p.
- .LAZERGES, Guy. Como Organizar o Trabalho dos Alunos no Ensino das Ciências Físicas. Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos. Rio de Janeiro, 21 (54): 55-71, abr/jun, 1954.
- .LECOURT, Dominique. Para uma Crítica da Epistemologia. Lisboa, Assírio e Alvim, 1980, 109 p.
- .LESSA, Gustavo. Aperfeiçoamento da Literatura Didática. Revista Brasileira de Estudos pedagógicos. Rio de Janeiro, 29 (69): 118-129, jan/mar, 1958.
- ._____. O Ensino de Ciências no Ensino Secundário. Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos. RJ, INEP, 41 (94), 252-259, abr/jun, 1964.

- .LINS, Ivan. O Positivismo invade a Corte. In: História do Positivismo no Brasil. São Paulo, Nacional, 1964.
- .LORENZ, Karl M. Os Livros Didáticos e o Ensino de Ciências na Escola Secundária Brasileira no Século XIX. Ciência e Cultura. São Paulo, 38 (3): 426-435, mar, 1986.
- .LORENZ, Karl & VECHIA, Aricle. Comparação Diacrônica dos Estudos de Ciências e Humanidades no Currículo Secundário Brasileiro. Ciência e Cultura. São Paulo, 36 (1): 22-35, jan, 1984.
- .LORENZ, Karl & BARRA, Vilma. Produção de Materiais Didáticos de Ciências no Brasil, período: 1950 a 1980. Ciência e Cultura. São Paulo, 38 (12): 1970-1983, dez, 1986.
- .LOWY, Michael. Ideologias e ciência Social. São Paulo, Cortez, 1987, 112 p.
- .LUTFI, Mansur. Cotidiano e Educação em Química. Ijuí, Livraria Unijuí, 1988, 224 p.
- .MAGEE, Bryan. As Idéias de Popper. São Paulo, Cultrix, 1973, 107 p.
- .MAZZOTTI, Marlene Adorni. O Livro Didático como Categoria de Investigação Escolar. São Carlos, UFSCar, 1986, tese de mestrado, 138 p.
- .MATHIAS, Simão. Evolução da Química no Brasil. In: História das Ciências no Brasil. São Paulo, coordenação Mário Ferri e Shozo Motoyama, EPU/EDUSP, 1979, p. 95-110.
- .MELO, C. V. de. Henri Le Chatelier. in: Os Cientistas. São Paulo, Abril Cultural/FUNBEC, 1973, p. 521-536.
- .MENDONÇA, Wilson P. Da Teoria do Conhecimento à Metodologia: Análise do Projeto Epistemológico de Popper. Cadernos de História e Filosofia da Ciência. São Paulo, (7): 5-19, 1984.
- .MIGNACO, Juan Alberto & SHELLARD, Roland Cintra. A Matéria Indivisível. Ciência Hoje. Rio de Janeiro, 3 (14): 42-49, set-out, 1984.
- .MIKES, George. Humor Sem Fronteiras. O Correio da Unesco. Rio de Janeiro, 4 (6): 5-8, jun, 1976.
- .MIRANDA, Maria do Carmo Tavares de. Brasil Monarquia - Questões e Debates sobre o Ensino e a Educação. In: Educação no Brasil. Recife, Imprensa Universitária, 1966, p. 41-58.
- .MORTIMER, Eduardo Fleury. O Ensino de Estrutura Atômica e de

Ligação Química na Escola de 2o Grau: Drama, Tragédia ou Comédia ?. Belo Horizonte, UFMG, 1988, tese de mestrado, 397 p.

