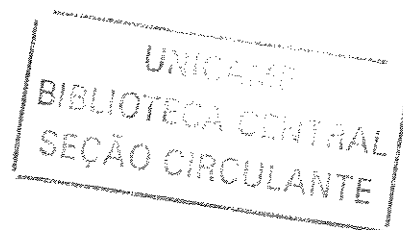


UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA INORGÂNICA
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**Dois textos de Química para dois vídeos do Programa
Como Fazer? – TV Escola - MEC**

Aluno: José Carlos de Azambuja Bianchi
Orientador: Pedro Faria dos Santos Filho



Março - 2005

UNICAMP
N.º CHAMADA:
V. L.
TOMBO BC/
PROC.
PREC.
DATA
N.º CPD

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DO INSTITUTO DE QUÍMICA DA
UNICAMP

UNIDADE BC
CHAMADA 7/UNICAMP
847d
Ex.
OMBO BC/ 65154
ROC. 16-0-00086-05
REC.
ATA 03108705
N.º CPD

B47d

Bianchi, José Carlos de Azambuja.

Dois textos de química para dois vídeos do Programa
Como Fazer? – TV Escola – MEC / José Carlos de
Azambuja Bianchi. – Campinas, SP: [s.n], 2005.

Orientador: Pedro Faria dos Santos Filho.

Dissertação – Universidade Estadual de Campinas,
Instituto de Química.

1. Modelos explicativos. 2. Material didático.
3. Química no ensino médio. 4. TV escola. I. Santos
Filho, Pedro Faria dos. II. Instituto de Química. III. Título.

Título em inglês: Two texts of chemistry for two videos to TV Escola – Como Fazer?
Program – MEC.

Palavras-chave em inglês: Explicative models, Didactic material, Chemistry in High
School, TV School.

Área de concentração: Química Inorgânica.

Titulação: Mestre em Química, Inorgânica.

Banca examinadora: Pedro Faria dos Santos Filho (Orientador), Otávio Aloísio
Maldaner (UNIJUI-RS), Aécio Pereira Chagas (IQ-UNICAMP), José de Alencar Simoni
(IQ-UNICAMP-Suplente).

Data de defesa: 03/03/2005.

15. id. 361205

DEDICATÓRIA

A todos os colegas que sentiram o isolamento de ser professor no campo de trabalho e reconheceram a necessidade de voltar a conviver com as desigualdades de todos nós. Além disso, perceberam a necessidade de forjar a solidariedade entre os profissionais em busca da ampliação do saber, ainda que sintam a falta do diálogo face a face.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais José Eloyd Bianchi (In memorian) e Geni de Azambuja Bianchi, pelo esmero e requinte em favor do conhecimento.

À Ana Maria, esposa, que conviveu com o empreendimento da elaboração da dissertação.

Aos meus filhos, Daniel e Renata, pela cumplicidade em preservar os valores herdados e por reelaborá-los sem perder de vista o significado do ser ético.

Ao Prof. Pedro Faria dos Santos Filho, por ter acreditado na realização desse trabalho.

Ao Walmir Thomazi Cardoso, pelas enriquecedoras discussões alusivas às gravações dos vídeos para o Programa Como Fazer? -TV Escola – MEC.

Aos amigos Josivânia Dantas e Wilson Sueoka, pelas valiosas sugestões.

Curriculum Vitae

Formação

- **UNICAMP. Mestrado: Departamento de Química Inorgânica, linha de pesquisa: "Ensino de Química". Projeto:**Dois textos de Química para dois vídeos do Programa Como Fazer? – TV ESCOLA – MEC. Orientador: Prof. Dr. Pedro Faria dos Santos Filho.
- Faculdade de Filosofia Ciências e Letras Oswaldo Cruz. **Graduação:** Licenciatura em Química. 1976.

Experiência Profissional

- Professor de Química no Ensino Médio, desde 1973.
- TV ESCOLA: Professor comentarista dos vídeos designados pela Secretaria de Educação a Distância – MEC, para serem trabalhados nas aulas de Química da rede pública em todo o território nacional (1999-2004).
- TV ESCOLA: Professor autor de textos que abordam os conceitos estruturadores de Química no Ensino Médio, destinados aos professores da disciplina, como acervo para utilização dos vídeos (1999 – 2004).
- TV ESCOLA: Professor autor de textos destinados aos professores de Química na implantação do Projeto Transdisciplinar "Laboratório dos Sentidos", com apoio do MEC, UNESCO e Banco Itaú (2001).
- PARÂMETROS EM AÇÃO: Professor colaborador da equipe responsável pela elaboração do programa Parâmetros em Ação – Meio Ambiente na Escola. Secretaria da Educação Fundamental – MEC (2001).

- **VEJA NA SALA DE AULA:** Professor consultor cuja tarefa consistiu em criar um plano de trabalho didático semanal para aulas de Química. Os planos das diversas disciplinas do Ensino Médio eram distribuídos semanalmente em escola públicas, gratuitamente. Editora Abril (1998).
- Co-autor do livro: Bianchi, J. C. de Azambuja; Albrecht, C. H.; Maia, D. J. Universo da Química. São Paulo: Editora FTD, 2005.
- Participação no Encontro Nacional “O Ensino Médio na TV ESCOLA” (2001).

RESUMO

DOIS TEXTOS DE QUÍMICA PARA DOIS VÍDEOS DO PROGRAMA COMO FAZER? – TV ESCOLA – MEC.

As dificuldades inerentes às atividades de ensino, em todos os níveis, são percebidas pelos profissionais desta área em todas as regiões do país. Considerando a vasta extensão de nosso território, bem como as discrepâncias e as dificuldades associadas às várias regiões, o Ministério da Educação e Cultura, através da Secretaria de Ensino a Distância, inaugurou, em outubro de 1999, o programa “TV Escola-Como Fazer?”, voltado para o ensino fundamental e médio. Em linhas gerais, este programa se baseava na exibição de vídeos, captados em qualquer região do país, com conteúdo adequado para ser explorado em sala de aula, os quais eram acompanhados por um texto adicional, direcionado para o professor, e disponibilizado na Internet. Em termos de alcance, a efetividade do programa é indiscutível; em termos de facilitar a vida do professor, isso só o tempo dirá!

Considerando as dificuldades associadas à utilização destes recursos em aulas de Química, bem como as condições dos professores desta disciplina em regiões mais afastadas dos grandes centros, e que utilizam as imagens do programa TV Escola-Como Fazer? em suas aulas, decidimos contribuir para a melhoria do material didático que acompanha estes vídeos. Desta forma, nos propusemos a analisar dois vídeos, indicados pelos especialistas do MEC, para serem utilizados em aulas de Química, e produzir um material didático, adicional àquele proposto pelo MEC, direcionado para o professor, e que contemple uma abordagem diferenciada dos assuntos explorados nos vídeos.

O primeiro vídeo analisado intitula-se “Ataque Ácido”. O texto que preparamos para acompanhá-lo trata as várias definições de ácidos e bases, seguindo uma seqüência cronológica de como as mesmas foram sendo propostas, enfatizando os vários argumentos que as sustentavam. Iniciamos com Boyle, passando por Arrhenius e Bronsted, chegando a Lewis e a importância da

existência de pares de elétrons não compartilhados, no comportamento das espécies. Finalmente, apresentamos as definições de Pearson para ácidos e bases duros e moles. Esta seqüência cronológica é direcionada para o professor e oferece a ele os subsídios necessários para o entendimento destes conceitos e a sua abrangência. Na seqüência deste texto, sugerimos uma forma de transpor este assunto para o ensino médio. Nesta parte, julgamos conveniente apresentar as definições de Boyle, Arrhenius e Bronsted, com ênfase neste último. Deste modo, sugerimos um percurso histórico e evolutivo das definições, uma vez que julgamos necessário enfatizar as noções sobre forças de ácidos e bases, utilizando a constante de equilíbrio.

No outro vídeo analisado, “Lavoisier e a Composição do Ar”, resgatamos as primeiras idéias sobre a estrutura da matéria, sugeridas pelos antigos filósofos gregos, de onde desenvolvemos os conceitos de modelos e teorias, da maneira que os utilizamos atualmente. Na seqüência, exploramos o pensamento e ação dos alquimistas diante das transformações dos materiais, até a elaboração da teoria do flogístico. Em seguida, estudamos os trabalhos de Lavoisier e os seus resultados importantes que serviram de fronteira para os novos modelos e teorias. Finalmente, sugerimos a transposição para o ensino médio, seguindo a mesma seqüência histórica, procurando enfatizar os aspectos relacionados ao atomismo grego, ao flogístico e, sobretudo, ao trabalho de Lavoisier.

Nesta seqüência, mantivemos a questão essencial relativa à evolução dos modelos e teorias sobre a estrutura da matéria, e a sua contribuição no entendimento da mesma, que julgamos adequada ao ensino médio.

Em nossa opinião, este material representa uma contribuição para a melhor utilização dos vídeos propostos no programa TV Escola-Como Fazer?, e será de grande valia, particularmente, para aqueles professores que se encontram isolados, em regiões mais remotas e que não dispõe de condições materiais, ou mesmo convívio, para compartilhar e solucionar seus problemas e suas dúvidas, tão comuns no ensino de Química.

Palavras-chave: modelos explicativos, material didático, Química no ensino médio e TV Escola.

ABSTRACT

TWO TEXTS OF CHEMISTRY FOR TWO VIDEOS TO TV ESCOLA- COMO FAZER? PROGRAM - MEC.

The teaching professionals, in all regions of the country, notice the inherent difficulties of their activities in all levels. Considering the large size of our territory such as the discrepancy and the difficulties from the several regions, the Education and Culture Ministry, through Distance Learning Secretary, inaugurated, in October 1999, the program “TV Escola – Como fazer?” for elementary and high school. As a general rule, this program stablished on videos, picked up anywhere in the country, with suitable content to be developed in the classroom. There were texts with the videos for the teacher, which are available in Internet. In terms of reaching, the program works, in terms of providing the teacher’s work, only the time will tell.

Considering the difficulties to make use of these resources in Chemistry class, such as the Chemistry teachers’ conditions in the farthest regions from the big centers, who use the TV Escola – Como Fazer? program in their classes, we decided to contribute to the improvement of didactic material, which comes with these videos. In this way, we propose to analyze two videos, indicated by MEC specialists, to be used in Chemistry class and produce other didactic material for the teacher, which has a different approach from the videos subjects.

The title of the first analyzed video is “Ataque Ácido”. The text, that we prepared for the video is about several acid-base definitions, following a chronological sequence as they were proposed and many arguments, that supported them, are emphasized. We started with Boyle, through Arrhenius and Bronsted, until Lewis and the importance of electrons pairs non-shared in the species behavior. Finally, we introduce the Pearson’s definitions for hard and soft acid-base. This chronological sequence is directed towards the teacher and offers him the necessary aids to understand these concepts and their use. In the sequence of this text, we suggest a way to transfer this subject to high school. In this part we suppose convenient to introduce the Boyle’s, Arrhenius’ and Bronsted’s definitions, with emphasis on last one. Thus, we suggest a historic and

evolutionary way of definitions, since we suppose necessary to emphasize the ideas about acid-base power, with the constant of equilibrium.

In the other analyzed video, “Lavoisier e a Composição do Ar”, we recovered the first ideas of the material structure, which were suggested by ancient Greek philosophers, whose we developed the models and theories concepts in the way we use nowadays. After that we explored the alchemists’ ideas and actions since the material change until the working out of flogistic theory. Then we analyzed the Lavoisier’s studies and their important results, which worked as border for the new models and theories. Finally, we suggest the transferring to high school, following the same historic sequence, with emphasis on features connected to Greek atomism, flogistic and, above all, to Lavoisier’s study.

In this sequence, we kept the essential question about the models and theories evolution in the material structure, that we suppose suitable to high school.

In our opinion, this material means a contribution for a better use of proposed videos in the TV Escola – Como Fazer program, and it will have a great worth, above all, for those teachers, who are by themselves, in farther regions without material conditions or other people to share and solve their problems and their doubts so usual in the Chemistry learning.

Keywords: explicatives models, didactic material, Chemistry in the High School and TV Escola.

ÍNDICE

Índice de Tabelas	XIX
Índice de Figuras	XXI
Lista de Siglas	XXIII
CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO	1
1.1. A TV Escola e o ensino médio	2
1.2. O Programa Como Fazer?, desde a escolha dos filmes, até a exibição em sala de aula	3
1.3. Produção das fichas que acompanham os vídeos exibidos no Programa Como Fazer?	4
CAPÍTULO 2 OBJETIVO DO TRABALHO	7
CAPÍTULO 3 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	8
CAPÍTULO 4 O VÍDEO ATAQUE ÁCIDO	11
4.1. Evolução das definições Ácido-Base	12
4.2. Transposição Ácido-Base para o ensino médio	14
CAPÍTULO 5 O VÍDEO LAVOISIER E A COMPOSIÇÃO DO AR	16
5.1. O texto Lavoisier e a Composição do Ar	17
5.2. Transposição para o ensino médio do texto Lavoisier e a Composição do Ar	17
CAPÍTULO 6 O TEXTO QUE ACOMPANHA O VÍDEO “ATAQUE ÁCIDO”	19
6.1. Introdução	19
6.2. Ácidos e Bases	19
6.3. As teorias relativas a ácidos e bases	20
6.4. Trabalho de Arrhenius - 1887	21
6.4.1. A dissociação eletrolítica e seus efeitos sobre a pressão osmótica	22

6.4.2.	A teoria ácido-base segundo Arrhenius	23
6.5.	O Conceito ácido-base proposto por Bronsted e Lowry independentemente	25
6.5.1.	As conseqüências de definição de Bronsted	26
6.5.2.	Forças relativas de ácidos e bases de Bronsted	28
6.6.	Lewis e a definição ácido-base	30
6.6.1.	Comportamento dos ácidos e bases segundo Lewis	33
CAPÍTULO 7	TRANSPOSIÇÃO DAS DEFINIÇÕES DE ÁCIDOS E BASES PARA O ENSINO MÉDIO A PARTIR DO VÍDEO “ATAQUE ÁCIDO”	36
7.1.	Introdução	36
7.2.	Instantes notáveis do vídeo	37
7.2.1.	Ácidos e o senso comum	39
7.2.2.	O enxofre residual do carvão é queimado e eliminado pelas chaminés	40
7.2.3.	Ácidos e bases segundo Bronsted	42
7.2.4.	Auto-ionização da água	44
7.2.5.	pH e a escala de acidez e basicidade	47
7.2.6.	Solo e acidez	50
7.2.7.	O alumínio no solo	52
CAPÍTULO 8	O VÍDEO “LAVOISIER E A COMPOSIÇÃO DO AR”	55
8.1.	Introdução	55
8.2.	Origem da palavra teoria	57
8.2.1.	As teorias e os modelos	57
8.2.2.	Os vários significados de modelos	59
8.2.3.	Modelo científico	59
8.3.	Suposições sobre a estrutura dos materiais, uma das obsessões dos antigos filósofos gregos	61
8.3.1.	Platão e os quatro tipos de matéria	62
8.3.1.1.	Platão e o Timeu	64
8.3.2.	Aristóteles e as qualidades opostas dos elementos	65

8.3.3.	Os atomistas gregos	66
8.3.3.1.	Demócrito- discípulo de Leucipo	67
8.3.3.2.	Epícuro e a escola dos atomistas	68
8.4.	Os alquimistas	69
8.4.1.	Alquimia Alexandrina	70
8.4.2.	Os alquimistas, os quatro elementos e os árabes	71
8.4.3.	Alquimia dos árabes para a Europa	71
8.4.4.	A teoria do flogístico	72
8.4.5.	Comparação entre as explicações propostas pelo flogístico e a combustão conforme conhecemos atualmente	74
8.4.5.1.	O recolhimento dos gases para identificação	76
8.4.5.2.	A descoberta do oxigênio	78
8.5.	Lavoisier e a reinterpretação do flogístico	79
8.5.1.	Quando a água deixa de ser elemento	83
CAPÍTULO 9	TRANSPOSIÇÃO DOS CONCEITOS DE TEORIA E MODELO PARA O ENSINO MÉDIO A PARTIR DO VÍDEO “LAVOISIER E A COMPOSIÇÃO DO AR”	85
9.1.	Introdução	85
9.2.	Da exposição e apresentação do vídeo	85
9.3.	Lavoisier teve a infeliz idéia de nascer em Paris	87
9.4.	Modelos e teorias sobre a estrutura da matéria	87
9.4.1.	As teorias e os modelos	89
9.4.2.	A relação entre o visível e o invisível desde os antigos gregos	89
9.5.	A teoria dos quatro elementos	90
9.6.	Os alquimistas e os quatro elementos	91
9.6.1.	Teoria do flogístico	92
9.7.	Lavoisier e a Composição do Ar (Teoria da Combustão)	93
9.7.1.	Três experiências notáveis realizadas por Lavoisier	93

9.7.1.1.	A experiência dos 101 dias	93
9.7.1.2.	A calcinação do mercúrio metálico	94
9.7.1.3.	A combustão é resultante da participação do gás vital e não do flogístico	94
CAPÍTULO 10	CONCLUSÃO	96
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Valores de K_a e pK_a em soluções aquosas a 25° C	29
Tabela 2 - Coloração das soluções aquosas de acordo com o soluto presente	31
Tabela 3 - Soluções em clorobenzeno e respectivas cores conforme o soluto presente	31
Tabela 4 - Exemplos de ácidos e bases duros e moles	34
Tabela 5 - Instantes notáveis do vídeo "Ataque Ácido"	38
Tabela 6 - Valores de pH em diversos sistemas	49
Tabela 7 - Instantes notáveis do vídeo "Lavoisier e a Composição do Ar"	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Arranjo tetraédrico de SiO_4	51
Figura 2 - Esquema para Teoria e Modelo	61
Figura 3 - A Escola de Atenas em Afresco	64
Figura 4 - Cuba pneumática de Sthefen Hales	77
Figura 5 - Frasco pelicano	80
Figura 6 - Cuba pneumática e a experiencia de Lavoisier	81

LISTA DE SIGLAS

HOMO – Highest Occupied Molecular Orbital (Orbital Molecular Ocupado de mais Alta Energia)

HSAB – Hard- Soft Acid-Base

LDB – Lei de Diretrizes e Bases

LUMO – Lowest Unoccupied Molecular Orbital (Orbital Molecular Vazio de mais Baixa Energia)

MEC – Ministério da Educação e Cultura

NEPP – Núcleo de Estudos e Políticas Públicas da Unicamp

PCNEM – Parâmetros Curriculares Nacionais Ensino Médio

PROINFO – Programa Nacional de Informática na Educação

RIVED – Rede Internacional Virtual de Educação

SEED – Secretaria de Educação a Distância

SEMTEC – Secretaria de Educação Média e Tecnológica

UNESCO – Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura

1. INTRODUÇÃO

Por razões históricas, o ensino a distância é, freqüentemente, associado aos cursos oferecidos por correspondência ou a um sistema de educação que substitui o professor por recursos tecnológicos disponibilizados para esse método de ensino.

No entanto, a nova LDB ou a lei 9394/96 publicada em vinte de dezembro de mil novecentos e noventa e seis, no artigo 80, dá especial atenção para o ensino a distância como um processo educacional capaz de desenvolver e veicular programas de ensino a distância em todos os níveis e modalidades de ensino (SOUZA, 1997). O que o artigo da lei, inegavelmente, pretende alcançar são atividades possíveis para alunos e professores via o avanço tecnológico dos computadores.

Portanto, é importante deixar de lado os preconceitos sobre o ensino a distância e reconhecer que é possível disponibilizar metodologias, informações gerais e conteúdos específicos, de forma adequada, para profissionais interessados em resgatar aspectos da sua formação, de maneira continuada, em paralelo com o trabalho que este profissional está desenvolvendo.

Nesse ambiente de preocupação com as novas tecnologias e a educação, o MEC criou a Secretaria de Educação a Distância (SEED), em 1996, sinalizando claramente na intenção de investir em projetos pedagógicos através dos recursos da informática e também disponibilizando esses recursos para a rede pública dos ensinos médio e fundamental (TV NA ESCOLA, 2000).

Para desenvolver a façanha de colocar as tecnologias de informática e a utilização de vídeos à disposição de alunos e professores, além de toda a estrutura escolar, a SEED uniu ao seu projeto, as transmissões via TV Escola, que permaneciam no ar desde quatro de março de 1996, utilizando um canal de satélite.

Atualmente, o MEC disponibiliza para as escolas públicas, o kit tecnológico que inclui televisor, videocassete, antena parabólica e receptor de satélite. A TV Escola é portanto um canal via satélite, cujos programas são captados também

pelos canais digitais TECSAT (canal 4), SKY (Canal 26) e DIRECTV (canal 237). A programação é dirigida, sobretudo, às escolas públicas brasileiras com o objetivo de propor e manter a formação continuada dos professores em serviço e à distância, para aperfeiçoar o trabalho do professor na escola e na sala de aula. Com a implementação e desenvolvimento da TV Escola, sua programação alcança aproximadamente 57500 escolas da rede pública, 30 milhões de alunos e 1 milhão e cem mil professores (TV NA ESCOLA, 2000).

Além da TV Escola, a Secretaria de Educação a Distância articula o PROINFO, Programa Nacional de Informação na Educação, cujo objetivo é informatizar as escolas públicas e instrumentalizar o professor no uso do computador inserido na Educação. A mesma Secretaria de Educação a Distância, em parceria com a Secretaria de Educação Média e Tecnológica (SEMTEC) mantém o projeto da Rede Internacional Virtual de Ensino a Distância (RIVED) cujo trabalho é criar textos e programas interativos para utilização em computadores. Os programas da RIVED são produzidos somente na área das ciências da natureza e suas tecnologias e os textos são disponibilizados para os professores da rede pública.

1.1. A TV ESCOLA E O ENSINO MÉDIO

Em outubro de 1999 foi iniciada a programação da TV Escola voltada para o ensino médio. A programação é apoiada em três programas, o Acervo, Ensino legal e Como Fazer? que a partir de 2004 passou a ser denominado Sala de Professor.

- O programa **Acervo** apresenta documentários e durante a exibição são feitas observações relacionadas às áreas de linguagens, matemática e ciências da natureza e ciências humanas.

- O programa **Ensino Legal** põe em foco questões relacionadas aos currículos, projetos educacionais e esclarecimentos sobre o ensino médio.

- O programa **Como Fazer?** é estruturado na exibição de vídeos com duração aproximada de vinte minutos. Na prática, o programa Como Fazer? apoia-se no trabalho com vídeos e textos dirigidos a dois públicos alvos. O

primeiro é o professor, que estará melhorando seu desempenho profissional ao incorporar mais informações, através de imagens do filme e consultas ao texto que acompanha o vídeo. Ao mesmo tempo, o aluno também é beneficiado junto com o professor. Aí, aparece um dos aspectos notáveis do trabalho do professor, que em sala de aula poderá assumir o papel de mediador entre o tema do vídeo exibido na TV e os alunos (TV NA ESCOLA, 2000).

Nas segundas, terças e quartas-feiras são exibidos os programas **Como Fazer?** em três horários diários: das 12h às 13h/16h às 17/20h às 21h. A programação da TV Escola é encontrada na revista TV Escola, publicação jornalística de informação e serviço. Além da revista, a SEED distribui a cada bimestre as grades de programação com registro dos programas que serão exibidos mensalmente. A SEED aconselha que as grades sejam fixadas em locais de fácil acesso aos professores. São distribuídas também as grades de férias. Para facilitar o planejamento e escolha dos programas que serão utilizados e gravados, a SEED distribui em todas as escolas da rede pública o Guia de Programas (anual) que facilita a escolha dos programas.

1.2 O PROGRAMA COMO FAZER?, DESDE A ESCOLHA DOS FILMES, ATÉ A EXIBIÇÃO EM SALA DE AULA

A Secretaria de Educação a Distância dá o passo inicial quando faz o levantamento dos vídeos didáticos disponíveis no mercado, compatíveis com os Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCNEM).

Os PCN constituem uma sugestão de abordagem dos saberes relativos ao ensino médio, em nome de competências a serem alcançadas sem perder de vista o olhar específico de cada disciplina. Os vídeos escolhidos são de origens distintas. Parte deles é importada de países como Inglaterra, Canadá, França e Estados Unidos. Uma segunda parcela é obtida junto às produtoras brasileiras como TV Cultura e Fundação Roberto Marinho e a terceira parcela é produzida pelo MEC (TV NA ESCOLA, 2000). Entretanto, independentemente da origem, o acervo do Ministério de Educação e Cultura, relativo aos vídeos utilizados e

direcionados para o ensino médio está próximo de 300 unidades. Desta quantia, 60 vídeos, aproximadamente, são indicados para a área de Química.

O segundo passo é executado pelos especialistas da Secretaria de Educação Média e Tecnológica na escolha dos vídeos apurados e pesquisados em primeira instância. Naturalmente que essa escolha está atrelada aos PCN. Uma vez escolhido o vídeo, pela parceria, SEED-SEMTEC o vídeo passa para o terceiro estágio de preparação.

Cada vídeo do programa Como Fazer? é reestruturado por produtoras especializadas que anexam ao vídeo, o programa Como Fazer? propriamente dito. Cada um dos programas conta com a participação de uma equipe, apontada pela SEMTEC, com três professores de disciplinas distintas, cuja função é enfatizar os conceitos que podem ser explorados nas suas disciplinas, sugestões de atividades para sala de aula, indicações de competências, propostas de trabalhos interdisciplinares e, conforme o vídeo, é possível apresentar uma rápida demonstração experimental, que deve ser realizada diante das câmeras, de modo que os professores que acompanham o programa possam perceber detalhes da parte experimental. Cada professor da equipe dispõe de quatro minutos para apresentar sua exposição. Após a fala dos três professores, a equipe dispõe de, aproximadamente, 12 minutos para propor um trabalho interdisciplinar no qual deve aparecer um projeto de trabalho relativo ao tema do vídeo e que envolva grande parte da comunidade escolar.

1.3. PRODUÇÃO DAS FICHAS QUE ACOMPANHAM OS VÍDEOS EXIBIDOS NO PROGRAMA COMO FAZER?

Os professores que participam da equipe de comentaristas na gravação do vídeo, devem produzir os textos ou fichas de apoio que servirão para a consulta do professor que planejou a utilização do respectivo vídeo em sala de aula. Além do nome do vídeo e nome do professor autor da ficha, existem aspectos essenciais que devem constar da produção do texto. Os vários campos da estrutura da ficha demonstram isso. Por exemplo:

- **campo destinado aos conceitos** – Neste espaço são citados os conceitos mais interessantes e explicitados no vídeo ou, até mesmo, conceitos não evidentes e que são pertinentes ao tema do filme. De preferência devem ser indicados os instantes do vídeo aos quais os conceitos são referidos. Em alguns casos esses instantes são indicados no próprio vídeo, enquanto que em outros é utilizada a indicação do vídeo cassete.

- **campo destinado à proposição de atividades** – As sugestões propostas incidem sobre questões para discussão, exercícios para os alunos desenvolverem em sala de aula e algum teste experimental para ser utilizado de forma demonstrativa.

- **campo destinado à interface com outras disciplinas** – Agora, o professor deve sugerir alguns aspectos de outras disciplinas que podem se relacionar com a sua matéria no decorrer do trabalho a partir do vídeo. É importante notar que não é necessária a indicação das disciplinas que participaram da gravação

- **campo destinado às competências** – Nesse espaço conforme o próprio nome sugere, são indicadas as competências que podem ser alcançadas, utilizando o vídeo e as aulas como uma das etapas do trabalho.

- **campo destinado à sugestão de leitura.** Neste espaço são sugeridas algumas leituras que certamente contribuem para o enriquecimento do trabalho e aperfeiçoamento do professor. É seguido um comentário breve do conteúdo da bibliografia.

As fichas concluídas, são destinadas à SEMTEC para revisão de texto e adequação ao espaço disponível para publicação. Finalmente, são enviadas no formato de fichário, a todas as escolas da rede pública. Essas fichas também podem ser encontradas na homepage da TV Escola, no site do MEC –

No entanto, as fichas não são abrangentes o suficiente para abordagens conceituais que certamente serviriam ao professor em uma exploração mais completa do vídeo. Em outras situações o professor não se sente à vontade, por

razões diversas, para trabalhar os conceitos sugeridos e atividades constantes nas fichas.

Reconhecendo esse problema e considerando que os professores de Química do ensino médio cumprem longas jornadas dando suas aulas, é razoável supor que não há tempo suficiente para o professor desenvolver pesquisas, muitas vezes altamente específicas, em relação aos diversos vídeos disponibilizados no programa Como Fazer?.

Além dos argumentos apresentados anteriormente, em relação aos obstáculos encontrados pelo professor de química no desempenho de suas funções, no que se refere à aplicação dos recursos didáticos tradicionais, é fundamental considerar também as dificuldades encontradas junto às novas tecnologias aplicadas à educação. Por isso, é essencial acrescentar a esses argumentos, os resultados obtidos pelo Núcleo de Estudos de Políticas Públicas da Universidade Estadual de Campinas, através de pesquisa relativa à implementação da TV Escola no Brasil, no período 1997 – 2001 e publicada em maio de 2002 (NEPP, 2002). Entre os motivos apontados pelos professores (4141 entrevistas) que justificam a não utilização dos equipamentos de TV/vídeo com os alunos, constam respostas diversificadas tais como:

- Está mais habituado a utilizar livros didáticos;
- A utilização dos vídeos é trabalhosa para o professor;
- O conteúdo dos programas gravados não está adequado ao currículo da escola;
- Não foi bem treinado para usar este novo recurso didático.
- Número de equipamentos insuficiente para atender à demanda.
- Os alunos ficam indisciplinados durante as sessões.

2. OBJETIVO DO TRABALHO

Apoiados nesses argumentos é que decidimos desenvolver o presente trabalho, tendo por eixo a elaboração de textos para professores de Química e alunos do ensino médio, considerando a possibilidade de que os textos possam ser utilizados sem fronteiras com outras disciplinas. Isto significa que os saberes da Química juntamente com as demais matérias podem estar reunidos em torno de temas macrodisciplinares como por exemplo, a questão ambiental.

A produção dos textos é totalmente vinculada e inspirada em vídeos exibidos no programa Como Fazer? no qual a ênfase é a transdisciplinaridade.

3. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

Quando este trabalho começou a ser feito, o programa era denominado Como Fazer? no formato e seqüência conforme indicamos anteriormente. A partir de abril de 2004, o programa recebeu a denominação “Sala de Professor”, seguindo uma linha semelhante à do Como Fazer? mas introduzindo algumas novidades, particularmente, na dinâmica da gravação e na elaboração das fichas. Por essas razões, nos referiremos ao programa como Sala de Professor que é o nome atual, embora o vídeo que tenhamos utilizado faz referência ao programa Como Fazer?.

O trabalho tem início com a escolha de dois vídeos. O primeiro vídeo envolve o tema chuva ácida. Tema aparentemente desgastado no ensino médio porém, se tratado de modo criterioso, mostra múltiplas faces interessantes. A escolha desse vídeo deveu-se ao fato da possibilidade de explorar a evolução das teorias de ácidos e bases e como os ácidos e as bases são substâncias importantes para os seres vivos. Porém, as possibilidades não se esgotam aí. As imagens mostram como certas atividades industriais são responsáveis pela formação da chuva ácida.

O segundo vídeo tem como título Lavoisier e a Composição do Ar cuja exibição mostra várias possibilidades de explorá-lo. Nós decidimos aproveitá-lo como pretexto para abordar os temas Teorias e Modelos Científicos no sentido de alertar o professor de química sobre certas incorreções relacionadas, freqüentemente, a esses dois assuntos. Porém, não somente isso será trabalhado no texto. Aproveitamos para elaborar a abordagem a respeito da evolução histórica, das teorias e modelos desde os antigos gregos até Lavoisier.

A seguir sugerimos uma maneira para o professor assistir ao vídeo, consciente de que a tarefa não é óbvia, pois requer algum treino para o hábito do olhar, principalmente na linguagem televisiva. No entanto, reprisar o vídeo algumas vezes é sempre importante para perceber detalhes que no primeiro olhar passam despercebidos. É essencial “ver” e “escutar” a seqüência de conceitos expostos na película. Quais os exemplos citados que justificam a exposição? Sob

quais condições são construídos os experimentos? Enfim, todos os fatos que as imagens pretendem nos transmitir.

Um terceiro aspecto no desenvolvimento do trabalho refere-se à estrutura dos textos. Em primeiro lugar procuramos elaborá-los de uma forma facilitadora para o leitor, segundo os seguintes critérios:

- Não ser um texto exaustivamente didático, isto é, há certos conteúdos que devem servir como informativos e ao mesmo tempo atrativos para que o leitor busque complementar sua leitura em trabalhos mais especializados.
- Indicação bibliográfica de vários artigos, onde constam os temas ou curiosidades para a busca do leitor.
- Assuntos abordados de forma não muito longa, dentro do grande tema que cobre o vídeo.
- Relações de conteúdos e assuntos do dia-a-dia que, embora apresentadas em relação à experiência vivida em outros países, pode estar sendo transferida para as nossas regiões fazendo as devidas ressalvas. No caso do ensino médio essas questões não são tão cruciais.
- A linguagem ou o estilo deve ser mais rápido, porém sem perder de vista a construção do conceito que é pretendido na abordagem.

Se os textos são programados segundo os critérios listados anteriormente, tomamos o cuidado de prepará-los também sob o critério do nível de abordagem. Desse modo, apresentamos três estruturas diferenciadas de texto:

1) Textos que resgatam o conteúdo de Química para o curso de Graduação em Química.

2) Textos que propõem a transposição do conteúdo de graduação, citada no item acima, para o ensino médio.

3) Textos com abordagem direta para o ensino médio baseado em perguntas freqüentes que ocorrem em sala de aula.

Torna-se necessário ficar muito claro nesse instante, que os textos estão atrelados e vinculados aos vídeos, porém de forma autônoma. Vejamos o que isso significa:

a) Todos os conceitos de Química sugeridos no texto estarão no vídeo, que é o que chamamos de estar atrelado.

b) A sequência do texto procura seguir o tempo do vídeo, que é o que chamamos de estar vinculado.

c) Quando houver qualquer incorreção no vídeo, o texto manter-se-á fiel ao que é preconizado pelos saberes da Química que é o que estamos chamando de autonomia do texto.

Diante da questão da autonomia do texto, ele pode também ser utilizado como material de apoio para aqueles professores que não dispõem dos vídeos. Mesmo porque os textos foram produzidos com base em pesquisas que remetem o leitor à origem histórica dos fatos, conceitos e descobertas. Nessa viagem o leitor é trazido de volta aos dias atuais com as possíveis implicações do conhecimento científico e tecnológico.

4. O VÍDEO ATAQUE ÁCIDO

Este vídeo foi escolhido porque permite abordar conceitualmente, ácidos e bases e relaciona estas substâncias com as várias atividades industriais e os seus efeitos sobre o ambiente criado por nós mesmos e que, portanto, cabe a todos uma parcela de responsabilidade.

O vídeo tem início mostrando imagens de um lago no Canadá no qual a vida é exuberante. A seguir, cientistas despejam ácido nas águas do lago, para avaliar os efeitos sobre a vida no lago em função da acidez. As próximas imagens mostram chaminés expelindo gases responsáveis pela formação de chuva ácida. Mudam-se os ambientes do vídeo, agora são os conceitos que têm prioridade. Novamente as imagens retornam aos ambientes naturais nos quais os efeitos da chuva ácida são acompanhados com modificações do pH das águas e do solo. Este filme é comentado por professores de Química, Geografia e Biologia. O professor de Química pode explorar os seguintes aspectos:

- ácidos e bases;
- aspectos macroscópicos e microscópicos relativos a ácidos e bases;
- força dos ácidos;
- força e diluição;
- medida de acidez, basicidade e escala de pH.

Este vídeo não possui o marcador de tempo. É necessário fixar o instante 00:00:00 diretamente no vídeo cassete correspondente à imagem do anúncio da TV ONTÁRIO, produtora do filme. Os demais instantes devem ser cronometrados a partir do primeiro.

Diante do amplo espectro de aplicações dos ácidos e bases é aconselhável que o professor planeje já no começo do ano letivo, a utilização deste vídeo. Na realidade, os comentários mais interessantes são aqueles que mostram os efeitos dos ácidos sobre o ambiente. No entanto, para entender tais efeitos é necessário ter muito claro o significado de ácidos e bases.

4. 1. EVOLUÇÃO DAS DEFINIÇÕES ÁCIDO-BASE

Esta parte do trabalho é destinada ao professor e foi preparada com base em alguns aspectos históricos relativos aos ambientes de épocas diferentes e a elaboração dos conceitos relativos aos ácidos e bases.

Um dos primeiros químicos que apoiou-se na experiência e na observação para sugerir suporte teórico ou conceitual foi Robert Boyle (ZATERKA, 2001), muito embora Galileu já tivesse admitido a filosofia dos atomistas. Boyle define ácidos e bases como opostos e capazes de mudar cores de substâncias de origem vegetal e que, portanto, são os indicadores que utilizamos até nossos dias para identificar soluções ácidas, básicas e valores de pH, se não houver necessidade de muita precisão. Após Boyle, apresentamos o trabalho de Arrhenius sobre a dissociação eletrolítica e sua influência sobre a definição de ácidos e bases. Como não poderia ser diferente, Van't Hoff e Ostwald são abordados com a mesma intensidade que Arrhenius, afinal, grande parte das idéias sobre ácidos e bases de Arrhenius encontraram apoio na lei da diluição de Ostwald e nas experiências executadas por Van't Hoff relativas à pressão osmótica (MIERZECKI, 1990).

Os eletrólitos ácidos e básicos ganham classificação sendo fortes ou fracos em função do grau de dissociação. O próximo passo refere-se ao período da cultura do próton, sugestão de Brønsted e Löwry, individualmente. Agora os ácidos e bases também existem na ausência de água, isto é, para ser ácido basta que a espécie química seja capaz de doar íons H^+ e a base é a espécie química capaz de receber o íon H^+ .

As forças dos ácidos e bases são reconstruídas em um ponto muito além do grau de dissociação (SILVERSTEIN, 2000). A constante de equilíbrio é o referencial para as forças relativas. Para tanto, bastaria “medir” constantes das várias substâncias ácidas e básicas diante da água. Aquelas que transferiram prótons para a água, tiveram a constante de equilíbrio designada por K_a (a em referência ao ácido) e aquelas que receberam os prótons da água tiveram a constante de equilíbrio designada por K_b (b em referência a base). Daí faltava

ordená-las em função do valor de K e reconhecer que ácidos e bases não seriam jamais classificações estanques, pois uma substância considerada ácida poderia comportar-se como base noutra reação.

Na mesma linha da abordagem das constantes K_a e K_b , é lembrado o conceito de pH (KOLB, 1979). No entanto, são tecidas considerações acerca da atividade iônica proposta pelo próprio Lewis e a condição de ser muito próxima da concentração para soluções diluídas e neste caso o coeficiente de atividade é unitário.

A quarta definição de ácidos e bases, na seqüência do texto, pertence a Lewis. Seguindo a linha evolutiva da teoria, é apresentado um novo parâmetro para reações ácido-base proposto, em 1963, por Ralph G. Pearson, cujo enunciado declara que:

“Os ácidos duros preferem as bases duras e os ácidos moles preferem as bases moles” (SHRIVER, 2003).

A seguir são apresentadas as definições de “duro” e “mole” e a não correspondência com ácidos fortes e fracos, respectivamente, conforme as previsões baseadas nos valores de K_a e K_b (PEARSON, 1997).

Os ácidos e as bases duras interagem através das forças predominantemente iônicas, enquanto que ácidos e bases moles interagem segundo ligações covalentes. Por essa razão, o texto toma o caminho dos diagramas dos orbitais moleculares com o único intuito de mostrar os orbitais moleculares de fronteira, HOMO e LUMO, e a relação desses orbitais com as espécies duras e as espécies moles.

Naturalmente que os conceitos de dureza, moleza, HOMO, LUMO, orbitais de fronteira não devem ser jamais tratados com os nossos alunos do ensino médio.

Os conteúdos do texto até então comentados são essencialmente voltados para o professor revisar alguns dos conceitos de ácidos e bases. Porém, é necessário filtrar várias informações de modo que o conteúdo seja revestido de uma linguagem adequada e construído a partir de situações contextualizadas ao

ser tratado com estudantes do ensino médio. É o que faremos ao propor a transposição das definições de ácidos e bases no texto a seguir.

4.2. TRANSPOSIÇÃO ÁCIDO-BASE PARA O ENSINO MÉDIO

Esta é a parte do trabalho reservada para desenvolver a teoria ácido-base, suas decorrências, aplicações e explicações, para muitos fenômenos que reconhecemos no nosso dia-a-dia. Além disso, vale recordar que a linguagem também deverá estar adequada aos estudantes do ensino médio conforme é feito com a abordagem das definições de Boyle, sobretudo pelo seu valor prático e histórico. A seguir, são apresentadas as definições de Arrhenius e de Bronsted e Lowry.

Conforme já foi citado, o vídeo começa com imagens de chaminés em ambientes de mineração e usinas termoelétricas, que sugerem, explicitamente, a formação de chuva ácida. Porém, nós não vemos chuva ácida, nós podemos ver somente a chuva e seus efeitos sobre o ambiente no qual a chuva cai.

Reconhecer a acidez da água da chuva significa reconhecer as características ou propriedades de uma solução ácida para compará-las e estabelecer a acidez da chuva. Na realidade, o estudo da chuva ácida torna-se pretexto para despertar o interesse dos alunos em relação à construção das definições. Inicialmente, Arrhenius não utilizou os termos H^+ ou OH^- , a nomenclatura referia-se às espécies ativas e inativas. Aperfeiçoada, pelo próprio Arrhenius, os ácidos são as substâncias que, ao serem dissolvidos em água, produzem H^+ , enquanto as bases produzem OH^- .

O vídeo continua e a narradora oferece, a definição segundo Brønsted e Lowry para ácidos e bases. Na exposição do filme esse é o primeiro instante de conflito decorrente dessa atitude de redefinir ácidos e bases e as conseqüências que surgem com as novas definições.

Finalmente, é possível apresentar a constante de equilíbrio relativa aos ácidos e as bases. O valor da constante será avaliado quando da interação desses com a água. É importante chamar a atenção do aluno para o fato de que a água é referência para medir forças de ácidos e bases.

Por razões metodológicas, apresentamos no texto da dissertação, uma tabela onde constam soluções aquosas ácidas e básicas com as respectivas densidades e as concentrações de água em g L^{-1} e mol L^{-1} . O ganho com a interpretação da tabela é perceber que a concentração da água nas várias soluções permanece próxima de $55,5 \text{ mol L}^{-1}$ o que justifica a não inclusão da concentração da água nas expressões da constante de equilíbrio ácido-base.

Outro ganho, é o fato de que explorar uma tabela com variáveis e extrair da mesma, interpretações significativas é uma das diversas competências propostas nos Parâmetros Curriculares Nacionais do ensino médio. Ainda neste método de trabalhar com as tabelas, é proposta uma coleção de dados para o ácido acético, a 25°C , onde se pretende mostrar que embora a concentração do ácido possa variar, simultaneamente estarão se modificando concentração de íons H^+ , grau de dissociação (alfa) porém, a constante de ionização resiste e permanece praticamente inalterada.

Para não perder a seqüência e a coerência, é apresentado o conceito de pH, suas origens históricas e a vantagem da utilização da função logaritmo.

A fim de ilustrar a aplicação da escala de acidez e basicidade, são expostos alguns produtos encontrados em supermercados e os respectivos valores de pH. Adicionalmente, apresenta-se um texto interessante a respeito da hidroxiapatita no esmalte dentário e a formação de cáries em função da mudança do pH bucal. Consta ainda no texto o porquê da fluoretação das águas servidas à população e a seguir são discutidos os efeitos do alumínio no solo e nas águas de rios e lagos (BAIRD, 2002).

O que estamos comentando nestes dois itens, 4.1 e 4.2, é a constituição do texto que acompanha o vídeo Ataque Ácido. Estamos apenas dando uma visão geral daquilo que acreditamos que deva ser o conteúdo que permite que o professor, seja ele qual for, possa se preparar para explorar as imagens do vídeo em suas aulas de Química.

5. O VÍDEO LAVOISIER E A COMPOSIÇÃO DO AR

Esse vídeo sugere a possibilidade de explorar os conceitos de teorias e modelos científicos, temas interessantes para serem apresentados no ensino médio.

O vídeo tem a duração de 5 minutos e foi indicado pelos especialistas do MEC para ser comentado por professores de Química, Filosofia e História.

O filme foi produzido no formato de desenho, no qual as frases da narradora sustentam o percurso do vídeo enquanto as imagens servem puramente como ilustração. Portanto, o trabalho deve partir preferencialmente da narração.

Para o professor de Química, explicitamente, o filme mostra as primeiras teorias elaboradas pelos antigos filósofos gregos; cita os quatro elementos terra, água, ar e fogo. Apenas indica que Lavoisier descartou a teoria do flogístico e posteriormente revela a experiência do mesmo Lavoisier, utilizando a cuba pneumática para, a partir dessa experiência, estabelecer o papel do oxigênio na combustão e na respiração dos animais.

Na sequência do vídeo, a narrativa não estabelece qualquer conexão entre as diversas teorias relativas à estrutura dos materiais e as suas transformações. A teoria dos quatro elementos, as teorias alquímicas e a teoria do flogístico aparecem dissociadas. Este trabalho desenvolve cada uma dessas teorias e suas respectivas conexões até alcançar o tempo de Lavoisier.

O vídeo em questão não dispõe de indicador de tempo, porém o professor pode seguir a indicação dos instantes, no cronômetro do aparelho de videocassete disponível na sua escola. Especificamente nesse vídeo, sugerimos ao professor que antes da exposição do mesmo, sejam colocadas algumas questões relativas aos conceitos de teoria e a seguir a respeito de modelos científicos e, se possível, comparar esse conceito com o senso comum sobre modelos.

5.1. O texto Lavoisier e a Composição do Ar

A primeira parte desse texto destina-se ao professor, exclusivamente como material de consulta, cuja finalidade é fornecer informações a respeito do desenvolvimento dos conceitos de teoria e modelos. Decidimos acompanhar a sequência do filme e, por isso mesmo, começamos com o trabalho dos antigos filósofos gregos. Contemplamos a proposta de Empédocles, Platão e Aristóteles com mais ênfase. A seguir apresentamos os atomistas Leucipo, Demócrito e Epicuro.

Na sequência, visitamos os alquimistas até alcançarmos a figura de Stahl, o criador da teoria do flogístico.

Para finalizar encontramos Lavoisier e sua fecunda capacidade de medir. Instrumentos aferidos, interpretação cortante e aguçada, deu sentido a existência do oxigênio. Quando tudo isso acontece, nas mãos do Sr. Antoine Laurent Lavoisier, o flogístico de Stahl e os quatro elementos dos antigos gregos não contam mais na nova ciência pós Lavoisier, mas são apenas elementos da História da Química.

5.2. Transposição para o Ensino Médio do texto Lavoisier e a Composição do Ar

Nesta parte do trabalho procuramos dar um enfoque com menos informações, porém deixando explícito que teorias e modelos não são produtos da ciência moderna e remontam há muitos séculos.