- ----- . Ligação Química na Escola de 2o Grau: quem ensina a errar ?. Resumos do 4o Encontro Nacional de Ensino de Química. São Paulo, SBQ, 1988, p. 14.
- NUNES, Clarice. A Iniciação Profissional do Adolescente nas Escolas Técnicas Secundárias na Década de 30. Forum Educacional. Rio de Janeiro, 4 (3): 21-44, jul/set, 1980.
- OLIVEIRA, João B. A. et alii. A Política do Livro Didático. São Paulo, Summus, Campinas, Ed. da Unicamp, 1984, 137 p.
- OLIVEIRA, Renato Jose de. Ensino: o Elo mais Fraco da Cadeia Científica. Rio de Janeiro, IESAE / FGV, 1990, tese de mestrado em andamento.
- PAIM, Antônio. Trajetória da Filosofia no Brasil. In: História das Ciências no Brasil. São Paulo, coordenação de Mário Ferri e Shozo Motoyama, EPU/EDUSP, 1979, p. 9-34.
- PARENTE, Leticia T. de S. A Eletronegatividade. Fortaleza, Imprensa Universitária do Ceará, 1969, 111 p.
- ----- . A Ciência Química - Ensino e Pesquisa na Universidade. Rio de Janeiro, FGV/IESAE, 1985, tese de mestrado, 306 p.
- PEREIRA, Mariana P. B. A. Equilíbrio Químico: Dificuldades de Aprendizagem I - Revisão de Opiniões Não Apoiadas por Pesquisa. Química Nova. São Paulo, 12 (1): 76-81, jan, 1989.
- ----- . Equilíbrio Químico: Dificuldades de Aprendizagem II - Uso de Analogias e Modelos. Química Nova. São Paulo, 12 (2): 182-187, abr, 1989.
- PERELMAN, Chaim. A Filosofia do Pluralismo e a Nova Retórica. In: Revista Internacional de Filosofia. 1979
- PESSANHA, J. A. M. Arquimedes. In: Os Cientistas. São Paulo, Abril Cultural/FUNBEC, 1972, p.21-36.
- ----- . Cultura como Ruptura. In: Cultura Brasileira: Tradição/Contradição. Rio de Janeiro, Jorge Zahar, 1987, p. 59-90.
- ----- . Bachelard e Monet: o Olho e a Mão. In: O Olhar. São Paulo, Companhia das Letras, 1988, p. 149-166.
- PFROMM NETTO, Samuel et alii. O Livro na Educação. Rio de Janeiro, Primor/MEC, 1974, 256 p.

- .PILETTI, Nelson. Ensino de 2o Grau: Educação Geral ou Profissionalização ?. São Paulo, EPU/EDUSP, 1988, 126 p.
- .PIMENTEL, George C e outros. Química: uma Ciência Experimental. Lisboa, Calouste Gulbenkian, 1981, 686 p.
- .PORTO, Angela. O Positivismo e seus Dilemas. Ciência Hoje. Rio de Janeiro, 6 (34): 54-61, ago, 1987.
- .PRELAT, Carlos & PAPP, Desiderio. Historia de los Principios Fundamentales de la Química. Buenos-Aires, Espasa-Calpe, 1950, 190 p.
- .RHEINBOLDT, H. A Vida de Jöns Jacob Berzelius. Ciência e Cultura. São Paulo, 35 (9): 1347-1367, set, 1983.
- A Obra de Jöns Jacob Berzelius. Ciência e Cultura. São Paulo, 36 (11): 1974-2031, nov, 1984.
- A Química no Brasil. In: As Ciências no Brasil. São Paulo, Melhoramentos, organização de Fernando Azevedo, v.2, 1953, p. 9-89.
- .ROCHA, Ibiraci & SOUZA, Maria Marleusa F de. Uma Visão do Ensino da Química na Rede Oficial do Rio Grande do Norte. Resumos do 4o Encontro Nacional de Ensino de Química. São Paulo, 1988, p. 20.
- .ROMANELLI, Otaíza de Oliveira. História da Educação no Brasil. Petrópolis, Vozes, 1987, 267 p.
- .RODRIGUES, José Albertino. Reforma Educacional e Desenvolvimento Social no Brasil Contemporâneo. Ciência e Cultura. São Paulo, 33 (11): 1430-1441, nov, 1981.
- .RONAN, Colin. História Ilustrada da Ciência. São Paulo, Jorge Zahar/Círculo do Livro, 1987, 4 v.
- .ROSMORDUC, Jean. De Tales a Einstein: História da Física e da Química. Lisboa, Editorial Caminho, 1983, 244 p.
- .SAAD, Alfredo. Ciência e Ideologia na Escola de 1o Grau. Rio de Janeiro, FGV/IESAE, 1981, tese de mestrado, 194 p.
- .SCHNETZLER, Roseli Pacheco. O Tratamento do Conhecimento Químico em Livros Didáticos Brasileiros para o Ensino Secundário de Química de 1875 a 1978. Campinas, Unicamp, 1980, tese de mestrado, 138 p.
- .SCHNETZLER, Roseli et alii. PROQUIM - Projeto de Ensino de Química para o 2o. Grau. Campinas, Unicamp, 1986, v. 1, 96 p.
- .TOBIAS, José Antonio. História da Educação Brasileira. São Paulo, Ibrasa, 1986, 349 p.