Muito mais atraente é mostrar a profunda coerência no modo de pensar dos nossos ancestrais. É importantíssimo chamar a atenção para o fato que a diversidade do universo não necessita de infinitas partículas diferentes. Bastam algumas delas organizarem-se qualitativa e quantitativamente para a obtenção de um grande número de combinações.

Outro aspecto considerável refere-se à percepção dos atomistas gregos, Leucipo, Demócrito e Epicuro, cujas idéias indicavam a possibilidade de um universo constituído de átomos. Estes átomos foram descritos com qualidades como massa por exemplo; muito próximos dos átomos que nos consentimos pensar atualmente. Se por um lado o atomismo permaneceu latente por muitos séculos, por outro a teoria dos quatro elementos sobreviveu até praticamente o período de Lavoisier. Aproveitando essa oportunidade, também seria interessante fazer a apresentação das idéias de Lavoisier e, paralelamente, sugerir as primeiras noções a respeito dos símbolos químicos e seus significados. Também seria interessante apresentar os conceitos de Lavoisier segundo a simbologia da química atual.

Desse modo nossos alunos adquiririam a grande oportunidade de entender como as teorias e os modelos evoluíram ao longo dos séculos e a partir daí, terem uma idéia do nosso presente, diante dos saberes da Química.

Baseados nas considerações iniciais que fizemos para os dois textos que acompanham os vídeos, observamos que este trabalho se insere exatamente no espaço destinado à produção de textos que acompanham os vídeos da TV ESCOLA, especificamente no programa “COMO FAZER?” ou SALA DE PROFESSOR. Na realidade, os textos servem de apoio para incrementar o aproveitamento dos vídeos exibidos em sala de aula. Além disso, as construções dos textos seguem critérios que elegemos como fundamentais. É essencial um breve histórico sobre os feitos notáveis dos cientistas em questão. Também julgamos essencial mostrar algumas consequências técnicas e científicas, decorrentes de tais feitos. Por isso, acreditamos que o presente trabalho alcance seu objetivo de estar contribuindo com nossos colegas, professores de Química do ensino médio, no que se refere à utilização dos vídeos programados em seus planejamentos escolares. Tudo isso vai ao encontro dos anseios do MEC, em aprimorar a formação de professores do ensino fundamental e médio, quer seja por processos a distância, quer seja de forma presencial.

6. O TEXTO QUE ACOMPANHA O VÍDEO “ATAQUE ÁCIDO”

6.1. Introdução

Esta abordagem da evolução histórica das definições de ácidos e bases está organizada em duas partes com objetivos distintos. A primeira destina-se aos professores de Química que atuam no Ensino Médio e que utilizam os vídeos exibidos no programa “Como Fazer?”, como apoio para suas aulas. O texto é baseado no vídeo “ataque ácido” e resgata aspectos históricos, fatos experimentais e argumentos que contribuíram para a construção das definições de ácidos e bases de Boyle, Arrhenius, Bronsted, Lewis e Pearson. A segunda parte, apoiada no mesmo vídeo, é uma transposição, a partir de itens selecionados na parte destinada aos professores, e direcionada para os estudantes do Ensino Médio. Na realidade é dada prioridade para a definição de Bronsted, cuja essência é suficiente para contextualizar vários aspectos do dia-a-dia que relacionam ácidos e bases com alimentos, xampus, chuva-ácida, conservantes, poluição dos solos e a agricultura, poluição dos rios, poluição do ar, processos de industrialização e atividades humanas responsáveis pela transformação dos ambientes. Levamos em consideração também que o Ensino Médio é a fase final de uma formação geral. Aspectos específicos das várias áreas do conhecimento serão alcançados em função do Curso Superior e do campo de trabalho que o estudante escolher no prosseguimento de suas atividades.

6. 2. Ácidos e Bases

Localizar no tempo e no espaço os primeiros passos em qualquer área do conhecimento científico é uma tarefa delicada e perigosa. Assim o é também quando se buscam as origens das definições de ácidos e de bases. Inegavelmente, todos os períodos da humanidade são marcados por brilhantes pensadores que influenciaram por longos períodos de tempo a forma de pensar de seus seguidores e discípulos.

Assim, o honorável senhor Robert Boyle inicia o período da natureza experimental, na qual uma sólida teoria pode ser constituída no decorrer do

tempo. Segundo Zaterka, para Boyle é necessário interagir com os fenômenos naturais tendo a Química com fio condutor: "... podem muitos se deliciar e prosperamente prosseguir com seus fins, coletando uma variedade de experimentos e observações, desde que por meio disso observem o poder com que diversas operações químicas e outros meios para manipulação têm alterado alguns corpos e variado seus efeitos uns sobre os outros" (ZATERKA – 2001). Aqui, Boyle apresenta a importância do método experimental salientando a utilização dos experimentos químicos de preferência a quaisquer outros. Nesse ambiente é que Boyle estabelece noções operacionais para as substâncias ácidas e as substâncias básicas.

Utilizando o princípio da transformação das substâncias (operacional), definir ácido e base implica submeter as substâncias a certas reações químicas e os resultados das transformações é que permitiriam definir um e outro. Desde então, os químicos acostumaram-se a verificar a cor assumida por outra substância, designada indicador, que interage com a substância problema. A classificação ou definição desta substância tem como critério, a nova cor assumida pelo indicador e isso resulta na classificação em dois grupos: Ácidos e Bases.

6.3. As Teorias relativas a ácidos e bases

Por teoria entende-se aqui, em uma primeira aproximação, um conjunto de conhecimentos devidamente organizados que procura ordenar, unificar, explicar, interpretar etc, um certo domínio de fenômenos ou acontecimentos. Na realidade, a teoria é alguma coisa nova, qualitativamente diferente do simples arranjar desses fatos (CHAGAS, 2000).

A teoria científica também pode ser interpretada como um discurso que pretende descrever leis gerais que regem acontecimentos. Essas teorias são confirmadas pela experiência da observação. Nesse sentido, ácidos e bases constituem definições compatíveis com situações particulares. Os argumentos apresentados neste texto são propostas sempre baseadas em transformações de

substâncias diante de outras substâncias, isto é, mantém-se o aspecto operacional da classificação ácido-base.

Seguindo nesta linha, o próprio Robert Boyle propôs que os ácidos e bases são aquelas substâncias que:

- (a) Ácidos possuem sabor azedo.
- (b) Ácidos e bases reagem com muitas outras substâncias.
- (c) Ácidos modificam para vermelho a tintura vegetal azul e as bases modificam para azul a mesma tintura vegetal vermelha (tintura = lítmus = tornassol).
- (d) Ácidos perdem todas essas características anteriores em contato com bases e as bases perdem as respectivas características em contato com ácidos.

Na época de Boyle algumas substâncias já tinham suas composições conhecidas. Por exemplo, cloreto de hidrogênio, dióxido de enxofre, dióxido de carbono e vinagre eram reconhecidos como ácidos, enquanto cal viva e certas cinzas residuais eram os álcalis. Entretanto, todos os exemplos citados acima apresentavam os comportamentos ácido ou básico somente quando em meio aquoso, segundo observações do próprio Robert Boyle (Luder – 1948). As definições que estudaremos a seguir mantêm esse caráter operacional diante dos indicadores, porém são estruturadas a partir de outras maneiras de pensar ácido – base; isso significa que os novos critérios de classificação estabelecem vínculos com teorias.

6. 4. Trabalho de Arrhenius – 1887

No século XVII, Boyle havia proposto definições para ácidos e bases de forma criativa, pois não havia contribuições seguras, nas quais Boyle pudesse se apoiar. No entanto, para Arrhenius, o cenário seria bem diferente, pois contava com diversos trabalhos como os de Lavoisier em 1787, Davy em 1811, Gay-Lussac em 1814 e Liebig em 1838 que iriam contribuir para o desenvolvimento de suas definições de ácidos e de bases.

Desde o início do século XIX as observações sobre os efeitos da corrente elétrica contribuíam para a compreensão das reações químicas, principalmente quando os reagentes encontravam-se dissolvidos em água. Na realidade, esse entendimento está enunciado nas leis da eletrólise propostas por Faraday e sugerem que ácidos, bases e sais são compostos de íons ou partículas eletricamente carregadas, em razão da corrente elétrica. Reconhecia-se que os íons, em solução, eram neutralizados nos eletrodos do sistema onde se desenvolvia a eletrólise; no entanto, não estava esclarecido o processo de neutralização dos íons. Hoje reconhecemos a redução dos cátions no cátodo e a oxidação dos ânions no ânodo. Por outro lado, em 1857, Rudolf Clausius, cientista que trouxe grandes contribuições para a termodinâmica e estudos relativos à energia, argumentava que não seria necessária a corrente elétrica para a formação dos íons em água, a partir de sais, ácidos e bases. Bastaria dissolvê-los em água, para ocorrer a dissociação iônica em todo o volume da solução e a recombinação de parte desses íons recompondo a espécie química inicial, que deu origem aos íons em solução. Conforme se pode perceber, Clausius utilizava noções sobre transformações reversíveis, porém não conseguia quantificar esta situação. A noção de equilíbrio só seria formulada anos mais tarde (MIERZECKI – 1990).

Com os argumentos de Faraday relativos à eletrólise e de Clausius sugerindo a dissociação espontânea, estava montado quase todo o quebra-cabeça. Faltavam algumas peças para Arrhenius publicar suas conclusões, conforme veremos a seguir.

6. 4.1. A dissociação eletrolítica e seus efeitos sobre a pressão osmótica

Em seu livro “O Ato da Criação”, Arthur Koestlern desenvolveu a tese de que a maior parte das novas idéias é concebida pela percepção da relação, ou analogia, entre dois campos que foram chamados de matrizes. A matriz é uma disciplina científica, profissão, habilidade ou qualquer outra atividade governada por um modelo já reconhecido de comportamento ou pensamento. Quando alguém

consegue ver a relação ou analogia entre duas matrizes, o resultado tanto pode ser uma nova idéia quanto uma piada. Muitos autores têm mostrado que um repentino lampejo de inspiração na ciência é similar a fazer uma piada, no sentido de que de repente se passa de um modo de ver o assunto para outro – vêem-se pontos de semelhança entre dois assuntos claramente não-relacionados, uma combinação de elementos incompatíveis (BEVERIDGE – 1981).

Em 1885, Jacobus Hendricus Van't Hoff, ao estudar pressões osmóticas sobre soluções, notou que os resultados mostravam que as soluções preparadas com eletrólitos* apresentavam pressões osmóticas muito maiores que as pressões osmóticas medidas em soluções cujo soluto não era um eletrólito e assegurava a igualdade de condições de temperatura e concentração da solução das soluções comparadas. Na realidade, as observações de Van't Hoff levaram-no a concluir que a pressão osmótica da solução eletrolítica estava multiplicada por um certo fator i representado pelo próprio Van't Hoff em relação à pressão da solução eletrolítica.

Nesse mesmo período, o químico Svante Arrhenius, cuja pesquisa sobre dissociação eletrolítica encontrava-se em fase conclusiva, percebeu que o fator i de Van't Hoff era consequência da quantidade extra de partículas contidas nas soluções eletrolíticas, resultante da dissociação das “moléculas” em íons. Em outras palavras, Arrhenius sugeriu que as diferenças percebidas por Van't Hoff, nas condições experimentais eram consequência da dissociação do eletrólito em água, que aumentava a quantidade de espécies no mesmo volume da solução e, por consequência, aumentava a pressão osmótica. Como a pressão osmótica é uma propriedade coligativa, isso significa que a intensidade dessa propriedade depende da quantidade de partículas do soluto na solução e não da natureza de cada partícula (MIERZECKI – 1990).

6. 4 .2. A teoria ácido-base segundo Arrhenius

Nesse ambiente de experimentos relativos à condutividade elétrica das soluções e medidas de pressões osmóticas sob a influência do soluto, encontrava-

* Eletrólitos são íons dissolvidos em água que tornam a solução melhor condutora de eletricidade.

se Arrhenius (1859-1927), nitidamente apoiado nos trabalhos de Faraday (1792-1867) e de seus contemporâneos Van't Hoff (1852-1911), Ostwald (1853-1932) e Clausius (1822-1888).

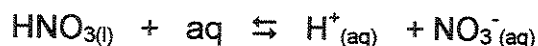
A sua teoria da dissociação eletrolítica considerava que outras substâncias, ao serem dissolvidas em água, deveriam dissociar-se em íons e que esses íons seriam responsáveis pela propriedade de condutividade elétrica da respectiva solução. Entretanto, a solução deveria estar diluída, uma vez que, se a solução apresentasse concentração razoavelmente elevada, suas propriedades seriam muito distintas das diluídas, conforme o próprio Arrhenius demonstrou, baseando-se em vários outros trabalhos da época.

Desse modo, Arrhenius estabelece outro conjunto de definições para designar ácidos e bases.

- Ácido: espécies químicas que fornecem o cátion hidrogênio quando a referida espécie é dissolvida em água.
- Base: espécies químicas que fornecem o ânion hidróxido quando a referida espécie é dissolvida em água.

Tais definições são extremamente restritivas, pois somente são aplicáveis às soluções aquosas. No entanto, merecem atenção uma vez que aspectos gerais e singulares das transformações químicas no nosso planeta acontecem em soluções aquosas.

Segundo a definição de ácidos e bases de Arrhenius, o HNO_3 é um ácido porque ao dissociar-se na água produz o cátion hidrogênio, segundo a representação:

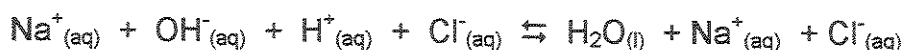


No mesmo grupo dos ácidos foram classificados HCl e H_2SO_4 .

Aquelas substâncias que contêm o fragmento OH e que produzem o ânion OH^- em solução aquosa, foram classificadas como bases. Neste grupo, Arrhenius colocou o hidróxido de cálcio e hidróxido de sódio, que se dissocia segundo a equação:



Arrhenius explicou a neutralização através da reação entre a solução de um ácido e a de uma base, de modo que o cátion hidrogênio e o ânion hidroxila se unem para formar a molécula de água.



Portanto, se um ácido de Arrhenius for adicionado a uma base de Arrhenius em proporções tais que todos os cátions H^+ unam-se a todos os ânions OH^- , a mistura resultante é neutra e o processo é a reação de neutralização. O sal é uma substância que está presente na solução final do processo de neutralização de Arrhenius. Se o sal formado é solúvel, torna-se necessário evaporar a água para formar o sal sólido. Caso o sal formado seja pouco solúvel, a formação do precipitado é perceptível em solução aquosa.

6. 5. O conceito ácido-base proposto por Bronsted e Lowry, independentemente

Quais os fatos que teriam conduzido Bronsted e Lowry a proporem a nova definição para o par ácido-base?

Carbonato de sódio, fosfato de sódio, amônia e piperidina ($\text{C}_5\text{H}_{11}\text{N}$), quando dissolvidos em água, modificam a cor de um indicador de modo semelhante ao que faria uma solução de hidróxido de sódio. Todas as soluções citadas acima são capazes de neutralizar uma solução aquosa de HCl. Posteriormente, essas modificações de cores de indicador foram observadas em solventes não aquosos também.

Esses argumentos levaram Bronsted e Lowry, em 1923, à proposição de que qualquer espécie capaz de retirar prótons (íons hidrogênio) seria classificada como uma base e os ácidos como sendo aquelas espécies cujo próton (íon hidrogênio) é retirado pela base. Há uma certa semelhança entre a definição de

Bronsted e a definição de Arrhenius. Segundo Arrhenius, cloreto de hidrogênio ao se dissolver em água comporta-se como ácido pelo fato de gerar o cátion H^+ . Para Bronsted, o cloreto de hidrogênio é o ácido porque tem o íon H^+ removido de sua estrutura original. Quanto à definição de base, hidróxido de sódio ao dissolver-se em água comporta-se como base pois gera íons OH^- em solução. Para Bronsted, o ânion OH^- é a base pois é capaz de retirar íons H^+ de outra espécie.

Os fundamentos teóricos da Química Analítica, iniciados em 1894, por Wilhelm Ostwald foram estruturados sobre a teoria da dissociação eletrolítica em soluções aquosas desenvolvida por Arrhenius. Aí então se insere imediatamente uma entre as várias contribuições da definição de Bronsted, que proporciona a possibilidade de avaliar e entender as reações químicas entre ácidos e bases, em outros solventes diferentes de água. É importante lembrar que, segundo Arrhenius, os ácidos e as bases teriam suas manifestações restritas ao meio aquoso (NAIMAN - 1948). Outros aspectos também foram aprimorados com as definições de Bronsted. Com a noção de ácido e base conjugados, as constantes dos ácidos e bases (K_a e K_b) foram estabelecidas e relacionadas. Diante desses argumentos, vamos rever as definições de ácidos e bases segundo Bronsted.

Ácidos e Bases de Bronsted são conceituados como duas espécies químicas que interagem à medida em que uma das espécies, a base, remove próton(s) (íon hidrogênio) de outra espécie (ácido). Em consequência, o próton permanece ligado à espécie que tem condições de removê-lo, portanto, o próton em nenhum momento permanece livre, como se fosse liberado pelo ácido para a reação acontecer.

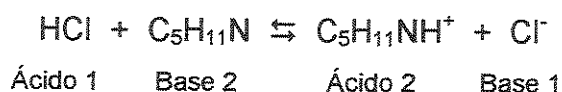
6. 5.1. As consequências da definição de Bronsted

Bronsted distinguiu ácidos e bases dos sais. Embora todos fossem eletrólitos, como Arrhenius também havia percebido, os comportamentos dos três grupos não eram restritos somente ao fato de tornarem suas respectivas soluções aquosas condutoras de eletricidade. Os sais eram agregados iônicos que podem

conter íons ácidos ou básicos, enquanto as bases e os ácidos ganharam o “status” de removedoras e perdedores de prótons, respectivamente.

Baseado na teoria de Bronsted surgem algumas implicações interessantes apresentadas a seguir:

a) O comportamento ácido-base independe do solvente água. É suficiente que haja transferência de prótons entre as duas substâncias envolvidas na reação:



Em função da equação podemos classificar as espécies em ácido e base conforme Bronsted.

Ácido 1 – tem o próton removido pela base 2

Base 2 – remove o próton do ácido 1

Base 1 – remove o próton do ácido 2

Ácido 2 – tem o próton removido pela base 1

b) A base (1) é, por definição, a base conjugada do ácido (1) e, reciprocamente, tal definição estende-se às duas espécies indicadas com índices (2).

c) Ácidos e bases não reagem para formar sal e o solvente, eles reagem para formar um novo ácido e uma nova base.

d) Uma substância como o KOH, segundo Arrhenius, é uma base. No entanto, segundo Bronsted, KOH é um sal que contém o ânion OH^- , que é, realmente, a base capaz de receber próton.

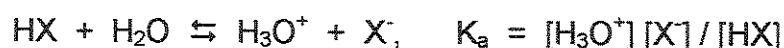
e) Dióxido de enxofre e dióxido de carbono, considerados ácidos na definição operacional de Robert Boyle, perdem essa condição na classificação segundo Bronsted, uma vez que não possuem hidrogênio nas suas estruturas. (HALL – 1940).

6. 5. 2. Forças relativas de ácidos e bases de Bronsted

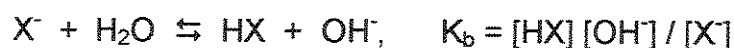
Desde a época de Arrhenius, estabelecer uma escala de força para ácidos e bases é um desafio. Mesmo apoiado na idéia de que os eletrólitos apresentam diferentes graus de dissociação, não foi possível sustentar o grau de dissociação como critério de força para eletrólitos. Ostwald já havia mostrado, em 1888, que, para soluções diluídas, o grau de dissociação do eletrólito tende à unidade, portanto, igualaria as forças dos vários eletrólitos.

Conforme já vimos, a definição de Bronsted data de 1923. No mesmo período G. N. Lewis havia introduzido o conceito de atividade no tratamento da constante de equilíbrio. Bastaria, portanto, transferir o conceito da constante de equilíbrio para as reações reversíveis ácido-base de Bronsted. Estava estabelecido, portanto, um critério para medir força dos ácidos e das bases, segundo Bronsted (PITZER – 1984).

A extensão de uma reação pode ser avaliada termodinamicamente pelo valor da sua constante de equilíbrio. Valores elevados da constante indicam o quanto a reação se processa espontaneamente no sentido de formar os produtos. Diante desta propriedade da constante, basta testar as tendências de diversas substâncias de terem seus íons hidrogênio removidos na reação com a água conforme a equação:



No processo de ionização de um ácido, a constante de equilíbrio é simbolizada K_a . A magnitude da constante K_a indica a força do ácido. Constantes elevadas indicam ácidos fortes. Para avaliar a força da base usamos o mesmo critério, isto é, comparamos os valores da constante de equilíbrio K_b para as reações de diversas bases diante de água conforme a equação:



Nessa equação, a constante de equilíbrio é denominada K_b para indicar a constante de ionização das bases. A partir dos valores relacionados na tabela abaixo é possível fazer algumas interpretações.

Tabela 1. Valores de K_a e pK_a em soluções aquosas a 25 °C

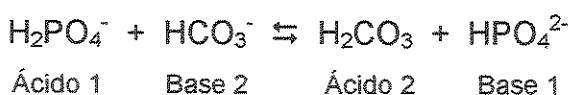
Ácido	K_a	Base	pK_a
HClO_4^a	10^{10}	ClO_4^-	-10
H_2SO_4^a	10^3	HSO_4^-	-3
HNO_3^a	25	NO_3^-	-1,4
HI^b	10^{11}	I^-	-11
HBr^b	10^9	Br^-	-9
HCl^b	10^7	Cl^-	-7
H_3PO_4^a	$7,9 \times 10^{-3}$	H_2PO_4^-	2,1
HF^b	$3,2 \times 10^{-4}$	F^-	3,45
$\text{H}_2\text{PO}_4^{b-}$	$6,2 \times 10^{-8}$	HPO_4^{2-}	7,21
HCO_3^{b-}	$4,8 \times 10^{-11}$	CO_3^{2-}	10,32

Fonte: (a) DRAGO (1968); (b) ATKINS (2003).

É importante notar que a tabela contém os valores das constantes dos ácidos e as respectivas bases conjugadas. Logo, ácidos fortes implicam em bases conjugadas fracas. Exemplos de bases fortes não constam na tabela, no entanto, também é verdade que bases fortes têm ácidos conjugados fracos. Além disso, os valores listados são extremamente úteis pois proporcionam prever termodinamicamente a extensão de uma reação pela magnitude da constante. Por exemplo, vamos considerar os seguintes valores de K_a para as seguintes espécies em solução aquosa:



O exame dos valores de K_a mostra que o ânion dihidrogenofosfato é mais forte que hidrogenocarbonato, portanto, é previsível que a reação entre ambos ocorra espontaneamente no sentido da formação do ácido carbônico. Dados experimentais mostram que a reação avança com liberação de gás carbônico.



6. 6. Lewis e a definição ácido-base

Curiosamente, as definições de Lewis para ácidos e bases também foram propostas em 1923, no mesmo período das definições de Bronsted; no entanto, as proposições de Lewis permaneceram numa espécie de limbo, até que, em 1938, emergiram com força generalizadora, quando Lewis propôs aspectos comportamentais para “seus” ácidos e bases.

Uma experiência relativamente simples, realizada por G.N. Lewis, em 1938, demonstrou que as espécies que mudam a coloração de indicadores não contêm, necessariamente, o hidrogênio ionizável. O indicador utilizado foi o cristal violeta, que pode apresentar-se nas colorações amarela e azul, dependendo das espécies presentes, como mostrado na tabela 2.