- .TORRES, João Camilo. O Positivismo no Brasil. Petrópolis, Vozes, 1957, 279 p.
- .TOSI, Lúcia. Lavoisier: uma Revolução na Química. Química Nova. São Paulo, 12 (1): 33-56, jan, 1989.
- .TREVISAN, Leonardo. Estado e Educação na História Brasileira (1750/1900). São Paulo, Moraes, 1987, 124 p.
- .TRIFONOV, D. N. & PETRYANOV, I. V. Elementary Order: Mendeleev's Periodic System. Moscou, Mir Publishers, 1984, 154 p.
- .VIDAL, Bernard. História da Química. Lisboa, Edições Setenta, 1986, 106 p.
- .WEREBE, Maria José Garcia. Grandezas e Misérias do Ensino no Brasil. São Paulo, Difusão Européia do Livro, 269 p.

- DOCUMENTOS

- .Decreto 981, de 8/11/1890, primeira parte. Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos. Rio de Janeiro, 38 (87): 181-201, jul/set, 1962.
- .Decreto 981, de 8/11/1890, segunda parte. Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos. Rio de Janeiro, 40 (91), 181-195, jul/set, 1963.
- .Regulamento para o Gymnasio Nacional a que se refere o Decreto 3251, de 08/04/1899, Imprensa Nacional, Rio de Janeiro, 1899.
- .Regulamento para o Gymnasio Nacional a que se refere o Decreto 3914, de 26/01/1901, Imprensa Nacional, Rio de Janeiro, 1901.
- .Decreto 8659, de 05/04/1911 - Reforma Rivadávia. In: NOBREGA, Vandick L. da. Enciclopédia da Legislação do Ensino. Rio de Janeiro, Romanitas, 1972.
- .Regulamento para o Gymnasio Nacional a que se refere o Decreto 8660, de 05/04/1911, Imprensa Nacional, 1911.
- .Decreto 16782 A, 13/01/1925 - Reforma João Luiz Alves ou Lei Rocha Vaz. In: NOBREGA, Vandick L. da. Enciclopédia da Legislação do Ensino. Rio de Janeiro, Romanitas, 1972.
- .Programas do Colégio Pedro II de 1926, 1927, 1929 e 1930.
- .Exposição de Motivos da Reforma Francisco Campos. In: BRASIL, Ministério da Educação e Saúde Pública. Organização do Ensino Secundário. Rio de Janeiro, Imprensa Nacional, 1931, p. 3-74.
- .Decreto 19890, 18/04/1931. In: BRASIL, Ministério da Educação e Saúde Pública. Organização do Ensino Secundário. Rio de Janeiro, Imprensa Nacional, 1931.
- .Discurso de Gustavo Capanema, Ministro da Educação, no Centenário do Colégio Pedro II (02/12/37). In: BRASIL, Ministério da Educação e Saúde. Panorama da Educação Nacional. Rio de Janeiro, 1937.
- .Carta Brasileira de Educação Democrática. IX Congresso Brasileiro de Educação. Associação Brasileira de Educação, 1945.
- .Lei Orgânica do Ensino Secundário. In: Ensino Secundário no Brasil. BRASIL, Ministério da Educação e Saúde. Rio de Janeiro, inep, 1952, 631 p.
- .Exposição de Motivos, Clemente Mariani. Revista Brasileira

de Estudos Pedagógicos. Brasília, 68 (160): 622-63, set/dez, 1987.

.Lei de Diretrizes e Bases da Educação, Lei 4024 de 20/12/1961 & Reparos a Lei 4024 por Almeida Júnior - Novos Currículos para o Ensino Médio - Conselho Federal de Educação. Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos. Rio de Janeiro, 85: 85-145, jan/mar, 1962.

.Exposição de Motivos do Ministro Jarbas Passarinho. Diretrizes e Bases para o Ensino de 1o e 2o Graus - Histórico da Lei 5692, 11/08/71. Brasília, Senado Federal, tomo I, 1971.

.Lei 5692 de 11/08/1971

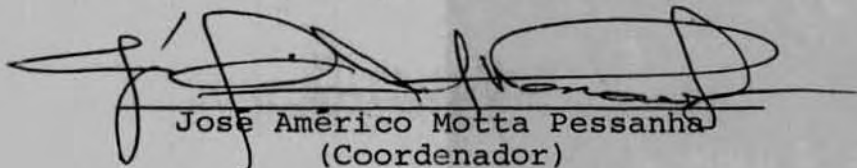
.Relatório do Grupo de Trabalho da Lei 5692/71. Revista de Administração Pública. Rio de Janeiro, 5 (2): 93-145, jul/dez, 1971.

.Parecer 853/71, Currículo Mínimo. Documenta. MEC, CFE, 132, nov, 1971.

.Resolução número 7 de 08/10/1979

.Resolução número 8 de 01/12/1971

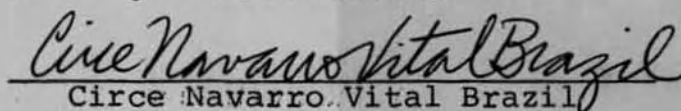
Dissertação apresentada aos Srs.:

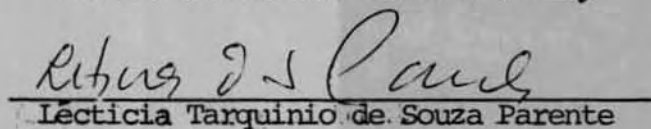

José Américo Motta Pessanha
(Coordenador)

Nome dos

Componentes da

banca Examinadora

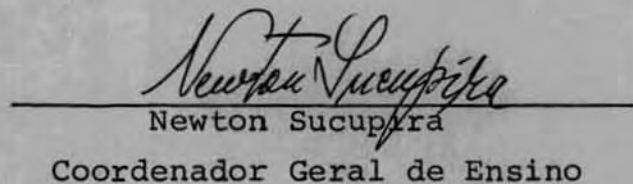

Circe Navarro Vital Brazil

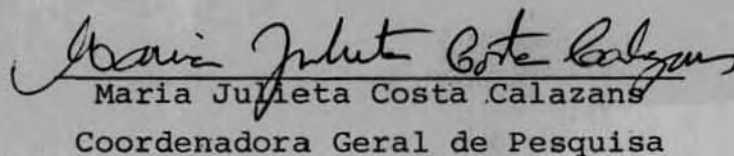

Leticia Tarquinio de Souza Parente



Visto e permitida a impressão

Rio de Janeiro, 10/12/1990


Newton Sucupira
Coordenador Geral de Ensino


Maria Julieta Costa Calazans
Coordenadora Geral de Pesquisa