Tabela 2 - Coloração das soluções aquosas de acordo com o soluto presente

Solvente	Soluto	Cor da solução com o indicador cristal violeta
água	HNO ₃	Amarela
água	HCl	Amarela
água	H ₂ SO ₄	Amarela
água	C ₅ H ₁₁ N	Azul
água	(CH ₃) ₂ CO	Azul

Fonte: LUDER – 1948

Uma segunda experiência foi realizada substituindo água por clorobenzeno. A adição de uma pequena quantidade de piperidina ou acetona, separadamente, em clorobenzeno e cristal violeta, tornou as soluções azuis. Por outro lado, adicionando quantidades de HCl, SnCl₄ ou AlBr₃ em soluções do cristal violeta em clorobenzeno, obteve-se uma coloração amarela em todas elas.

Tabela 3 - Soluções em clorobenzeno e respectivas cores conforme o soluto presente

Solvente	Soluto	Cor da solução com o indicador cristal violeta
Clorobenzeno	HCl	Amarela
Clorobenzeno	SnCl ₄	Amarela
Clorobenzeno	AlBr ₃	Amarela
Clorobenzeno	C ₅ H ₁₁ N	Azul
Clorobenzeno	(CH ₃) ₂ CO	Azul

Fonte: LUDER – 1948

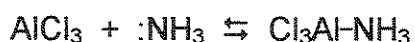
Diante das colorações indicadas nas tabelas 2 e 3, a etapa seguinte foi classificar as soluções. Aquelas que provocaram o surgimento da coloração amarela foram classificadas como ácidos; as que provocaram a cor azul, bases.

A observação cuidadosa das tabelas 2 e 3 permite colocar no mesmo grupo de ácidos, substâncias tais como HCl , HNO_3 , H_2SO_4 , SnCl_4 e AlBr_3 , embora os dois últimos exemplos citados não contenham hidrogênio nas respectivas fórmulas moleculares. Outros experimentos mostraram que centenas de substâncias que não contêm hidrogênio exibem qualidades semelhantes ao SnCl_4 e AlBr_3 diante de indicadores como cristal violeta.

Um aspecto essencial no conhecimento químico depende de relacionar as propriedades químicas das substâncias com as suas estruturas eletrônicas. Gilbert Newton Lewis, em 1916, havia proposto a teoria dos pares eletrônicos e a ligação por pares compartilhados. Em 1938, Lewis publica pela segunda vez explicações sugestivas que permitiram definir ácidos e bases em função de pares de elétrons.

A observação e aplicação das estruturas moleculares representadas por pares de elétrons conduziram Lewis à conclusão de que aquelas substâncias classificadas como bases tinham pelo menos um par de elétrons não compartilhado em suas estruturas eletrônicas. Por outro lado, as substâncias que foram classificadas como ácidos apresentam moléculas, íons ou radicais nos quais pelo menos um átomo apresenta-se incompleto em relação aos pares eletrônicos da sua camada de valência.

O exemplo a seguir ilustra duas espécies que reagem, sendo que uma tem a camada de valência completa com oito elétrons e a outra é deficiente de elétrons:



O alumínio no cloreto de alumínio apresenta deficiência de 2 elétrons, enquanto que o nitrogênio, na molécula de amônia, apresenta um par de elétrons não compartilhado.

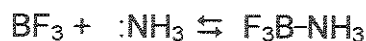
Segundo Lewis, a substância AlCl_3 é o ácido, enquanto a NH_3 é a base.

As definições de Lewis são propostas exatamente sobre os pares de elétrons. Desse modo, temos:

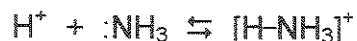
Ácido: qualquer espécie química capaz de receber, compartilhando um par de elétrons.

- Base: qualquer espécie química capaz de doar, compartilhando um par de elétrons.

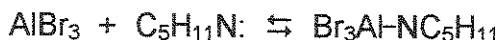
Os exemplos a seguir são relativos às reações de ácido-base segundo Lewis:



(BF_3 – Ácido; NH_3 – Base)



(H^+ - ácido; NH_3 - base)



(AlBr_3 – ácido; $\text{C}_5\text{H}_{11}\text{N}$ – base)

Segundo Lewis, os exemplos acima sugerem que a neutralização representa a reação entre quantidades equivalentes de ácidos e bases. Além disso, o produto da reação é sempre uma espécie covalente, uma vez que a ligação entre o ácido e a base depende de um par de elétrons. Convém observar que, para Lewis, o sal é um sólido iônico à temperatura ambiente (LUDER – 1948).

6. 6.1. Comportamento dos ácidos e bases segundo Lewis

Vários experimentos foram realizados para avaliar a estabilidade de produtos de reação ácido-base de Lewis em função dos valores das constantes de equilíbrio para as reações sob investigação.

Um desses processos, desenvolvido por S. Ahrland, J. Chatt e N. R. Davies, consistia em avaliar a magnitude da constante de equilíbrio para reações de um determinado cátion (M^{n+}) diante dos vários ânions haletos (F^- , Cl^- , Br^- e I^-). A equação e o respectivo K é escrito da seguinte maneira:



Onde M^{n+} é um cátion de um metal e X^{-1} é o ânion de qualquer halogênio. De acordo com a equação, quanto maior o valor da constante, é mais provável a

formação do produto. Certos cátions, com o Al^{3+} , mostravam experimentalmente que a estabilidade de seus produtos diante dos íons haletos obedecia a seqüência $\text{F}^- > \text{Cl}^- > \text{Br}^- > \text{I}^-$. Esses cátions foram designados como classe **a**. Por outro lado, cátions como Hg^{2+} , ao reagirem com os ânions haletos, tinham a seguinte seqüência de estabilidade: $\text{F}^- < \text{Cl}^- < \text{Br}^- < \text{I}^-$. Tais cátions eram colocados na classe **b**.

Em 1963, R.G. Pearson sugeriu termos “duro” (hard) e “mole” (soft) para descrever os membros das classes **a** e **b** e as respectivas regras que proporcionariam prever reações ácido-base de Lewis. O princípio HSAB (Hard and Soft Acids and Bases) propõe que:

Ácidos e bases duros são aquelas espécies químicas que possuem tamanho pequeno e elevadas cargas positivas ou negativas (no caso dos íons). Espécies químicas volumosas e com pequena carga iônica (caso dos íons) são denominados ácidos e bases moles.

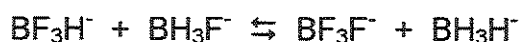
Transpondo essas regras e com a observação de várias reações que envolviam ácidos e bases de Lewis, foi proposto por Pearson que:

“Ácidos duros tendem a ligarem-se com as bases duras”.

“Ácidos moles tendem a ligarem-se com as bases moles”.

Embora se trate de uma regra empírica, tem sido muito útil na racionalização e na previsão dos resultados de reações ácido-base.

O exemplo a seguir mostra a aplicação imediata das regras numa reação química:



Na qual, BF_3 é o ácido duro e F^- é a base dura; BH_3 é o ácido mole e H^- é a base mole.

Tabela 4 - Exemplos de ácidos e bases duros e moles

Ácidos duros	H^+ , Na^+ , K^+ , Al^3+ , Sn^{4+} , BF_3
Bases duras	F^- , Cl^- , NH_3 , H_2O , OH^-
Ácidos moles	Hg^{2+} , Ag^+ , Cu^+ , Au^{3+} , BH_3
Bases moles	H^- , I^- , CN^- , CO

Fonte: HUHEEY – 1993

Comentário

Descrevemos nesta parte do trabalho cinco definições relativas aos ácidos e as bases. Cada uma delas, em seu respectivo tempo, apoiou-se em alguma teoria do momento. Boyle estabeleceu suas definições baseando-se na sistematização do conceito de substâncias. Talvez por isso tenha sido Boyle aquele entre os outros que tenha sofrido mais oposições às suas idéias. Arrhenius desenvolveu suas definições sob os pilares da teoria da dissociação eletrolítica. Bronsted define ácidos e bases pensando em transferência de íons hidrogênio. Finalmente Lewis utiliza os recursos da sua teoria do par eletrônico para propor uma generalização para ácidos e bases.

Além de descrever os cinco conjuntos de definições é importantíssimo esclarecer que não há um conjunto correto. A escolha de um ou outro conjunto depende da natureza do problema que nos propomos a resolver. Caso a questão do nosso trabalho envolva soluções aquosas, são bastantes os conjuntos de Arrhenius e Bronsted. O primeiro, porque a definição é restrita à presença de água, e o segundo, porque as forças dos ácidos e das bases são medidas diante da água.

Sugestões de leitura:

- 1) Chagas, A.P. *Teorias Ácido – Base do século XX*. Química Nova na Escola. Nº 9, p. 28-30, 1999.
- 2) Campos, R.C. e Silva, R.C. *Funções da Química Inorgânica ... funcionam?* Química Nova na Escola. Nº 9, p. 18-22, 1999.

7. TRANSPOSIÇÃO DAS DEFINIÇÕES DE ÁCIDOS E BASES PARA O ENSINO MÉDIO A PARTIR DO VÍDEO “ATAQUE ÁCIDO”

7.1. Introdução

Em função das múltiplas informações exibidas no vídeo e das várias possibilidades de trabalho, julgamos que seria adequado pontuar os instantes mais sugestivos do vídeo, no sentido da realização de trabalhos em sala de aula, relacionados com ácido-base.

Em paralelo, escolhemos instantes no vídeo que serão indicados e desenvolvidos neste texto com a preocupação de relacionar algo concreto, com as definições disponíveis e destinadas especialmente ao professor. Quanto às definições, escolhemos as de Bronsted, com suas conseqüências e aplicações como pH e forças dos ácidos e bases apoiados na constante de equilíbrio. Quanto ao vídeo, escolhemos instantes, para a transposição, que mostrem o que é concreto, próximo do estudante, aquilo que interessa porque tem utilidade e, portanto, é objeto de interesse do aluno-espectador do vídeo.

Não poderíamos deixar de lado outro aspecto que, embora pareça óbvio, na realidade não o é. Trata-se de entender o vídeo como um apoio para o trabalho do professor em sala de aula; portanto, não se pode esperar qualquer conclusão relativa às definições de ácidos e bases unicamente a partir da exibição da fita.

O vídeo, como qualquer outro recurso, funciona como um facilitador no processo ensino-aprendizagem, cabendo ao professor o trabalho de fundo que no resultado final proporcionará aos estudantes a visão da ciência, e o conhecimento da sua disciplina, em relação ao algo concreto escolhido inicialmente para despertar o interesse no aluno.

7.2. Instantes notáveis do vídeo

A abordagem dos instantes escolhidos pelo professor não necessariamente tem que seguir a cronologia do vídeo. Mas é importante que haja correspondência entre a seqüência de instantes escolhidos pelo professor e os conteúdos planejados para serem desenvolvidos em sala de aula. Nesta direção sugerimos conforme tabela 5, uma seqüência de instantes relacionados aos conteúdos que o professor pode contemplar no planejamento.

Diante das múltiplas possibilidades do uso do vídeo, julgamos que seria interessante a apresentação do tema ácidos e bases pelo professor antes de iniciar a exposição do vídeo. Por esta razão, selecionamos vinte instantes notáveis no filme. Aliado a isto, estamos sugerindo uma divisão didática do vídeo em sete intervalos de tempo no sentido de facilitar a abordagem do tema. Essas cenas são geralmente utilizadas para explicitar o tema que será abordado no filme. Outro cuidado que o professor deve ter é chamar atenção para os termos usados pelo narrador, para se referir às imagens iniciais. Imagens e palavras pretendem conduzir o espectador à condição de um atento observador, para que perceba os argumentos seguidos na construção do conhecimento específico. No caso da fita "Ataque ácido", as definições de ácido e de base são apresentadas de forma explícita e requerem a atenção do colega professor e dos alunos, pois será através dessas construções explicitadas na fita que o professor irá discutir com os alunos os mecanismos que cercam o problema: a chuva ácida e os efeitos nos ambientes, possíveis soluções para amenizar a chuva ácida e seus efeitos indesejáveis.

Após esse início, o vídeo pode ser exibido sem interrupção. Ao final da exposição da película, o professor poderia, como mera sugestão, dividir didaticamente o vídeo em intervalos, para facilitar a abordagem. Naturalmente, há colegas que talvez prefiram dar início à aula com as imagens da película e fazer uma breve interrupção para comentários introdutórios.

É claro que nossa sugestão é apenas uma, entre as várias possibilidades de utilização do vídeo; entretanto, há dois fatos que nós precisamos estar de

acordo. O primeiro é que a fita deve ser exibida numa mesma aula, e o segundo é que após a apresentação do vídeo haja um tempo para reflexão e discussão a respeito das imagens e da fala do narrador.

Tabela 5 – Instantes notáveis do vídeo “Ataque Ácido”

Instante	Indicação do tempo no Videocassete	Indicação da imagem
1º	00:00:00	Tv Ontário da série Planeta sob pressão: Ataque ácido.
	00:01:13	Lago com vida – variedade abundante de espécies animais e vegetais.
	00:01:20	Cientistas lançam ácido sulfúrico no lago 2-2-3 para simular os efeitos da chuva ácida.
	00:01:47	Lago morto em consequência da acidez.
2º	00:01:59	Usina termoeleétrica e siderúrgica: consumidores de carvão com razoáveis teores de enxofre.
	00:02:16	Chaminé (chama) lançando gases na atmosfera. Surgem esferas amarelas na imagem do vídeo – SO_2 .
	00:02:40	Formação do ácido sulfúrico com simulação de esferas coloridas distintas para SO_2 , SO_3 e H_2O .
3º	00:03:09	Ácido sulfúrico ataca o concreto porque é reativo – Imagem: ácido derramando sobre uma laje de concreto.
	00:03:45	Dois erlenmeyers simulando o doador de H^+ e o receptor de H^+ .
4º	00:04:03	Reação de neutralização: esferas coloridas em choque.
	00:04:21	Diluição e concentração. Adição de água.
	00:06:07	Escala de pH. Fundo azul intervalo indicado: 0-7-14.
5º	00:06:37	Chuva em ambiente não poluído é ácida. (pH~5,6).
	00:07:40	Chuva ácida propriamente dita (pH<5,6).
	00:08:21	Combustíveis fósseis.
6º	00:10:22	Acidez no solo e nos lagos gotas precipitam-se no solo e escoam.
	00:13:25	O solo torna-se ácido.
7º	00:14:08	A chuva ácida e o alumínio no solo.
	00:17:33	Bases lançadas no lago para torná-lo menos ácido.
	00:18:12	Cortar o mal pela raiz – filtros.

INSTANTE: 00:00:00

7.2.1. Ácidos e o senso comum

Ácido é o exemplo de um produto ou de um agente químico associado a danos, prejuízos, acidentes ambientais, corrosão, destruição etc. A memória coletiva revela essa imagem maléfica dos ácidos; eis uma das nossas missões: mostrar aspectos positivos relacionados ao conhecimento químico.

Os ácidos estão na pauta da poluição. Parece que usam a chuva para desempenharem suas funções isto é, seus poderes de ação.

Podemos começar pensando o significado de poluição:

“POLUIR SIGNIFICA SUJAR, CORROMPER, TORNAR PREJUDICIAL À
SAÚDE.”

Parece que o vídeo começa exatamente assim. As primeiras imagens mostram dois pesquisadores lançando ácido sulfúrico num lago (denominado 2-2-3) com o propósito de avaliar os efeitos da chuva ácida. O resultado (não muito demorado) é a extinção da vida animal e vegetal no lago.

O aproveitamento dessas imagens nos permite propor pelo menos, uma condição de contorno para o significado de poluição. Poderíamos dizer de forma simplificada que remover muito de muitos lugares e depositar esse muito num único lugar pode significar modificações drásticas nos complexos e delicados ciclos biogeoquímicos naturais, acarretando prejuízos de alguma forma para os ecossistemas. Trata-se, portanto, de um assunto moderno, atual e da mais alta importância para a humanidade (ODUM – 1997).

A chuva ácida é um desses tantos problemas ambientais. O termo estende-se aos fenômenos de precipitação na troposfera como neve ácida, neblina ácida. Todas porém são precipitações com consideráveis concentrações de ácidos formados através de reações químicas que acontecem na atmosfera. Muitas substâncias que participam dessas indesejáveis reações atmosféricas, são

produzidas nas mais variadas atividades industriais e residenciais. Lançadas na atmosfera diretamente ou através de poderosas chaminés, acumula-se em grande quantidade em locais onde o relevo e o clima proporcionam este acúmulo.

Curiosamente, a chuva que se precipita em ambientes não poluídos, apresenta uma sensível acidez, resultado da reação que acontece na atmosfera, envolvendo gás carbônico e água, onde o CO_2 encontra-se disperso.



Aqui, temos um exemplo interessante que ilustra um processo de chuva ácida, em perfeito equilíbrio com os ecossistemas, muito longe daquela visão avassaladora da chuva ácida.

Como não dispomos, nesse momento da aula, de um meio para avaliar a maior ou a menor acidez, podemos dizer que a chuva ácida tratada no nosso vídeo, causadora dos problemas ambientais, é mais ácida que a “chuva ácida natural”.

A chuva natural contém, além do ácido carbônico, o ácido sulfúrico, que se forma num longo processo de reações químicas a partir de erupções vulcânicas. Em síntese, chuva natural tem sua acidez creditada principalmente ao ácido carbônico (H_2CO_3), a seguir ácido sulfúrico (H_2SO_4) e, em menor proporção, ácido nítrico (HNO_3). Veremos a seguir, nas próximas cenas do vídeo, que o ácido sulfúrico pode tornar-se o vilão da chuva ácida, cuja presença na atmosfera tem origem em pequenas quantidades de enxofre presentes no carvão mineral, extraído da crosta terrestre.

INSTANTE: 00:01:59

7.2.2. O enxofre residual do carvão é queimado e eliminado pelas chaminés

A partir do instante 00:01:59, as cenas do vídeo exibem uma termoelétrica na Pensilvânia e uma siderúrgica em Ontário. Duas atividades industriais que

necessitam de carvão mineral ininterruptamente. Durante o processo de queima do carvão, simultaneamente, o enxofre nele presente também é queimado. Inúmeras substâncias são produzidas durante a combustão. Uma delas é o dióxido de enxofre, exalado pelas chaminés junto com as demais substâncias.

Vamos seguir o dióxido de enxofre, no seu percurso para entendermos como acontece a chuva ácida e por que causa tantos efeitos indesejáveis.

As próximas cenas simulam reações químicas utilizando modelos esféricos coloridos representativos da formação do ácido sulfúrico. Muitos fatores contribuem para as reações químicas, na atmosfera, produzirem o ácido sulfúrico. Temperatura, umidade, luz intensa são decisivos para o êxito dessa reação que ocorre em várias etapas.

A equação do processo representado pelas esferas coloridas pode ser escrita do seguinte modo:



Os modelos rígidos e esféricos que aparecem logo acima das chaminés (no vídeo) são representações das moléculas de SO_2 , O_2 e H_2O . Cada esfera representa um átomo com seus limites físicos. Duas esferas unidas representam uma molécula – segundo a teoria da ligação de valência proposta por Linus Pauling – em que cada átomo mantém um pouco de suas características ainda que esteja participando da molécula.

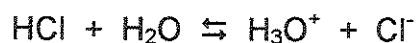
Os efeitos poluentes não se restringem ao ácido sulfúrico. A formação de SO_2 na atmosfera forma um sistema aerossol (nebulosidade) com comprometimento da visibilidade local. Além disso, o dióxido de enxofre (SO_2) causa sérias irritações no sistema respiratório das pessoas. De acordo com esses fatos, há registros seguros de que em 1948, justamente no estado da Pensilvânia (Estados Unidos), 40% da população de uma pequena cidade apresentou irritabilidade respiratória, sendo que 20 pessoas morreram no mesmo período. O incidente foi resultado de inversão térmica num ambiente atmosférico com elevada concentração de SO_2 (MANAHAM – 1994).

INSTANTE 00:03:09

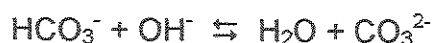
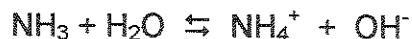
7.2.3. Ácidos e bases segundo Bronsted

A partir do instante 00:03:09, as imagens do vídeo focalizam uma laje de concreto sendo corroída por ácido sulfúrico. A seguir, são mostrados dois erlenmeyers que servem de apoio para a apresentação das definições de ácidos e bases em função da transferência de prótons. Conforme declaramos no começo dessa segunda parte, iremos trabalhar com as definições de Bronsted. No entanto, é necessário manter a definição operacional de ácidos e bases (Boyle), isto é, a mudança de coloração das soluções diante da adição de um indicador. Uma maneira ilustrativa consistiria em mostrar que carbonato de sódio dissolvido em água, ou amônia dissolvida em água, modificam igualmente a cor de um determinado indicador e, portanto, são substâncias que devem estar no mesmo grupo de classificação que definiremos como bases. Por outro lado, substâncias como HCl e HNO₃ alteram, igualmente, a cor do indicador previamente modificado pelas bases. Esse grupo formado pelo HCl, HNO₃ e outras substâncias que modificam igualmente a coloração do indicador foram definidos como ácidos. A propriedade mais notável sobre essas duas classes de substâncias reside no fato de que se um ácido e uma base forem colocados para reagirem em quantidades adequadas, as características de ácido e base desaparecem e o processo é denominado neutralização.

Em 1923, Bronsted e Lowry reconheceram que a reação entre um ácido e uma base poderia ser compreendida segundo a transferência do íon H⁺ do ácido para a base. Isto é, ácido é toda espécie química capaz de transferir o íon H⁺ para uma base. Base é toda espécie química capaz de receber o íon H⁺ cedido pelo ácido. Desse modo, a reação entre HCl e H₂O, segundo Bronsted, é escrita:



Outras equações, que exemplificam a definição ácido-base de Bronsted:



Apoiados nas definições de ácido e base e nas imagens exibidas no vídeo, temos que admitir que as reações que pretendemos entender dependem de certas substâncias, cuja ação principal é a retirada de um íon H^+ de sua estrutura original. Além disso, o ácido deve estar num ambiente onde exista pelo menos uma substância que retire o H^+ , a base. Do contrário, ele não seria classificado como ácido.

Como o vídeo pretende mostrar a reatividade do ácido sulfúrico enfatizando a velocidade da reação do ácido com o concreto, julgamos interessante falar um pouco dessa mistura que une vários componentes por uma antiga cola, o cimento.

O precursor do cimento moderno já era utilizado na antiguidade e tratava-se de uma mistura de CaO e cinzas vulcânicas, encontradas em Pozzuoli, próxima de Nápoles. Com a adição da água, resultava em uma massa que endurecia e era resistente ao ar e a água. Esse material ainda hoje é utilizado com o mesmo nome: cimento pozzolânico. Durante um longo período de tempo, o segredo do cimento foi esquecido até que, em 1756, um engenheiro inglês, examinando antigos documentos romanos, redescobriu a fórmula do cimento. Em 1824, um cidadão inglês patenteou sua fórmula de cimento Portland, devido à semelhança do cimento com a rocha de Portland, usada nas construções inglesas.

As matérias primas para fabricação de cimento são calcário e argila, ambas extraídas dos respectivos depósitos naturais. Na composição do calcário impuro estão presentes CaCO_3 , MgCO_3 , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 além de outras substâncias. A argila é composta essencialmente de silicatos de cálcio (Ca_2SiO_4 e Ca_3SiO_5) e aluminato de cálcio ($\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$). A mistura é aquecida para serem eliminados gás carbônico e umidade. O material resultante é moído e finamente pulverizado. Está pronto para ser utilizado (SKINNER – 1996).

Os cimentos utilizados no Brasil apresentam a seguinte composição química: Alita cerca de 50-70% (Ca_3SiO_5), Belita 15-30% (Ca_2SiO_4), Aluminato 5-10% ($\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$) e Ferrita 5-15% ($\text{Ca}_2\text{AlFeO}_5$).

A corrosão química do cimento, sob ação da chuva ácida acontece devido à destruição da massa do cimento propriamente dita, que é predominantemente constituída de alita (silicato tricálcico).

A reação acontece entre o ácido e a alita. Considerando o ácido sulfúrico no processo, temos:



No caso de cimento com armadura interna de ferro, percebe-se também o ataque do ácido ao metal. Forma-se uma coloração vermelho-alaranjado, característico de sais de ferro (GENTIL – 1996).

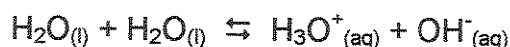
INSTANTE 00:03:45

7.2.4. Auto-ionização da água

Retornando às definições de ácido e base de Bronsted, vimos que não é necessária a presença da água para que as reações aconteçam. No entanto, devido à importância da água no nosso dia-a-dia, avaliamos ser muito interessante restringir as reações ácido e base de Bronsted somente para o meio aquoso. Pensando nas reações em meio aquoso vamos lembrar que, em 1894, Kohlrausch e Heydweiller, efetuando medidas de condutividade em água pura, verificaram que seriam necessárias aproximadamente 40 destilações para eliminar o máximo de impurezas e reduzir a condutividade elétrica dessa água pura para um valor limite (HARRIS – 2001). A sugestão oferecida por ambos os cientistas era que a água deveria estar ligeiramente dissociada, segundo a equação: $\text{H}_2\text{O} = \text{H}^+ + \text{OH}^-$, e, assim, a existência de íons H^+ e OH^- em pequena quantidade seria o

suficiente para garantir a reduzida condutividade elétrica observada experimentalmente.

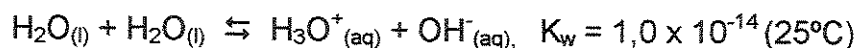
O processo descrito acima se insere na definição de Bronsted, ou seja, nós podemos considerar que a formação de íons na água pura é resultado da transferência do íon H^+ entre moléculas da mesma substância. Assim sendo, a equação pode ser escrita da seguinte maneira:



A água se auto-ioniza em um processo também chamado de autoprotólise, no qual a água atua como ácido e como base simultaneamente, segundo Bronsted.

Essa visão da auto-ionização da água oferece algumas implicações que merecem ser analisadas com cuidado. Por exemplo, a neutralidade da água pura, isto é, o fato de não ser ácida e nem básica é mantida não pela ausência desses caracteres, mas sim pela presença de ambos, ácido e base, porém com a mesma intensidade. A intensidade pode ser entendida como sendo igualdade entre as concentrações de H_3O^+ (hidrônio) e OH^- (hidroxila). Qualquer desequilíbrio nessa delicada situação, por exemplo, a adição de outra substância à água pura, faz com que essa igualdade seja rompida, deslocando esse tênue equilíbrio de neutralidade em direção à acidez, com o aumento da concentração de H_3O^+ ou no sentido da basicidade, com a diminuição da concentração dos íons H_3O^+ .

Retomando as definições de Bronsted, podemos interpretar o texto acima usando equações químicas da seguinte maneira:



A água pura, na condição de neutralidade, tem a concentração de hidrônio igual à concentração de hidroxila. A autoprotólise da água a $25^\circ C$ e 1 atm exibe o valor da constante bem determinado e vale $1,0 \times 10^{-14}$. Portanto, as concentrações dos íons no equilíbrio são: $1,0 \times 10^{-7} \text{ mol.L}^{-1}$ ou $[H_3O^+] = [OH^-] = 1,0 \times 10^{-7} \text{ mol.L}^{-1}$.

Vale lembrar o significado da constante de equilíbrio como sendo um valor relativamente constante a uma certa temperatura. As espécies químicas em equilíbrio assumem valores de concentração de modo a conservar a constante. no seu valor. No caso da água pura, as concentrações de hidrônio e hidroxila, quando multiplicadas uma pela outra, mantêm o valor de K_w . Isto quer dizer que, se a concentração de um dos íons aumentar, ocorrerá um consumo maior do outro íon e a constante terá seu valor mantido, sob temperatura constante.

Vamos verificar o que acontece ao equilíbrio da água, quando adicionamos um ácido de Bronsted como HCl em água pura:

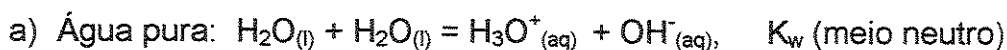


Segundo a equação da reação, há formação de íons hidrônio. Portanto, a solução resultante é ácida, isto é, a concentração de íons hidrônio é maior que a concentração de íons hidroxila.

Raciocínio semelhante pode ser aplicado à uma solução preparada com adição de hidróxido de sódio em água. Em consequência da dissociação do hidróxido de sódio, há um aumento considerável na concentração de ânions hidroxila. E a solução resultante é classificada como básica porque a concentração de íons hidroxila é maior que a concentração de íons hidrônio.

Em síntese, podemos considerar três situações notáveis diante do que estudamos até o momento. Num meio neutro, as concentrações de H_3O^+ e de OH^- são iguais e valem $1,0 \times 10^{-7} \text{ mol.L}^{-1}$. Em meio ácido, $[\text{H}_3\text{O}^+] > [\text{OH}^-]$ porém o produto de ambas as concentrações permanece constante é igual a $1,0 \times 10^{-14}$ (25 °C). Em meio básico, $[\text{OH}^-] > [\text{H}_3\text{O}^+]$ e o produto K_w permanece constante e vale $1,0 \times 10^{-14}$ (25°C).

As três condições relatadas anteriormente podem ser explicitadas na forma de equações químicas:



- b) $\text{HA} + \text{H}_2\text{O}_{(l)} = \text{H}_3\text{O}^+_{(aq)} + \text{A}^-_{(aq)}$, K_a (ácido transfere íons H^+ para a água – base – e aumenta a concentração de H_3O^+ tornando o meio ácido)
- c) $\text{B} + \text{H}_2\text{O}_{(l)} = \text{BH}^+ + \text{OH}^-$, K_b (B = base receptora de íons H^+ e H_2O = ácido que transfere íons H^+ para a base B e aumentando a concentração de OH^- tornando o meio básico).

Os exemplos e argumentos aplicados até aqui, tratam de soluções diluídas, conseqüentemente a concentração de água é elevada em relação ao eletrólito dissolvido e praticamente constante. Diante deste fato, a concentração da água nas expressões das constantes K_a , K_b e K_w é desnecessária.

Além disso, é essencial perceber que diante da explanação relativa à auto-ionização da água, dissolução do ácido e dissolução da base, todos os efeitos foram avaliados no equilíbrio da água. Por isso que, considerando a importância da química da água, estamos propondo voltar nossas atenções ao vídeo, exatamente no instante 00:06:07, no qual aparece na tela uma escala de pH acompanhada do comentário: “escala invertida porque quanto mais ácido é o meio, menor é o valor da medida”.

Com esse comentário é dado início a uma série de imagens sugerindo fenômenos nas águas dos lagos e solo que estão relacionados com a acidez da chuva, que se precipita nas diversas regiões.

É exatamente o que faremos a partir de agora. Vamos nos deter no conceito de pH e a respectiva escala de pH.

INSTANTE 00:06:07

7.2.5. pH e a escala de acidez e basicidade

A acidez de uma solução aquosa está relacionada diretamente à concentração de íons H_3O^+ . A definição de pH foi proposta em 1909, por S.P.L. Sorënsen, farmacêutico e mestre no controle da fermentação de cerveja, processo

no qual o controle da acidez é essencial. Frequentemente era necessário explicitar que a concentração de H^+ tinha alcançado o valor 0,0001 mol por litro ($1,0 \times 10^{-4}$). Por que não expressar a concentração do H^+ em função de um número mais simples como 4, que é o expoente da concentração do hidrogênio, com o sinal positivo? Originalmente, Sorënsen teria escrito p_H com a letra “H” na posição de índice da letra “p”. Sorënsen definiu, então, o pH com “H” maiúsculo como sendo o logaritmo decimal da concentração de íons H^+ com o sinal trocado.

$$pH = -\log [H^+]$$

Quando a concentração de H^+ numa solução é $10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ então o $pH = 2$.

$$pH = -\log 10^{-2}, \text{ portanto, } pH = 2$$

Para a maioria das práticas em que se faz necessária a medida do pH, são suficientes os valores do 0 ao 14. O ponto 7 representa a neutralidade. Abaixo de 7 o meio é ácido; acima de 7, é básico.

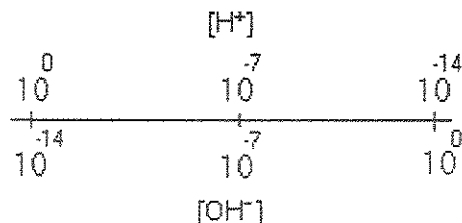
Os valores da escala de pH resultam dos valores das concentrações de H^+ e OH^- que estão em equilíbrio nas soluções aquosas.

Para construir uma escala de pH podemos começar com uma linha horizontal, concentrações de H^+ e OH^- e os respectivos logaritmos negativos das concentrações. É o suficiente.

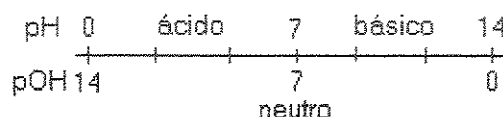
Começamos indicando na linha horizontal o ponto de neutralidade, $[H^+] = [OH^-] = 10^{-7}$ (25 °C).

$$\begin{array}{c} [H^+] \qquad \qquad \qquad 10^{-7} \\ \hline [OH^-] \qquad \qquad \qquad 10^{-7} \end{array}$$

A seguir marcamos os extremos, lembrando que em meio ácido $[H^+] > [OH^-]$ e em meio básico $[H^+] < [OH^-]$ e que o produto das concentrações dos dois íons deve permanecer no valor 10^{-14} (25 °C).



O produto dos valores das concentrações de H^+ e OH^- , no mesmo ponto da escala, resulta em 10^{-14} . É possível introduzir o conceito de pOH que deve ser interpretado como o logaritmo negativo da concentração de OH^- . Pensando assim, a escala proposta na realidade terá dois segmentos: um traduz o pH e o outro, o pOH. Conforme escala abaixo:



É importante comentar ainda que a soma $pH + pOH = 14$ somente a $25^\circ C$, temperatura na qual $K_w = 10^{-14}$. Caso as medidas do pH sejam realizadas em temperaturas diferentes de $25^\circ C$, a soma de $pH + pOH$ é diferente de 14, e o valor de neutralidade assume um resultado diferente de 7.

A tabela abaixo apresenta valores de pH relativos a alguns sistemas.

Tabela 6 – Valores de pH em diversos sistemas

Valores de pH	Sistemas
~ 1,0	suco gástrico
3	Refrigerantes
~4,0	Chuva na cidade de São Paulo
~5,0	Cafezinho
~6,0	Chuva
7	água pura
~8,0	Lágrima
8	lagos de Ontário
10	leite de magnésia

INSTANTE: 00:10:22

7.2.6. Solo e acidez

Retornando ao vídeo, vamos fixar nossa atenção nas imagens da chuva ácida e seus efeitos sobre solo e lagos sobretudo em função do alumínio.

O alumínio é mais abundante que o ferro na crosta terrestre. Aliás, o alumínio ocupa o terceiro lugar em abundância na crosta terrestre, sendo inferior somente ao oxigênio e ao silício. O alumínio é um elemento típico da crosta, sendo raríssimo nas águas dos oceanos. Um dos minérios de onde se extrai o alumínio é a bauxita cujo nome é derivado da localidade de Lês Baux, na França, onde foi reconhecido em 1821.

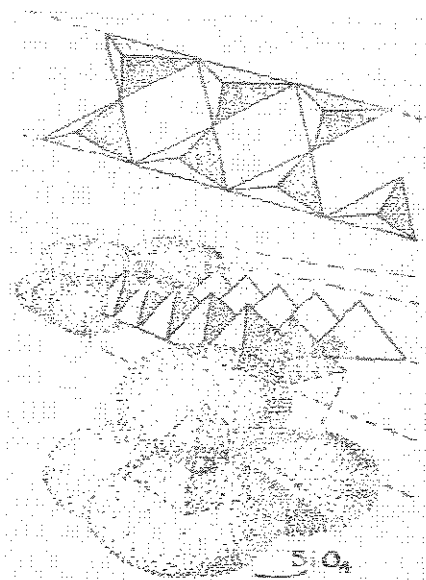
Como as imagens da fita relacionam vegetais, solo e chuva ácida, vamos aproveitar para concentrarmos nossa atenção nos três elementos mais abundantes do nosso planeta, porque precisamente oxigênio, silício e alumínio, combinados quimicamente, formam as “argilas” que oferecem consistência ao solo e é nesse local do solo em que as raízes das plantas, a água, os gases da atmosfera encontram-se para cumprir um delicado e complexo processo biogeoquímico.

As argilas são parte da constituição do solo. A composição das argilas depende fundamentalmente do oxigênio, do silício e do alumínio. As ligações químicas e os arranjos espaciais desses átomos constituem justificativas para as propriedades das argilas. Genericamente, as argilas são formadas por um grande grupo de substâncias designadas por aluminossilicatos. Essas estruturas complexas de Al, Si e O podem ser simplificadas em unidades fundamentais que se repetem ao longo da amostra da argila e, por isso, fixamos nossa atenção nessas estruturas fundamentais, apenas com a preocupação de verificar as propriedades ácido-base.

As estruturas dos minerais que envolvem silício e oxigênio ficam mais compreensíveis se considerarmos a unidade fundamental com um átomo de silício no centro de um tetraedro. Cada vértice do tetraedro é ocupado por um átomo de

oxigênio, ligado ao átomo central, de silício, por ligação covalente simples (SiO_4). A figura 1 mostra o arranjo descrito.

Figura 1 – Arranjo tetraédrico de SiO_4



Cadeia dupla de
tetraedros de Silicato

Fonte: PAULING - 1967

O alumínio é outro elemento importantíssimo na formação dos minerais, porque na formação desses numerosos cristais de SiO_4 é possível que íons de Al^{3+} substituam os átomos de Si (Si^{4+}) nas estruturas tetraédricas e em outras estruturas também. Pelo fato de o alumínio apresentar uma carga positiva a menos em relação ao silício, surge no cristal uma carga negativa adicional.

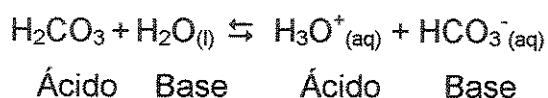
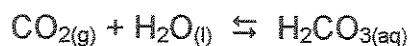
As cargas elétricas resultantes são responsáveis pela interação com cátions que também são constituintes dos aluminossilicatos. Os cátions mais comuns são K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} .

Ao final do processo, o que se observa é que cada partícula de argila está cercada por uma camada de cátions. Outro aspecto notável em relação às partículas de argila circundadas pelos cátions é o fenômeno da troca de íons, isto é, se a argila for colocada em contato com uma solução que contenha outros íons dissolvidos, haverá troca desses íons entre a argila e a solução.

Podemos então transferir nossos argumentos a respeito das argilas para entendermos o que acontece no processo de nutrição das plantas num ambiente denominado solo.

Os elementos fundamentais e essenciais para compreendermos um pouco sobre o processo de nutrição dos vegetais são a raiz da planta, as partículas de argila circundadas por cátions e moléculas de água, a água com íons dissolvidos, o ar e outras substâncias, pouco solúveis, constituintes do solo, como $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ou $\text{Al}(\text{OH})_3$ e matéria orgânica.

Começamos o processo com um dia chuvoso. Uma chuva em ambiente não poluído e, portanto, com $\text{pH} \sim 5,6$ resultante do processo:



As equações acima correspondem ao processo de equilíbrio químico nas gotas da chuva. As gotas caem sobre a vegetação e posteriormente sobre o solo. Quando a água entra em contato com a argila, tem início o processo de troca iônica. Os íons H^+ da chuva naturalmente ácida ocupam as posições dos íons Mg^{2+} , Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , Al^{3+} etc, ao redor da partícula de argila, e esses íons, por sua vez, são transportados pela água entre os poros do solo até serem absorvidos pelas raízes das plantas. Conseqüentemente, agora o solo é ácido, pois contém íons H^+ ligados às partículas de argila (CHAGAS – 1996).

INSTANTE 00:14:08

7.2.7. O alumínio no solo

O mesmo solo sob ação da chuva ácida natural, revela outras reações além da troca iônica citada anteriormente. A acidez promove a dissolução de minerais de alumínio, geralmente pouco solúveis em solos menos ácidos. A dissolução

desses minerais causa o aumento da concentração de íons Al^{3+} na água do solo que por sua vez são absorvidos pelas plantas.

Para ilustrar o efeito da acidez sobre a dissolução de um composto de alumínio pouco solúvel em água escolhemos o hidróxido de alumínio $\text{Al}(\text{OH})_3$ para avaliarmos a mudança de solubilidade dessa substância em função de alterações de pH do ambiente.

A constante de solubilidade (K_s) do $\text{Al}(\text{OH})_3$:



Portanto, a expressão da constante é escrita da seguinte maneira:

$$[\text{Al}^{3+}][\text{OH}^-]^3 = 10^{-33}$$

Considere que o $\text{Al}(\text{OH})_3$ esteja exposto ao ambiente de uma chuva com $\text{pH}=6$. Com isso podemos calcular a solubilidade do referido hidróxido.

Como $\text{pH}=6$ então $[\text{H}^+]=10^{-6}$. Lembrando que $[\text{H}^+][\text{OH}^-]=10^{-14}$ temos que $[\text{OH}^-] = 10^{-8}$. Uma vez que conhecemos o valor de $[\text{OH}^-]$, substituímos o valor na expressão do K_s : $[\text{Al}^{3+}].(10^{-8})^3=10^{-33}$, portanto $[\text{Al}^{3+}]=10^{-9} \text{ mol.L}^{-1}$. A solubilidade do $\text{Al}(\text{OH})_3$ vale $10^{-9} \text{ mol.L}^{-1}$ numa solução de $\text{pH}=6$.

Podemos repetir os cálculos considerando dois novos valores de pH; $\text{pH}=5$ e $\text{pH}=4$ e chegamos aos seguintes resultados:

- Numa solução de $\text{pH}=5$, a solubilidade de $\text{Al}(\text{OH})_3$ aumenta para $10^{-6} \text{ mol.L}^{-1}$.
Noutra solução com $\text{pH}=4$, a solubilidade aumenta para $10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$. O que se percebe é o aumento da solubilidade do hidróxido de alumínio, disponibilizando concentrações cada vez maiores de Al^{3+} . É interessante observar a mudança drástica na concentração de alumínio: para cada diminuição de 1 unidade do pH, a solubilidade aumenta por um fator mil. Com o aumento da solubilidade, os cátions alumínio são transportados pelas águas da chuva para outras regiões nas quais o pH da água encontra-se em valores superiores aos normais. Portanto, diminui a solubilidade do $\text{Al}(\text{OH})_3$, havendo precipitação na

forma de gel, típica do hidróxido de alumínio em água. Esse gel provavelmente entra em contato com as brânquias dos peixes, impedindo seu processo respiratório, levando-os à morte (BAIRD – 2002).

Considerações Finais

No término do vídeo a narradora sugere que cabe a nós, consumidores, pagarmos algum tributo sobre os produtos e serviços disponibilizados em função desta vida moderna.

Precipitadamente poderíamos dizer que é o avanço do conhecimento tecnológico que provocou estes transtornos com os quais temos que conviver. Certamente o processo é o contrário uma vez que os problemas com os quais convivemos tem origem na maneira de utilizar esses avanços. Acreditem, mas não há retorno. A experiência indica que qualquer custo adicional sobre as pesquisas científicas e tecnológicas que visam prevenir efeitos ambientais indesejáveis, custa muitas vezes menos do que os gastos necessários para remediar. Neste sentido, mais uma vez cai sobre a comunidade científica a responsabilidade de manter informações precisas sobre as múltiplas atividades humanas e como elas podem ser remodeladas para manter o desenvolvimento sem a deterioração da vida.

Além disso, este é um bom momento para o professor assumir o importante papel de trazer para sala de aula a abordagem de diversos assuntos. Temas atuais e atraentes falam de drogas, energia e usinas nucleares, aborto, eutanásia, sexualidade, AIDS, violência urbana, fome, questões ambientais etc.

Tais temas proporcionam aos estudantes a possibilidade de uma forma mais ativa de viver diante de tantos desafios. Certamente se faz necessário refletir sobre a importância da vida com qualidade dentro desse contexto de rápidas transformações.

Já que estamos tratando destes temas, seria oportuno lembrar aos estudantes o quanto foi desnecessário poluir o lago 223 com ácido, para avaliar o efeito da acidez sobre a vida local, conforme mostra o vídeo.

8. O VÍDEO “LAVOISIER E A COMPOSIÇÃO DO AR”

8.1. Introdução

A aparência de um objeto é igual ao seu interior? Eis a questão. A resposta mais sugestiva e coerente é não, porque a ordem interna não é captada pelas nossas sensações. Os fenômenos podem ser explicados com o auxílio da linguagem científica, uma vez que a ciência é uma das maneiras pela qual o homem encontrou para estabelecer relações entre ele e o ambiente fazendo uso dos sentidos e das explicações teóricas.

Uma máquina que fornece latas de refrigerante quando acionada pela adição de moedas mantém seu mecanismo invisível aos olhos do consumidor. Um relógio, também esconde seu mecanismo ao seu observador, muito embora permaneça constantemente a fornecer o tempo. O mesmo acontece com a invisibilidade da ação de um líquido combustível transferido para o tanque de um veículo que move-se apenas pela ação “mágica” deste líquido que se transforma em favor do movimento.

Como explicar o funcionamento da máquina de refrigerantes, do relógio e do movimento do automóvel?(ALVES – 2003).

Afinal, todos nós, todas as pessoas procuram respostas para algumas coisas que lhes despertam maior interesse. Curiosamente, estas explicações dependem da complexidade dos argumentos que o observador está acostumado a conectá-los entre si, com o objetivo de obter respostas às suas indagações.

Por exemplo, se alguém explicar que a chuva é resultado das lágrimas de uma deusa que chora ao ver os campos secos, destinados ao plantio, inegavelmente há uma explicação para o fenômeno da chuva naquelas circunstâncias. Possivelmente haveria muita discordância baseada em outros modos de pensar, no entanto, não podemos negar a existência da explicação.

A explicação pode ser entendida como sua maneira de conhecer, sobretudo, o invisível. Se soubermos explicar o mecanismo da máquina de refrigerante, do relógio, do combustível e movimento do veículo então

conhecemos os interiores e não apenas as aparências. Assim descobrimos a ordem invisível e quando executamos essa façanha, de descobrir, colocamos os mistérios e as magias no campo do nosso conhecimento.

Para transformar o desconhecido em conteúdo é necessário planejar alguns pequenos testes para os nossos objetos em observação. Por exemplo, a máquina de refrigerantes aceita papel moeda ou somente moedas metálicas? É possível obter troco do dinheiro fornecido? Depositando-se o dobro do valor pedido para uma latinha, a máquina fornece duas latinhas numa única operação? Se a máquina negar-se a trabalhar diante dos três testes acima, podemos supor por exemplo que o funcionamento depende da massa da moeda ou que a dimensão da moeda fecha um circuito elétrico que fornece apenas uma lata. Por um ou por outro caminho, tentar explicar o funcionamento, requer conceitos de massa, corrente elétrica, enfim mecanismos que envolvem molas, engrenagens etc. Esse conjunto de conceitos recorrentes utilizados para explicar e descrever o mecanismo de ação da máquina está apoiado em teorias (SEBERA – 1968).

A seguir, decidimos apresentar um texto extraído do livro “A Lógica da Pesquisa Científica”, de Karl Popper, pertinente ao conceito de teoria:

“As teorias científicas são enunciados universais. Como todas as representações lingüísticas, são sistemas de signos e símbolos.... As teorias são redes lançadas para capturar aquilo que denominamos ”o mundo”: para racionalizá-lo, explicá-lo, dominá-lo. Nossos esforços são no sentido de tornar as malhas da rede cada vez mais estreitas” (POPPER – 1972).

Em relação à analogia entre a teoria e as redes, Rubem Alves em seu livro “Filosofia da Ciência” faz referência a Karl Popper por ter citado a seguinte frase de Novais:

Hipóteses (teorias) são redes; somente aqueles que as lançam pescarão alguma coisa. O autor amplia a idéia analógica de Popper e sugere:

“Teorias são enunciados acerca do comportamento dos objetos de interesse do cientista. Daí termos teorias relativas ao universo, aos átomos, às combinações entre os elementos, à vida, à sociedade, às emoções, à educação: cada uma é um conjunto de conhecimentos acerca dos hábitos comportamentais

das entidades a serem caçadas, sem o que o cientista não poderá preparar-lhes armadilhas. Um cientista é uma pessoa que sabe usar as redes teóricas para apanhar as entidades que lhe interessam” (ALVES – 2003).

8.2. Origem da palavra Teoria

Theorós é um espectador que viaja para ver o mundo. Entre os gregos havia uma tradição de cada cidade enviar um observador às festas religiosas, jogos e teatros de outras cidades. Este observador não participava destas festas, apenas as contemplava, para depois relatar a ocorrência e o significado da sabedoria religiosa que nela se manifestava. Esse observador, em língua grega, era chamado de Theorós, de onde deriva a palavra teoria. Nesse sentido, teoria tem o significado de contemplação, isto é, uma observação sem interferência do observador.

É necessário distinguir dois sentidos de observação. Entre os gregos, observar era olhar sem interferir. A partir do século XVI observar assume a condição de medir; com o apoio de instrumentos, visão e audição podem ser ampliados.

8.2.1. As teorias e os modelos

Segundo o dicionário Houaiss da língua portuguesa o vocábulo modelo, em física, é um esquema que possibilita a representação de um fenômeno ou conjunto de fenômenos físicos e eventualmente a previsão de novos fenômenos ou propriedades, tomando como base um certo número de leis físicas, em geral obtidas ou testadas experimentalmente.

Evidentemente que todos os vocábulos consultados nos dicionários, estão deslocados dos textos e, por isso mesmo constituem-se como ótimos guias para a utilização do vocábulo. Conforme veremos, a aplicação da palavra modelo precisa ser delimitada e é necessário ter claro em que contexto ela pode ser utilizada.

Em seu livro *Teoria e Realidade*, Mário Bunge introduz o capítulo “Modelos na Ciência” escrevendo que é necessário elucidar a noção de modelo quer seja na ciência natural, quer na ciência social. Tal esclarecimento é necessário em vista da ambigüidade do termo modelo e da divertida confusão que prevalece na corrente literatura filosófica e científica entre os vários sentidos da palavra (BUNGE – 1974).

Para nos aproximarmos do significado de modelo em ciências, vamos usar a interessante e engenhosa máquina de engrenagens ou relógio de corda e para ficar mais original esse relógio deve ser construído com ponteiros. Em filosofia da ciência, Rubem Alves sugere uma situação na qual o leitor deve imaginar um relógio, porém não é permitido abri-lo para ver o mecanismo de funcionamento e sua intenção é compreender o funcionamento do relógio.

O observador dispõe dos fatos: o mostrador com os algarismos e os ponteiros que giram regularmente.

É importante notar que esses fatos não explicam nada.

Como não é permitido abrir o relógio, ao observador resta imaginar ou fazer suposições de como seria o interior da máquina. O observador deve construir, mentalmente, coisas que nunca viu ou apoiar-se em coisas que já conhece para explicar aquelas que vê.

A essas construções da imaginação se dá, comumente, o nome de modelos. As questões que os cientistas trabalham são semelhantes ao relógio fechado, pois a ciência opera sobre o invisível ou algo que não pode ser visto. Por isso é comum supor-se que o modelo é verdadeiro. Esse engano decorre da falsa idéia de que o modelo é cópia da realidade. Caso o relógio pudesse ser aberto, estaríamos face a face com o original e não seria mais necessário imaginá-lo como funciona. (ALVES – 2003)

Acreditamos contudo que são necessárias considerações adicionais a respeito do significado de modelos científicos.

8.2.2. Os vários significados de modelos

Os cientistas freqüentemente citam os modelos e, certamente, sabem das várias implicações relativas ao modelo. No entanto, esses modelos dos quais os cientistas falam, não correspondem aos modelos referidos no dia-a-dia daquelas pessoas que não convivem com a ciência.

Pouquíssimas pessoas iriam pensar no Modelo de Bohr se tivessem que pensar em modelos. Exemplos de modelos são grandes navios em miniatura numa vitrine de uma agência de viagens ou um avião em escala reduzida. Esses são casos típicos de modelos em miniatura que pretendem representar a coisa real.

Modelo pode ter o significado de alguma coisa a ser imitada, por exemplo, uma roupa ou um automóvel.

Modelos podem ser feitos em escala maior que o objeto ou coisa que pretendem representar.

Quando construímos modelos em escala, com a finalidade de podermos evidenciar seus mecanismos temos que levar em conta fatos pertinentes que possam evidenciar as propriedades do objeto original e com isso necessariamente ocorrerão distorções relativas às mudanças das dimensões do original. Um pequeno modelo de uma bomba atômica de urânio cuja massa de material radioativo é menor que a massa crítica, não irá explodir; uma mosca feita na forma de um modelo nas dimensões maiores não conseguirá voar se forem mantidas as proporções do original.

8.2.3. Modelo Científico

O modelo, para o cientista, serve como instrumento para a investigação de fatos, a despeito de ser verdadeiro ou não. O modelo é adotado como diretriz de uma investigação, ainda que provisoriamente.

Os modelos em ciência não precisam ser construídos como se fossem objetos, é suficiente descrevê-los. Aqui vale uma observação que requer cuidado; porque somos professores de Química, estamos acostumados a utilizar objetos esféricos de madeira ou outro material, todos coloridos, cujas ligações podem ser simuladas por palitos ou molas flexíveis e nós os chamamos de modelos. Na realidade estes objetos são confecções que concretizam na aparência o modelo teórico descrito, não contém senão as propriedades do que estamos investigando, segundo as teorias que explicam o objeto do nosso estudo. Certamente, quando Bohr construiu seu modelo atômico ele, provavelmente, estava concebendo a existência física do núcleo e do elétron ao redor, desenvolvendo movimentos em órbitas. Na sua imagem não existiam fórmulas, nem era um modelo em escala.

Portanto, o que fizemos foi construir um caminho para concluir que o modelo científico pode ser definido como uma idéia ou um recurso para traduzir os predicados teóricos do que se observa (BLACK – 1966).

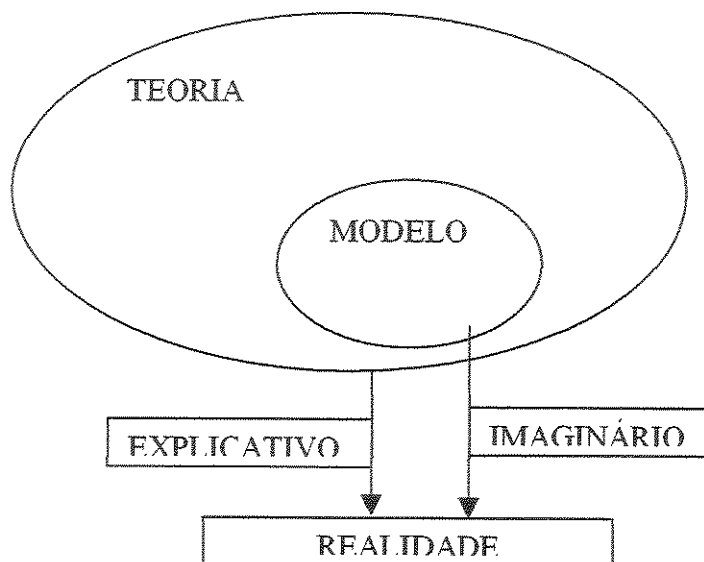
Quando não temos acesso direto aos sistemas reais, como a estrutura da matéria, por exemplo, criamos modelos que supomos serem muito próximos dos sistemas reais como nós os imaginamos, porém esses modelos jamais correspondem a todos os aspectos do sistema real.

Para dizer de forma breve e sucinta, a respeito de modelos e teorias, podemos dizer que as teorias são conjuntos de conceitos que procuram explicar a realidade.

As teorias tratam, nesses casos, dos modelos que por sua vez supõe-se corresponderem à realidade inacessível, invisível.

As relações entre realidade e teoria e realidade e modelo são ilustradas na figura 2. O que é denominado imaginário é aquilo que só tem existência na imaginação ou aquilo que não é real. O explicativo é aquilo que converte o obscuro em inteligível.

Figura 2 - Esquema para teoria e modelo



Fonte: BUNGE – 1976

8.3. Suposições sobre a estrutura dos materiais, uma das obsessões dos antigos filósofos gregos

Uma das mais importantes preocupações da filosofia grega era a criação de um discurso que relacionasse a aparência com a natureza íntima dos objetos. Deveria existir alguma coisa que permaneceria enquanto as aparências estivessem se modificando. Eis o conflito entre o visível e o invisível.

Este trabalho especulativo em torno dos fenômenos e observações proporcionou aos antigos filósofos gregos, propor generalizações cujos valores se estendem até a atualidade.

Thales (640 – 546 a.C.) propôs que a água seria o elemento fundamental e constituinte de todas as substâncias. Anaximander (611 – 545 a.C.) discípulo de Thales, propôs a existência do apeiron formado de calor e frio e que seria o constituinte de todos os materiais. Conforme se poderá perceber, a idéia dos opostos estará presente como uma característica da primitiva ciência dos gregos.

Anaximenes (546 – 528 a.C.), discípulo de Anaximander supôs como matéria prima o ar e desconsiderou o apeiron. Anaximenes supunha o ar como sendo matéria primordial e responsável pelo caos. A medida que forças atuavam sobre o ar, e este condensava-se surgia o mundo visível. Para Anaximenes, a rarefação produz o fogo enquanto que a condensação em diferentes estágios forma a água, a terra e as rochas. Tais processos de rarefação e condensação mantêm-se continuamente em todas as direções. De certa forma, poderíamos supor que estariam presentes as idéias de estados da matéria e suas respectivas transformações.

Anaxágoras (499 – 428 a.C.) é considerado o último filósofo da escola a qual pertenceram Anaximander e Anaximenes. A contribuição de Anaxágoras consiste em supor a existência de um número infinito de pequeníssimas partículas as quais ele chamou de “sementes”. Essas “sementes”, propostas por Anaxágoras, conteriam pequenas porções de tudo que existe no universo visível.

A questão tem prosseguimento quando Empédocles (490 – 435 a.C.), assume a existência de apenas quatro espécies fundamentais constituintes do universo, ao contrário das infinitas sementes de Anaxágoras. As quatro espécies foram designadas por origens ou raízes pelo próprio Empédocles.

Todos os materiais no universo seriam constituídos pela combinação dessas raízes. Evidentemente que esse número de combinações seria limitado o que exigiu de Empédocles, a consideração de que além da variação qualitativa na combinação de dois, três ou quatro elementos, também seria possível variar a quantidade de cada um dos elementos ao constituírem uma substância. Dessa forma, Empédocles contornou a questão, admitindo infinitos objetos e infinitos fenômenos (LEICESTER – 1971).

8.3.1. Platão e os quatro tipos de matéria

As idéias do filósofo Platão (428 – 348 a.C.) e de seu aluno Aristóteles seriam os fundamentos da ciência nos 2000 anos vindouros, chegando portanto ao século XVIII com o mesmo vigor de quando surgiram.

Platão retomou as quatro raízes de Empédocles porém acrescentou formas geométricas a cada raiz. “A Terra deveria assumir a geometria cúbica, estável, que não poderia ser rearranjada em outra forma. Isso confere solidez para a terra. Os outros elementos, conforme o próprio Platão designou, seriam formados por triângulos e esses triângulos poderiam combinar-se gerando novas figuras. O tetraedro representava o fogo pelas características pontiagudas e penetrantes, o octaedro representava o ar e o icosaedro representava a água. Os arranjos entre os triângulos fundamentais poderiam ser alterados de tal modo que os elementos poderiam converter-se em outros. Dessa forma, Platão justificava o processo de condensação e evaporação.

Claro que os elementos de Platão não encontram correspondência nos elementos químicos atuais, conforme nós os conceituamos; no entanto, é inegável que surge com Platão a idéia do “elemento constituinte”. Além do apeiron e das raízes sugeridas por Empédocles, sobretudo isso, também é possível enxergar uma idéia semelhante às combinações atômicas atuais, quando Platão admitiu a ligação entre os triângulos. Acima de tudo, ainda, se percebe a suave imagem da estereoquímica quando o fogo é apresentado pelos pontiagudos tetraedros. A água, representada pelos quase esféricos icosaedros, que deslizavam uns sobre os outros. Seria portanto, inevitável que a suposição sobre interconversões entre as figuras geométricas, ligações entre as figuras e as propriedades dos materiais, fossem sensibilizar tantas gerações de pensadores sobre as ciências da natureza (LEICESTER – 1971).

Entre as várias obras escritas por Platão, destaca-se o “Timeu” que é dedicada ao entendimento da natureza. A figura abaixo retrata um afresco intitulado “A Escola de Atenas” executado por Rafael Sanzio em 1511, no qual estão retratados Platão à esquerda com seu livro, Timeu, em punho, aponta para o céu. Aristóteles à direita, aponta para a Terra e em punho, sustenta seu livro, a Ética.

Figura 3 – A Escola de Atenas em afresco.



Fonte: PLATÃO, tradução de Norberto de Paula Lima, 1981.

8.3.1.1. Platão e o Timeu

Foi no Timeu e Crítias que a história de Atlântida, seja qual foi sua verdadeira origem, primeiro aparece na literatura hoje conhecida. Seriam diálogos reais entre Sócrates, Timeu, Hermócrates e Crítias, na casa deste em Atenas, supostamente por volta de 421 a.C., quando Platão ainda era menino e Sócrates teria então 50 anos. O personagem Crítias é bisavô de Platão, Timeu é o outro personagem, que faz a descrição cosmogônica.

8.3.2. Aristóteles e as qualidades opostas dos elementos

Aristóteles (384 – 323 a.C.), discípulo de Platão, antes de tudo compartilhava com o mestre a idéia a respeito dos quatro elementos, porém o aluno brilhante, também contribuiu com suas teorias na busca de entender a totalidade da natureza em detalhes. Tendo considerado a existência dos quatro elementos, ele assumiu qualidades dos contrários, isto é, frio e quente, seco e úmido. As combinações adequadas dessas propriedades definem um tipo de elemento. O método de Aristóteles admitia a combinação de propriedades de pares diferentes; assim, frio é uma propriedade que pode combinar-se com seco ou úmido porém sempre aos pares. Portanto seria possível estabelecer os seguintes pares de propriedades ou qualidades e o tipo de elemento:

FOGO: quente e seco.

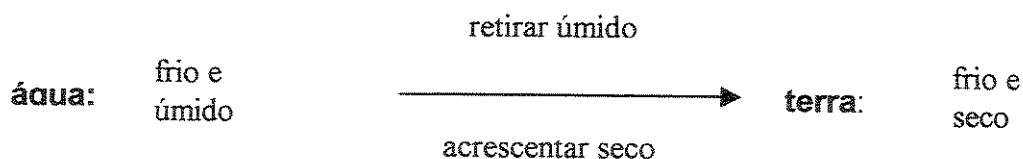
AR: quente e úmido.

TERRA: frio e seco.

ÁGUA: frio e úmido.

As transformações eram explicadas e justificadas pela simples troca de uma qualidade do mesmo par de qualidades. A transformação da água em terra seria alcançada através da troca da qualidade úmido na água pela qualidade seco.

Para ilustrarmos os argumentos de Aristóteles vamos considerar a suposta transformação de água em terra. A água é caracterizada pelas qualidades frio e úmido. A terra por sua vez, tem os caracteres frio e seco. Segundo Aristóteles a troca de uma qualidade pela sua oposta transformaria um elemento em outro. Quando retiramos da água a qualidade úmido e substituímos por seco sem modificar a qualidade frio, a água é transformada em terra.



A respeito das transformações, seria possível explicar as diferenças observadas num mesmo elemento; assim, a relação entre as quantidades de duas propriedades poderia variar; isso quer dizer que o elemento terra, embora constituído de frio e seco, apresentaria várias composições de frio e seco.

Além dos quatro elementos que constituem o universo, Aristóteles sugeriu um quinto elemento que ele mesmo chamou de quinta essência ou éter. Esse quinto elemento possuía a importante qualidade de ocupar os vazios da matéria. O éter era concebido com geometria esférica, em outras palavras, a figura perfeita que comporia os corpos celestes.

Definitivamente, a teoria dos quatro elementos sobreviveria ao longo dos séculos, ainda que pequenas mudanças na mesma acontecessem (LEICESTER – 1971).

8.3.3. Os atomistas gregos

Entre os filósofos citados ao longo do texto, Thales, Anaximander, Anaximenes, Anaxágoras são aqueles que sugeriram a origem de um universo a partir de um único elemento e por isso são considerados monistas. Por outro lado, Empédocles, Platão e Aristóteles são pertencentes à doutrina pluralista, a qual atribui a origem cosmológica, há mais de um elemento gerador.

Por um longo período, os intelectuais da Grécia antiga debateram-se em torno do problema da unidade versus a multiplicidade. Foi nesse ambiente que Leucipo teria apresentado seus trabalhos, unificando monistas e pluralistas em torno da brilhante e coerente teoria atômica.

Segundo a teoria atômica de Leucipo, toda a matéria seria constituída de partículas invisíveis designadas pelo termo átomo. Os átomos seriam sólidos, compactos, indivisíveis, eternos, imutáveis, sem qualquer movimento no interior dos mesmos e exibindo infinitas formas. Em outras palavras, os átomos de Leucipo são homogêneos e maciços. Outro feito notável de Leucipo, foi considerar a existência de espaços vazios entre os vários átomos. Para ele era fundamental

admitir o espaço que separava os átomos, pois assim esses átomos poderiam mover-se ao acaso.

As perguntas se sucedem diante de uma teoria tão inovadora e revolucionária como a teoria atômica. Leucipo teria que explicar como partículas tão uniformes poderiam causar tão grande variedade de aparências no mundo visível.

A justificativa baseava-se nos espaços vazios interatômicos e os movimentos ao acaso dos átomos, pois quando certos materiais estão em contato é possível que o movimento de rotação dos átomos no espaço vazio, conduza através de choques a mudança de um determinado arranjo em favor do outro causando desse modo a grande variedade de aparências no mundo visível.

8.3.3.1. Demócrito - discípulo de Leucipo

Demócrito (460 – 370 a.C.) trouxe sua contribuição como atomista, propondo que os átomos atuam uns sobre os outros, segundo leis da natureza. Dessa maneira, Demócrito afastou os átomos dos mitos e de aspectos religiosos.

Dentre as grandes contribuições de Demócrito destaca-se a sua versatilidade em estabelecer relações entre as várias áreas do conhecimento desde que as mesmas pudessem ser entendidas, direta ou indiretamente, através da teoria atômica (GORMAN – 1960).

Demócrito, como bom discípulo de Leucipo, manteve a mesma base teórica do mestre. Afirmava que tudo que era visto ao redor seria composto de átomos e espaços vazios. Demócrito admitia que os materiais rígidos e densos tinham átomos muito próximos e poucos espaços entre eles. Quando os átomos estão mais afastados, os materiais são macios e maleáveis.

Demócrito aplicou os fundamentos da teoria atômica para explicar o paladar, o olfato, tato, audição e visão. Tudo era manifestação do comportamento dos átomos. O paladar, resultava do contato entre os átomos da substância e os átomos da boca. A visão e o olfato eram sensações relacionadas com os átomos

átomos da boca. A visão e o olfato eram sensações relacionadas com os átomos contidos no ar. O som é o resultado da compressão do ar. O tato era um processo de contato semelhante ao paladar.

8.3.3.2. Epicuro e a escola dos atomistas

Epicuro (341- 270 a.C.) destaca-se entre os atomistas porque, além de rever e expandir as bases da teoria de Leucipo, formalmente, ele sugeriu que os átomos deveriam ser associados aos pesos, que passariam a ser a característica primordial dos átomos; assim os átomos seriam diferenciados por seus pesos distintos. Embora os pesos fossem diferentes, todos os tipos de átomos deveriam mover-se com a mesma velocidade.

O atomismo ganhou força com Epicuro. O sucesso dessa teoria alcançou a era cristã, porém, lentamente, passou a ser estudada apenas por uma minoria de intelectuais e afastou-se da maioria das pessoas. Em 400 d.C. o atomismo estava sepultado, ou melhor latente, até o momento de ser restabelecido.

Na realidade, o atomismo grego ressentiu-se dos primeiros ataques oriundos dos próprios filósofos gregos. Sócrates e Platão mantinham uma certa relação de desprezo com o que hoje chamamos de ciência, mesmo porque o pensamento racional grego, ainda no início, era limitado pelo simples entendimento e explicação a respeito do mundo, sem relações de controle e dele fazer uso. O próprio Platão faz referência às divindades e a atitude criadora ou da criação do mundo. Esse método resultou numa forma passiva de relação com o mundo. Para os filósofos gregos bastaria analisar e catalogar o mundo. Alterar a essência da natureza jamais.

Platão indignava-se diante de qualquer tentativa de aplicar os princípios matemáticos na natureza pois, segundo ele, a pureza e a nobreza da matemática são destruídas ao serem transferidas da esfera incorpórea ao mundo sensorial e material.

Portanto, não é estranho o choque entre Platão e os atomistas que creditavam à teoria atômica, os átomos eternos, indivisíveis, imutáveis, capazes

de movimentos inerentes, formando agregados complexos. Felizmente, Platão (428 – 348a.C.) não conheceu Epicuro (341 – 270 a.C.) e suas teorias dos átomos e respectivos pesos (GORMAN – 1960).

Contudo, o atomismo perdeu diante de tanta persistência dos Socráticos e Platonistas e Aristotélicos e assim os quatro elementos: terra, água, ar e fogo resistiram aproximadamente mais 2000 anos. O Timeu foi lido por professores e alunos até o ano 1250 aproximadamente.

8.4. Os alquimistas

A alquimia ocupa um longo tempo na história das transformações e seus agentes modificadores dos materiais que o homem aprendeu a trabalhar. Por isso é costume dividir essa fase do conhecimento humano em três períodos:

- a) Alquimia Egípcia ou Alexandrina (século I a.C. – século VII)
- b) Alquimia Islâmica (século VIII – século XIV)
- c) Alquimia Medieval Européia (século XII – século XVI)

Seguindo na mesma linha de raciocínio que aplicamos, para entender a contribuição dos filósofos gregos na construção dos princípios da ciência, focalizaremos nossa atenção no desenvolvimento e uso da teoria Platônica dos quatro elementos. Sobretudo, nos meios que essa teoria encontrou para resistir aos séculos enquanto a teoria atômica permanecia adormecida nas noites do tempo.

Na busca de uma origem para a ciência que chamamos química, alguns pesquisadores do tema situam a alquimia como instante inicial. Por sua vez, a alquimia tem suas origens situadas em Alexandria, fundada por Alexandre o Grande quando conquistou o Egito (322a.C.). Alexandria tornou-se a metrópole da época; ali, as antigas práticas egípcias e mesopotâmicas, relativas às transformações, encontraram a filosofia grega Platônica e Aristotélica, relativa à teoria dos quatro elementos. Baseados nisso, puderam concluir que a teoria dos

elementos serviu ou foi utilizada como forma explicativa para transformações realizadas sobre a matéria, praticadas por egípcios e mesopotâmicos.

Muito antes de Alexandria e seu período, os homens conheceram as técnicas de obter metais. Esses senhores, os mineiros e os metalúrgicos eram os responsáveis pelos cuidados operacionais para obter os metais desde os subterrâneos da terra.

Em suma, esses senhores, através das técnicas, ajudavam a natureza a produzir num tempo menor, aquilo que ela produziria, espontaneamente, em um tempo mais longo, segundo o seu conhecimento.

É exatamente essa atitude, ou essa doutrina, que será transferida, dos senhores dos metais para os alquimistas. Se reconhecermos que uma doutrina é um conjunto de conhecimentos, princípios ou crenças que tem valor de verdade para aqueles que a seguem, então os senhores dos metais entendiam que eles colaboravam com a natureza, ajudando-a a modificar as modalidades da matéria num tempo menor (ELIADE – 1979).

8.4.1. Alquimia Alexandrina

Os alquimistas da época denominada alquimia Alexandrina deixaram vários textos relativos à descrição de processos tais como destilação, sublimação, filtração, dissolução, calcinação e refinação. Essas práticas indicam uma certa continuidade entre alquimistas e químicos, pelo menos em relação às condutas experimentais. Além desses detalhes, os textos da época revelam que entre outros aspectos, a obtenção do ouro representava a partida de um metal vil ou doente e fazer a passagem para a cura obtendo um metal puro e perfeito: o ouro. O mesmo acontecia na cura das pessoas; as doenças eram combatidas com elixires, cuja ingestão neutralizaria a matéria em excesso no corpo do doente e que era considerada a causadora da doença. Na purificação dos metais, algo semelhante acontecia com as doenças dos animais, pois supunha-se que todos os metais conhecidos, exceto o ouro, eram metais imperfeitos e a cura ou a perfeição metálica seria transformá-lo em amarelo ou a cor do metal perfeito(MAAR – 1999).

8.4.2. Os alquimistas, os quatro elementos e os árabes

É tradição considerar o período da alquimia Alexandrina entre os séculos I a.C. a III; os alquimistas árabes estão entre os séculos VIII e XIV. Entre os alquimistas desse período, os alquimistas árabes desenvolveram as espadas de Toledo, fabrico de sabão, vidraria, tinturaria e essências perfumadas. A destilação foi uma das técnicas alquímicas aperfeiçoada pelos árabes. Os textos e registros da época descrevem trabalhos de destilação com a obtenção de grande variedade de materiais. As operações de destilação produziam os gases, materiais inflamáveis, líquidos e os sólidos pulverizados no fundo dos recipientes destiladores. Esses produtos encaixavam-se perfeitamente na teoria dos quatro elementos ar, fogo, água e terra, respectivamente.

Repetidas destilações eram o segredo técnico dos resultados para esses senhores operadores alquimistas. O número de destilações ideal era dezessete e com essa quantidade supunha-se obter as propriedades puras dos quatro elementos de Platão (LEICESTER – 1971 e VINCENT - 1992).

8.4.3. A alquimia dos árabes para a Europa

(Pequenas mudanças na teoria dos quatro elementos)

Os conhecimentos alquímicos acumulados pelos árabes são transferidos para a Europa, pela tradução dos registros árabes e trabalhos de enciclopedistas que trabalham com textos de natureza alquímica.

No dia dezessete de dezembro de mil quatrocentos e noventa e três, nasceu Philippus Theophrastus Bombastus Von Hohenheim (1493 – 1541), que autodenominou-se Paracelsus, com referência à sua superioridade em relação a Aulus C. Celsus (42 a.C. - 37) escritor que narrou as artes médicas.

Paracelsus é considerado um iatroquímico, ou aquele que pretende explicar certos mecanismos do organismo humano, baseado nos conhecimentos químicos.

A alquimia de Paracelsus tinha um significado muito mais amplo do que até então era aceito na sua época. Um alquimista era alguém capaz de partir de um

produto natural qualquer e adequá-lo para um novo fim ou uma nova aplicação. Portanto, segundo esse conceito, obter ferro a partir do minério de ferro ou fabricar pão a partir do trigo seriam trabalhos atribuídos a alquimistas. Segundo esse conceito, um maior número de pessoas poderia ser considerada como alquimistas, fato que atribui popularidade maior aos alquimistas e à alquimia.

Paracelsus enquanto médico, desenvolveu remédios segundo os princípios da alquimia. Atualmente considera-se Paracelsus como o precursor dos processos que envolvem tratamento de doenças, baseado no uso de medicamentos.

Os quatro elementos de Platão são absorvidos também por Paracelsus, porém, acrescidos de três essências abstratas que fariam parte da constituição desses quatro elementos: Aquilo que queima contém a essência enxofre; aquilo que vaporiza contém a essência mercúrio e o que é sólido, pulverizado ou não, contém a essência sal. Deve ficar claro que sal, mercúrio e enxofre, na teoria de Paracelsus não correspondem às substâncias ou classes de substâncias conforme nós as conhecemos atualmente. As três essências para Paracelsus comparecem em todos os corpos, isso é, em qualquer estado físico ou de agregação. A tria prima, mercúrio, sal e enxofre entrariam na constituição de todo e qualquer corpo (DEBUS – 2002 e JAFFE – 1976).

8.4.4. A teoria do flogístico

O fogo, os senhores do fogo e a combustão, essa relação de domínio com o fogo data de aproximadamente 1000 a.C. e pelo que vimos, chega no período Paracelsus na forma de uma essência, presente em todos os corpos. Essa essência é o enxofre, que arde e é capaz de queimar. O enxofre é de fato a única essência que pode queimar-se, pois sal e mercúrio são essências ou princípios dos corpos reservados para as propriedades de ser fusível e dos corpos que não se fundem. Esses eram os fundamentos da teoria de Paracelsus, em relação à constituição dos corpos.

Como as teorias são substituídas à medida que o modo de explicar um fenômeno, torna-se mais satisfatório, não seria diferente com os três elementos de Paracelsus. Na realidade, a teoria herdeira dos três elementos, foi concebida pelo jovem alemão Johann Joachim Becher (1635 – 1682), cujos trabalhos são raras vezes abordados nos ensino médio e superior. A teoria de Becher é envolvida por argumentos interessantes, que serviram de suporte para explicações relativas, principalmente, aos processos de combustão dos corpos.

Becher inspirou-se nas idéias de Paracelsus, portanto, guarda os originais do pensamento dos alquimistas e também dos elementos dos gregos, porém traz contribuições elaboradas sobre observações e procedimentos experimentais.

Para iniciar, Becher não encontrava enxofre nos corpos que ele mesmo submetia ao processo de queima, e por isso substitui o termo enxofre de Paracelsus pelo termo componente terra pinguis. Pinguis significava uma classe de terra cuja propriedade essencial era exatamente a capacidade de participar do processo de combustão. Portanto, Becher admitia os três elementos de Paracelsus, porém considerava as terras classificadas em três categorias responsáveis pelas diferenças entre os corpos. É interessante perceber que segundo Becher, as diferenças entre os corpos eram devidas às terras, uma vez que a água possuía qualidades específicas; o ar dificilmente participaria de reações. Assim Becher dividiu ou classificou as terras:

Terra vitrificável; responsável pela solidez dos corpos. Corresponde ao sal de Paracelsus.

Terra mercurial; responsável pelo brilho e corresponde ao mercúrio de Paracelsus.

Terra pinguis; combustível, inflamável e corresponde ao enxofre de Paracelsus. (VINCENT – 1992)

George Ernest Stahl (1660 – 1734), discípulo de Becher, nasceu na Alemanha e seus trabalhos foram concentrados no fenômeno químico da combustão. Curiosamente Stahl aceitava a existência dos átomos porém admitiu simultaneamente os elementos de Becher. Stahl, embora aceitando os elementos de Becher, modificou a classificação das terras e denominou flogístico

(inflamável) a terra pinguis de Becher, o que indicava uma preocupação mais específica de Stahl quando comparado a Becher. Na prática, Stahl estava mais atento à combustão dos metais, ao contrário do que Becher havia feito, isto é, observar de forma geral os corpos sólidos e inflamáveis (VINCENT – 1992).

Enunciado da teoria do flogístico:

“Quando ocorre a combustão, a essência da inflamabilidade (flogístico) é perdida pelo corpo que está submetido à queima.”

Especificamente, no caso dos metais, a combustão libertaria o flogístico e o resíduo sólido, resultante da queima do metal era a calx. Simultaneamente, o flogístico era disperso no ar. Ainda, segundo a teoria de Stahl, a calx poderia se recombinar com o flogístico e recuperar o metal.

Conforme pretendem ser as teorias, elas procuram argumentar que o fenômeno sob observação gera interpretações que podem e devem ser transferidas para outras experiências. Assim, Stahl explicava que as plantas absorveriam o flogístico do ar e os animais poderiam obtê-lo através das plantas. Dessa forma, as substâncias de origem vegetal e animal seriam ricas em flogístico e que por sua vez poderiam reagir com a calx, regenerando o flogístico e o metal. Uma das substâncias de origem vegetal, intensamente utilizada dentro desse princípio era o carvão, considerada a substância mais rica em flogístico (MAAR – 1999 e VINCENT – 1992).

8.4.5. Comparação entre as explicações propostas pelo flogístico e a combustão conforme conhecemos atualmente

Antes de tudo é necessário retomarmos o processo proposto por Stahl relativo ao flogístico, como algo que está presente nos corpos que podem ser queimados.

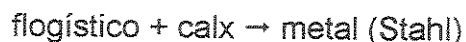
Logo, um metal, conforme preferia Stahl, ao ser queimado, libertaria o flogístico para o ar e simultaneamente seria gerada a calx que resumidamente poderíamos escrever: $\text{metal} \rightarrow \text{flogístico} + \text{calx}$

É possível supor o processo contrário, segundo a mesma teoria, isto é:



A sutileza da teoria do flogístico requer entendermos que o metal é a substância mais complexa e que durante a combustão perde o flogístico e forma a calx, uma substância mais simples, comparada ao metal que lhe deu origem. Atualmente, consideramos o metal exatamente a substância simples ou o elemento e o óxido do metal aquela substância composta.

Conduzindo essas idéias para outros exemplos, podemos considerar a combinação da calx com o flogístico que regenera o metal.



No caso da calx não se combinar com o flogístico quando exposto ao calor, a teoria do flogístico, sugeria que a calx deveria ser tratada com carvão, rico em flogístico, desse modo o flogístico do carvão seria transferido para a calx transformando-a no metal original enquanto que o carvão se transformaria em calx do carvão (cinzas, na teoria do flogístico) (LEICESTER – 1971).

A partir dos trabalhos de Antoine Laurent Lavoisier, um cuidadoso experimentador é que se propôs o fim do flogístico, e por consequência a terra pinguis, a terra e em última análise os quatro elementos de Platão e Aristóteles. Portanto, Lavoisier é responsável pelo amanhecer da teoria da combustão apoiada no oxigênio e no ar, resultado de experiências e medidas cuidadosas e felizes interpretações a respeito dos trabalhos realizados por outros químicos, como Henry Cavendish, Carl Wilhelm Scheele e Joseph Priestley.

O termo ar era usado desde Platão ao referir-se a um dos quatro elementos que constituem o universo. Lentamente, foi substituído pelo termo gás (em grego caos), que designa um estado de matéria desorganizado, ao contrário de cosmo. Os gases ocupam volume de acordo com o espaço que lhes é disponibilizado. Essa diferença sutil na qual o ar é um dos componentes do universo enquanto que o gás podia ser considerado como resultante de transformações químicas,

inaugura o período no qual os diversos componentes do ar atmosférico são identificados e caracterizados e que até então, eram todos incluídos na condição de ar. Essa troca de nomenclatura é atribuída a Jan Baptist Van Helmont (1577 – 1644) cujos trabalhos teriam resultado possivelmente na obtenção do gás carbônico designado na época por gás silvestre. É atribuído a Joseph Black (1728 – 1799), o feito notável de obter gás carbônico, denominado na época de sua descoberta (1754) de ar fixo.

Esse ar fixo, que Joseph Black obtinha, era resultado da decomposição da magnésia alba (carbonato de magnésio) cujo produto sólido é semelhante ao material de origem. Porém, a diferença das massas entre os dois sólidos reagentes e produto, carbonato de magnésio e óxido de magnésio respectivamente, era muito grande. A essa considerável diferença, Black considerou a existência de um gás, diferente do ar atmosférico, no entanto, muito parecido com o gás produzido na queima do carvão. A diferença entre o gás obtido e o ar atmosférico era demonstrada ao serem colocados os dois ares em contato com soluções distintas de cal. O gás de Black tornava a solução de cal (óxido de cálcio) completamente turva enquanto que o borbulhamento do ar atmosférico na solução de cal não causava efeito visível, exceto se o borbulhamento fosse exaustivo, o que resultava na formação de uma pequena e desprezível turvação na solução de cal. Com esses resultados Joseph Black propôs o nome ar fixo ao novo gás (gás carbônico) diferente portanto do ar atmosférico.

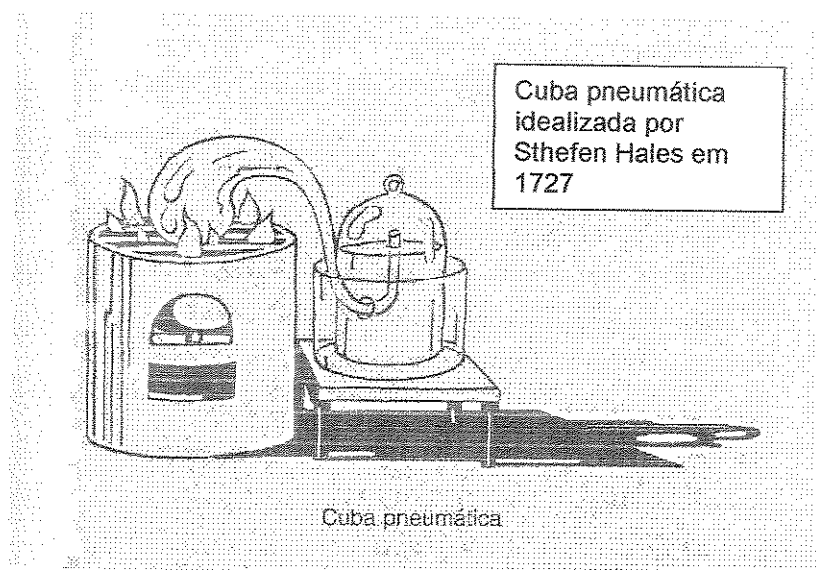
8.4.5.1. O recolhimento dos gases para identificação

Sthefen Hales (1677 – 1761) é aquele que contribui para a química dos gases, propondo um aparelho que facilitava o recolhimento dos gases. Trata-se da cuba pneumática um engenhoso equipamento, que servirá de instrumento de trabalho para Cavendish, Priestley e Lavoisier.

A cuba pneumática, concebida por Hales, é uma cuba cheia de água e sobre a qual se emborca outro recipiente cheio de água no interior da cuba com

água observada no interior do frasco emborcado na cuba é atribuído ao gás produzido na retorta aquecida e portanto este gás está recolhido e isolado sobre a água, pronto para ser identificado.

Figura 4 – Cuba pneumática de Sthefen Hales



Fonte: FILGUEIRAS - 2002

Com o efeito da cuba pneumática sucederam-se as descobertas de diversos gases, graças à possibilidade de serem recolhidos sobre um líquido no interior do aparelho projetado por Hales.

Assim, em 1766 Henry Cavendish (1731 – 1810) descobriu um gás obtido no tratamento de metais (conforme os seguidores do flogístico) e ácidos diluídos como sulfúrico e clorídrico. O gás obtido por Cavendish nas várias experiências era sempre o mesmo e devido ao seu poder de inflamabilidade foi-lhe atribuído, erroneamente, a condição de flogístico. Conforme entendemos atualmente, esse gás é o hidrogênio (FILGUEIRAS – 2002).

8.4.5.2. A descoberta do oxigênio

Por razões pesquisadas e analisadas exaustivamente, a descoberta desse gás, o oxigênio, é atribuída a Carl Wilhelm Scheele (1742 – 1786) por seus trabalhos desenvolvidos em 1771 e a Joseph Priestley (1733 – 1804) cujos trabalhos foram apresentados em 1774.

Scheele havia descoberto que dióxido de manganês aquecido intensamente gerava um gás cujas características eram diferentes do ar fixo (CO_2) e ar inflamável (H_2). Em contato com uma brasa incandescente, esse gás reativa a chama da brasa. Nessa mesma linha Scheele desenvolveu o método de decomposição de carbonato de prata pela ação do aquecimento desse sal através da luz solar que incide sobre lentes. O processo produz a prata, o gás carbônico e oxigênio. Uma vez separado o gás carbônico, restava outro gás, que novamente sob teste, mostrava-se capaz de alimentar a chama de uma vela acesa e mostrava-se um gás que mantinha os animais vivos quando em contato com ele. Esse gás recebeu o nome de ar do fogo.

Priestley obteve o mesmo gás ao aquecer óxido de mercúrio (HgO) sob ação de uma lente exposta à luz solar. Para um seguidor da teoria do flogístico como Priestley, o aquecimento da calx de mercúrio incorporava o flogístico do ar, recuperando o metal e juntamente produzia o ar do fogo. O processo para Priestley seria escrito:

calx de mercúrio + flogístico $\rightarrow$ mercúrio + ar de fogo; cuja interpretação atual é:

óxido de mercúrio II $\rightarrow$ mercúrio + oxigênio

Para Priestley a presença do ar do fogo na combustão poderia ser explicada, naturalmente, segundo a teoria do flogístico.

Quando um material queima no interior de um recipiente fechado, a chama se apaga porque o ar no interior do recipiente está saturado de flogístico que foi liberado pelo material queimado. Esse ar no interior do recipiente fechado era denominado ar flogisticado (corresponde ao nitrogênio).

Quando um material era queimado num ambiente com ar de fogo, recém obtido, então a queima produzia chama mais intensa porque o ar do fogo contém muito menos flogístico que o ar comum e por isso era designado por Priestley com sendo ar desflogisticado (corresponde ao oxigênio) (MAAR – 1999 e FILGUEIRAS – 2002).

8.5. Lavoisier e a reinterpretação do flogístico

Antoine Laurent Lavoisier (1743 – 1794) ou Lavoisier, aos vinte e sete anos de idade, tinha a sua disposição o conhecimento relativo aos gases hidrogênio, oxigênio e gás carbônico. Além disso, dispunha de balanças construídas com respeitável exatidão e precisão. Dispunha ainda de auxiliares técnicos que desenvolviam em vidro e cerâmica, frascos, recipientes e equipamentos a altura dos desafios propostos por Lavoisier. Acima de tudo, eram seus contemporâneos, três dos mais famosos seguidores da teoria do flogístico além de Becher e Stahl. Foram eles, Priestley, Scheele e Cavendish e junto com esses senhores estava viva a teoria dos quatro elementos com as variantes como a terra flogisticada.

Por ser muito extensa a coleção de trabalhos realizados por Lavoisier, tomamos a decisão de citar apenas alguns nos quais estão presentes aspectos qualitativos e quantitativos e que além disso tenham contribuído para a substituição do flogístico, por uma nova teoria, proposta por Lavoisier.

Conforme vimos na teoria dos quatro elementos proposta por Platão e Aristóteles, seria possível transmutar água em terra pela simples mudança das propriedades dos opostos. Essa crença era apoiada por alguns químicos da época de Lavoisier, cuja fonte de inspiração era o fato de que água fervida em frascos de vidro por um longo tempo, produzia um resíduo sólido.

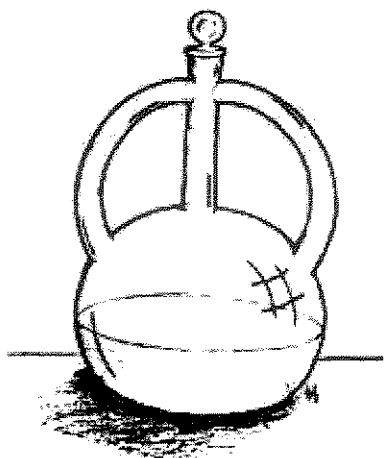
Em 1768, Lavoisier utilizou um frasco pelicano fechado, mostrado na figura 5. No interior do pelicano ferveu água durante 101 dias. A água condensava-se na parte superior do pelicano e retornava pelas paredes do mesmo. Ao longo do tempo da experiência havia surgido um resíduo sólido na água. Lavoisier demonstrou que o resíduo era do próprio vidro do frasco pelicano. Porém, a prova

contundente se devia às medidas executadas por Lavoisier. A massa da água, antes e depois da experiência mantinha-se constante.

O pelicano utilizado na experiência de Lavoisier:

Figura 5 – Frasco pelicano

O frasco pelicano, utilizado por Lavoisier, para demonstrar a impossibilidade de transmutação de água em terra



Embora Aristóteles propusesse que tanto água quanto a terra deveriam ser frias e a diferença entre ambas deveria ser a umidade da água e a secura da terra, aquecer a água não conduziria ao contrário da proposição dos gregos, porém ficou claro que em 101 dias não foi possível transformar água em terra e tampouco o contrário.

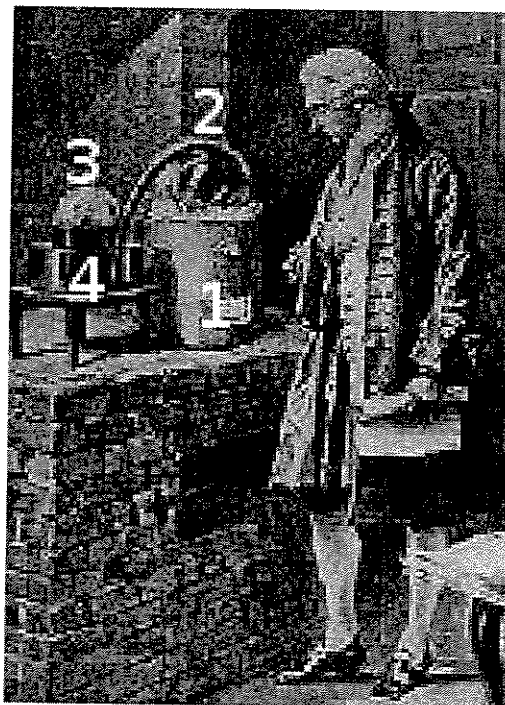
Em 1777 Lavoisier executa outra experiência relativa à composição do ar atmosférico. O trabalho experimental consistia em aquecer mercúrio em presença do ar atmosférico. O aquecimento continuado formaria o mercúrio per se (óxido de mercúrio). Em temperaturas mais elevadas ainda, o óxido de mercúrio (sólido vermelho) decompõe-se em mercúrio e gás oxigênio. Antecipadamente sabemos portanto, o que Lavoisier obteria ao aquecer óxido de mercúrio ou a mistura mercúrio mais oxigênio em temperatura adequada.

Vejamos qual a "armadilha" que Lavoisier lançará para sabermos o que ficará retido nessa rede conforme sugere Rubem Alves.

A descrição a seguir é uma interpretação da experiência de Lavoisier na qual ele descobre a proporção em volume do oxigênio no ar e confirma suas características.

Lavoisier preparou a retorta com volume aproximado de 600cm^3 introduzindo no bulbo aproximadamente 113g de mercúrio. A seguir depositou mercúrio líquido em uma cuba na qual se pode adaptar uma campânula. A retorta foi cuidadosamente adaptada à cuba que continha mercúrio sem que o mercúrio da cuba alcançasse a extremidade aberta da retorta. O próximo passo foi colocar a campânula. A figura 6 representa a montagem utilizada:

Figura 6 - Cuba pneumática e a experiência de Lavoisier



- | |
|--|
| 1 – Forno;
2 – Retorta com mercúrio;
3 – Campânula;
4 – Cuba com mercúrio |
|--|

As medidas disponíveis na experiência de Lavoisier eram:

- ✍ A massa de mercúrio na retorta;
- ✍ O volume de ar na campânula;
- ✍ A temperatura do sistema ao iniciar a experiência;
- ✍ Pressão barométrica.

Durante 12 dias Lavoisier manteve o fogo aquecendo a retorta. Segundo sua própria narrativa, no 2º dia começaram a aparecer pequenas partículas vermelhas na superfície do mercúrio, as quais, durante os quatro ou cinco dias seguintes, aumentaram gradativamente em tamanho e número; depois do que deixaram de aumentar.

Após 12 dias o fogo foi apagado e a temperatura voltou ao valor inicial (segundo Lavoisier 12,5°C). A observação mostra que a coluna de mercúrio subiu no interior da campânula, tendo havido portanto, diminuição do volume de ar acima da superfície do mercúrio no interior da campânula.

Lavoisier não dispunha das fórmulas químicas conforme nós as conhecemos atualmente e tampouco os princípios da estequiometria. Portanto, se ficarmos presos às conclusões de Lavoisier perceberemos que a sua busca era a composição do ar, o que ele realmente conseguiu ao perceber que o volume do ar na campânula tinha se reduzido de 1/6 em relação ao volume de ar original. O volume de ar ou 5/6 do ar primitivo que restou, não mantinha a respiração dos animais; na realidade este ar sufocava os animais. Uma vela mergulhada nesse ar apagava-se como se tivesse sido mergulhada em água. Esse ar havia sido descoberto por Daniel Rutherford em 1772, e denominado ar mefítico (nocivo à saúde). Lavoisier propõe o nome de azoto (que não sustenta a vida) e em 1790 Jean A Chaptal deu-lhe o nome conforme conhecemos: nitrogênio.

A segunda parte da experiência envolve a separação dos grãos vermelhos formados durante o aquecimento do mercúrio em presença do ar. Essa matéria vermelha foi pesada por Lavoisier cujo valor indicava 2,38g. Sob aquecimento em temperaturas superiores àsquelas utilizadas para formar a matéria vermelha, ocorre o processo contrário, isto é, forma-se o mercúrio e o oxigênio. Na campânula, o ar é removido com auxílio de um sifão. Assim, à medida que a matéria vermelha é

decomposta, o ar produzido na decomposição retorna a campânula, comprimindo a coluna de mercúrio. Esse ar que se armazena na campânula foi testado e mostrou que uma vela queima mais intensamente na presença do mesmo. O carvão queima acompanhado de ruído crepitante e capaz de sustentar a respiração dos animais. Esse ar já havia sido descoberto por Scheele que lhe deu o nome de ar empíreo enquanto que Priestley o denominou ar desflogisticado. Lavoisier chamou o mesmo ar de respirável, depois de ar vital e finalmente o chamou de oxigênio.

Estava portanto determinada a composição do ar atmosférico: $\frac{4}{5}$ do ar que respiramos é o azoto e $\frac{1}{5}$ é o ar vital ou o oxigênio. Desse modo, ar desflogisticado e ar flogisticado passaram para a história da química, como uma teoria que durante muitos anos serviu de explicação para o processo de combustão. Com Lavoisier, começamos a conviver com a teoria do oxigênio relativo à combustão (DAVIS – 1962).

8.5.1. Quando a água deixa de ser elemento

Priestley já havia percebido que havia formação de água quando uma faísca elétrica incidia sobre uma mistura de ar inflamável (hidrogênio) e ar desflogisticado (oxigênio). Cavendish verificou a necessidade de dois volumes de ar inflamável para um volume de ar desflogisticado e além disso o próprio Cavendish declarou que o ruído produzido durante a reação de explosão era aproximadamente 50 vezes maior quando comparado com a reação que envolvia ar inflamável e ar atmosférico. A avaliação da intensidade do ruído era produto direto da distância na qual a explosão era ouvida (FILGUEIRAS – 2002).

Lavoisier tomou conhecimento dos trabalhos de Cavendish e imediatamente encomendou aparelhos adequados para as medidas cuidadosas ao realizar a reação entre o ar inflamável e o oxigênio. O líquido resultante na reação foi testado e reconhecido como sendo a água. Assim Lavoisier declarava que a água não era um elemento ela era na verdade o resultado da composição entre ar inflamável e ar vital.

Para finalizar, Lavoisier contando com o apoio de Berthollet (1748 – 1822) planejou a decomposição da água em hidrogênio e oxigênio. O hidrogênio era obtido e pesado quando recolhido numa campânula com água conforme planejava Hales. O oxigênio era perdido noutra fase desse processo, entretanto a massa de água era conhecida e a de hidrogênio também; desse modo Lavoisier sabia que a diferença de massa, poderia ser atribuída ao oxigênio. Lavoisier volta à decomposição do óxido de mercúrio, obtém o oxigênio e mede a massa desse gás necessária para combinar-se com o hidrogênio e recuperar a massa de água que havia sido decomposta.

De acordo com Bernadette Bensande Vincent, historiadora da Química, a experiência de síntese e decomposição da água e todo o conjunto de suas concepções teóricas consumiram mais recursos financeiros, técnicos e humanos que os experimentos relativos aos ares e para finalizar esse período, a autora sugere que esse trabalho foi a "gota de água" que extinguiu a teoria do flogístico (VINCENT – 1992).

Sugestões de leitura:

- Alves, Rubem. Filosofia da Ciência, introdução ao jogo e suas regras. São Paulo; Edição Loyola – 2003.
- Filgueiras, Carlos A. L. Lavoisier e o estabelecimento da Química Moderna. São Paulo: Odysseus, 2002.

9. TRANSPOSIÇÃO DOS CONCEITOS DE TEORIA E MODELO PARA O ENSINO MÉDIO A PARTIR DO VÍDEO “LAVOISIER E A COMPOSIÇÃO DO AR”

9.1. Introdução

Nos textos sobre teoria atômica, quase todos os autores incluem um pequeno histórico a respeito dos trabalhos realizados por Dalton no início do século XIX. Infelizmente, algumas dessas discussões sugerem que o conceito de átomo é produto da ciência moderna.

Isto resulta na perda da oportunidade de mostrar aos alunos que, na verdade, a proposta de Dalton é continuação das idéias dos antigos filósofos gregos, cujas contribuições serviram, e servem, de suporte para a atual ciência.

O presente texto tem por objetivo mostrar que o atomismo, a teoria dos elementos e a teoria da composição do mundo, tiveram suas origens há 2600 anos. A teoria dos quatro elementos: terra, água, ar e fogo, cujos idealizadores mais importantes são Empédocles e Platão e a seguir desenvolvida, com a participação de Aristóteles, estendem-se como suporte, sobretudo para os alquimistas, ao longo de 2000 anos aproximadamente. No final do século XVIII, Lavoisier revelou, experimentalmente, a composição do ar, rompendo assim com as crenças alquimistas e rituais desses senhores do fogo que buscavam a redução do tempo das transformações.

9. 2. Da exposição e apresentação do vídeo

O vídeo "Lavoisier e a Composição do Ar" tem duração de 5 minutos, portanto muito menos extenso quando comparado ao vídeo "Ataque Ácido" cujo tempo de exposição é de aproximadamente 19 minutos. Mesmo assim, o breve vídeo sobre Lavoisier e a composição do ar é riquíssimo, e propício para ser explorado em direção às "Teorias e Modelos relativos à estrutura da matéria", desde os nossos ancestrais gregos, que inspiraram a ciência no ocidente, até os

dias de hoje considerando, cuidadosamente, a contribuição do químico Antoine Laurent Lavoisier (1743 – 1794).

Uma das formas de aproveitar a fita, nas aulas de Química, em trabalhos interdisciplinares, seria a exposição do vídeo pelo menos uma vez. A partir da primeira exposição, podemos enfatizar alguns instantes que consideramos notáveis no sentido de desenvolvermos os conceitos eleitos, junto com nossos alunos.

Os instantes destacados são exatamente aqueles nos quais aparecem, explicitamente, as teorias sobre a constituição da matéria e o processo evolutivo das mesmas até a época de Lavoisier.

Instantes destacados do vídeo:

Tabela 7 – Instantes notáveis do vídeo “Lavoisier e a Composição do Ar”

INSTANTES	CONTEÚDO
00:00:26	Lavoisier teve a feliz idéia de nascer em Paris
00:01:30	O universo: água, terra, ar e fogo
00:01:42	Teoria do Flogístico
00:02:13	A retorta e a experiência dos doze dias
00:03:20	Recombinando os gases para obter o ar atmosférico
00:03:42	A combustão é resultante do ar vital e não do flogístico

Quando se afirma que Lavoisier é um divisor do tempo na Química, isto é, há uma Química, incipiente, antes desse senhor e uma Química a partir dele, se faz necessário esclarecer que não se tratam de frases de efeito, ou de marketing científico, com a intenção de atribuímos valores além dos feitos dos personagens centrais da ciência.

Poderíamos citar numa biografia, que Antoine Laurent Lavoisier nasceu em 26 de agosto de 1743 na cidade de Paris, filho de um membro do parlamento francês e que seu pai lhe ofereceu oportunidade para os estudos. Esta porém não

é a parte mais significativa da biografia de Lavoisier. Falta citar, que coube a esse brilhante químico o trabalho de travar um duelo intelectual contra 2200 anos de crença a respeito da constituição da matéria e, para tal, seria necessário uma forte personalidade, aliada sobretudo, aos argumentos teóricos e empreendimento experimental.

9. 3. Instante 0:00:26 – Lavoisier teve a feliz idéia de nascer em Paris

Essa frase, pronunciada pela narradora do vídeo, pretende chamar a atenção de todos nós para o aspecto incisivo do caráter de Lavoisier, isto é, forte, obstinado, que procurava arquitetar seu próprio destino.

9.4. Modelos e Teorias sobre a estrutura da matéria

Qual o significado de modelos nas seguintes situações?

Documento de veículo: dentre as características consta o "Modelo". Qual o significado deste modelo? Modelo como aparência!

Modelos que participam de desfiles de moda. Modelo como Profissão?

Modelos de roupa. Modelo como formato!

Modelo de comportamento ou conduta. Modelo como referencial ou padrão!

Estas, e outras, representam as situações mais corriqueiras, nas quais o termo modelo é empregado. Em outras palavras, no cotidiano, este é o senso comum para aplicação/entendimento deste termo.

Passando para o mundo científico, ou da busca do entendimento, a utilização do termo modelo também é corriqueira, só que com uma conotação/entendimento totalmente distinto de todos os anteriores. Senão vejamos:

Consideremos uma máquina de refrigerantes.

Algumas pessoas fazem uso dela apenas e tão somente para obter o refrigerante. Vamos considerar que existam algumas pessoas, os curiosos, que

tentam imaginar como esta máquina funciona. O problema é que elas não têm acesso ao interior da máquina. Só lhes resta fazer algumas suposições e tentar, de alguma forma, confirmá-las.

Depois de muita conjectura pode-se sugerir que existe um funcionário no interior da máquina, que conta o dinheiro introduzido e, de acordo com o valor, emite o refrigerante. Em alguns casos, pode ocorrer que, mesmo introduzindo o dinheiro, o refrigerante não é emitido. Neste caso, pode ser que o funcionário tenha adormecido no interior da máquina. Algumas batidas na superfície da mesma podem fazer com que ele acorde e emita o refrigerante. É por isso que, muitas vezes encontramos pessoas batendo nestas máquinas para terem os seus refrigerantes!

Neste contexto, o que representa, isoladamente, a máquina, o refrigerante, ou o funcionário? Nada?

Poderíamos dizer que a máquina representa o nosso sistema em estudo e que a emissão do refrigerante seja uma resposta ao estímulo de introduzir dinheiro na máquina. As demais conjecturas, ou seja, a existência do funcionário, o fato de ele contar o dinheiro, ter sono, dormir, acordar, etc... é apenas fruto de nossa imaginação, um subterfúgio para tentar explicar alguma coisa. Em outras palavras, todo as conjecturas ou este conjunto de argumentos, é referente à nossa maneira de pensar para tentar entender o funcionamento da máquina. E se resolvéssemos chamar todo este conjunto de argumentos, ou esta nossa maneira de pensar de MODELO? Entraríamos em conflito com o senso comum? Cometeríamos alguma incorreção ou engano? Não seríamos entendidos por ninguém? E para aquele conjunto de curiosos que também estavam interessados em interpretar o funcionamento da máquina? E se dentre esse conjunto de curiosos alguém tivesse uma outra interpretação, como procederíamos? E se ao longo do tempo surgisse outra interpretação melhor que a nossa, para o funcionamento da máquina, o que faríamos com a nossa interpretação?

Se tudo isto estiver relacionado ao termo "modelo" o seu entendimento parece ser difícil e ambíguo. Tudo isto justifica uma reflexão e um questionamento

sobre o mesmo, principalmente, porque muito do entendimento da ciência está ancorado no uso de Modelos.

9.4.1. As teorias e os modelos

O exemplo relativo à máquina de refrigerantes, e seu possível mecanismo, ilustra o modo atuante dos cientistas ao criarem os modelos. Na prática, os modelos surgem quando não temos acesso ao interior de um sistema, em outras palavras, estamos diante do invisível. A partir dessa impossibilidade de observação direta, construímos os modelos como sendo a interpretação conceitual mais próxima possível do que supomos ser a realidade invisível.

Conforme se pode perceber, o modelo científico é uma construção puramente conceitual e não requer matérias sólidas para sua elaboração. Além disso, os modelos podem guardar semelhanças com coisas visíveis e acabamos tomando o nosso imaginário pelo modelo. Na verdade modelos são interpretações conceituais a respeito do invisível, indiferentemente da aparência visível e percebida pelos nossos sentidos.

As teorias, por sua vez, são explicações que visam estender ou ampliar os modelos concebidos e que supomos estarem muito próximos da realidade. Contudo, os limites entre um e outro nem sempre são fáceis de serem estabelecidos.

9.4.2. A relação entre o visível e o invisível desde os antigos gregos

A grande preocupação dos filósofos gregos era exatamente estabelecer um diálogo explicativo sobre os interiores dos objetos, não revelados nas aparências. Na verdade, esta busca revela a intenção de relacionar o visível com o invisível.

É essencial então deixar claro que a água, terra, o ar e o fogo eram as classes de coisas percebidas pelas sensações. Porém, conforme vimos no texto, foram feitas várias sugestões sobre o invisível, passando pelo ar, pelo apeiron,

pelas sementes, pelas raízes e pelas figuras geométricas que invisivelmente constituiriam as estruturas íntimas da terra, do ar, da água e do fogo.

Outro fato notável que julgamos interessante para o ensino médio consiste em comparar a idéia das sementes infinitas de Anaxágoras e a visão mais economicista de Empédocles ao propor a explicação das diferenças do mundo visível, creditando tantas possibilidades aos quatro elementos fundamentais ou raízes. Segundo Empédocles é possível obter tantas variações, combinando as quatro raízes, quanto as sementes infinitas. Na prática isso corresponde aos 90 elementos naturais que conhecemos atualmente.

9.5. Instante 0:01:30 – A teoria dos quatro elementos

Essa teoria seja talvez a mais interessante para ser conversada no ensino médio, para ressaltar o quão criativa é a mente humana e como a maneira de pensar foi evoluindo. Inspirado nos quatro elementos de Empédocles e nos triângulos de Pitágoras, Platão encontrou a essência dos poliedros que constituiriam a água, a terra, o ar e o fogo. A proposta de modelo está presente no método de Platão, relativo à estrutura da matéria. A junção desses triângulos seria responsável pela formação dos poliedros de Platão, que constituiriam os quatro elementos. Em função da criatividade dos argumentos de Platão, foi possível explicar as propriedades macroscópicas desses quatro elementos a partir da estrutura geométrica dos poliedros associados aos elementos de Empédocles.

É interessante mostrar que o icosaedro (20 faces) o mais arredondado dos poliedros, representava a água. O dodecaedro (12 faces) era reservado para o ar devido aos vazios vulneráveis oferecidos por suas faces. O fogo deveria ser o tetraedro (4 faces), penetrante e o cubo ficava reservado para a terra. A justaposição dos cubos (6 faces) evita deslizamento de camada sobre camada e portanto, confere solidez.

Desse modo, Platão imaginava e explicava a estrutura do universo invisível. Inegavelmente, uma forma coerente e criativa. Pelo menos coerente com o modo

operante de Platão e também de seu aluno Aristóteles, isto é, a especulação sem qualquer evidência experimental.

Outros filósofos como Leucipo, Demócrito e, principalmente, Epicuro, propuseram também teorias explicativas e modelos representativos para a estrutura da matéria, cuja linha de pensamento consagrou-se na história como atomismo. Para esses três filósofos representantes do atomismo grego, toda matéria seria constituída de átomos, partículas invisíveis e indivisíveis. Por sua vez, os átomos tinham características: eram eternos, possuíam massa, não havia qualquer movimento no interior dos mesmos. Entre esses átomos permaneciam espaços vazios. Esses espaços poderiam ser ocupados por átomos diferentes. Uma vez que essa descrição corresponde a uma tentativa de explicar a estrutura íntima da matéria, certamente esses filósofos gregos estavam elaborando aquilo que definimos como modelo atômico.

Além disso, à medida que este tipo de átomo imaginado e descrito com características, servia para explicar certas propriedades macroscópicas da matéria então, esses filósofos também estavam propondo uma teoria atômica segundo o significado de teoria.

Dentro dessa linha de análise, na qual consideramos modelos e teorias como conceitos cujas construções são tenuamente diferenciadas, é possível consentir o uso indiscriminado de ambos em nome de uma visão pragmática destinada ao ensino médio.

9.6. Instante 0:01:42 – Os alquimistas e os quatro elementos

Este é o momento em que a teoria dos quatro elementos irá anexar-se aos feitos técnicos dos alquimistas. Esses senhores, os alquimistas, herdaram dos ferreiros, técnicas de manejo do fogo e habilidades capazes de provocarem transformações nos materiais. O modo operante dos alquimistas pode ser justificado de forma simples: os alquimistas contribuíam com feitos que a natureza faria por suas próprias forças, tornando assim as transformações mais rápidas. Porém, qual a direção dessas transformações? As modificações aconteciam no

sentido da purificação, da perfeição, assim se justificava a obtenção do ouro a partir de metais considerados menos nobres e, paralelamente, não faltavam receitas de elixires capazes de restaurar vida longa e saúde aos enfermos. Nesse ambiente, rico em técnicas operacionais, como a destilação, a teoria dos quatro elementos foi assimilada com relativa facilidade pelos alquimistas, se comparada ao atomismo. No entanto, essa teoria passou por reinterpretações à medida que avançava no tempo e no espaço desde Alexandria até Alemanha, Inglaterra e França.

9.6.1. Teoria do flogístico

J. J. Becher entre tantas atividades do seu tempo, buscava explicações para o notável fenômeno da combustão e para tanto, propôs a classificação do elemento terra, dos antigos gregos, em três subgrupos:

- Terra vitrificável;
- Terra mercurial;
- Terra pinguis.

A terra pinguis era exatamente a espécie liberada do material queimado.

Stahl, aluno de Becher e inspirado no trabalho do mestre, dirigiu sua atenção à combustão de um certo tipo de material designado por metal. Portanto, a coleção de corpos submetida aos critérios de Stahl era menor do que os materiais observados por Becher. Para Stahl, os metais queimavam, libertando o flogístico, uma espécie não definida, mas que estaria presente nos metais. Durante a combustão surgia a calx e o flogístico contido no metal era libertado para o ar.

Segundo Stahl: $\text{metal} = \text{flogístico} + \text{calx}$

É importante ficar claro que não há correspondência entre a teoria do flogístico e a combustão conforme a conhecemos hoje, com a participação de um combustível e do oxigênio. Segundo a teoria do flogístico, o metal seria uma substância mais complexa do que a calx; o flogístico estaria contido no metal; a

calx deveria ser, portanto, uma substância mais simples que o próprio metal que lhe deu origem.

9.7. Instante 0:02:00 – Lavoisier e a Composição do Ar (Teoria da Combustão)

O ano é 1784, o químico é Lavoisier, um cuidadoso observador, experimentalista que passou para a história como autor da Lei da Conservação da Massa nas reações químicas.

Porém, o maior trabalho de Lavoisier consistiu em atribuir significado ao gás oxigênio nos processos de combustão e na respiração dos animais. Suas experiências permitiam interpretar que a combustão consome o combustível e o oxigênio constituinte do ar atmosférico.

Com essa interpretação, Lavoisier deu início a uma nova teoria da combustão, substituindo a teoria do flogístico. Outras experiências devem ser contadas na trajetória de Lavoisier até o abandono completo da teoria de Stahl que, em última análise, representou também o fim da teoria dos elementos de Platão e Aristóteles.

9.7.1. Três experiências notáveis realizadas por Lavoisier

9.7.1.1. A Experiência dos 101 dias

A experiência dos 101 dias na qual Lavoisier utilizou o frasco pelicano, para manter a água em ebulição e condensando-se, mostrou ao final do centésimo primeiro dia que a transformação de água em terra se mostrava impraticável e impossível. Ao mesmo tempo serviu para mostrar que a massa de água era a mesma no primeiro dia e no último dia, escolhido aleatoriamente. Portanto, a massa da água permaneceu constante no sistema fechado ao longo de todos os dias da experiência.

9.7.1.2. Instante 0:02:13 – Experiência 2: A calcinação do mercúrio metálico

O trabalho de 12 dias de calcinação do mercúrio metálico, transformado em óxido de mercúrio, consome aproximadamente 20% do volume de ar confinado na cuba pneumática. O gás que permanece na cuba mostra-se inadequado para a combustão e nocivo aos animais que o respiram.

A reação contrária, isto é, a decomposição do óxido de mercúrio recupera o oxigênio, um gás essencial para a combustão e se mostra saudável para os animais que o respiram.

9.7.1.3. Instante 0:03:42 – Experiência 3: A combustão é resultante da participação do gás vital e não do flogístico

A mais notável das experiências de Lavoisier, talvez por mostrar a possibilidade de fazer a síntese da água a partir do gás hidrogênio e do gás oxigênio. Desse modo ficava demonstrado que a água não era um elemento, porém uma substância composta.

No que se refere ao ar, outros químicos anteriores a Lavoisier já haviam descoberto alguns de seus gases componentes e portanto ficara demonstrada a não elementaridade do ar.

Portanto, não se pode estranhar que em meio ao reconhecimento dos gases e do estado gasoso e com a grande contribuição sobre a composição da água, a Química pós Lavoisier experimentaria uma nova fase na qual os atomistas, o modelo atômico e a teoria atômica assumem papel central nessa ciência.

Considerações Finais

Quando discutimos teorias e modelos, inevitavelmente incursionamos num tema polêmico, complexo e ao mesmo tempo gratificante; as conclusões nas quais chegamos, parecem oferecer uma ordem nos conceitos de modo bastante

construtivo, sobretudo, para os professores do ensino médio, desenvolverem com seus alunos.

Iniciamos com a questão histórica pretendendo mostrar que a elaboração de teorias e modelos é algo mais antigo que a ciência moderna.

A teoria dos quatro elementos, dos antigos filósofos gregos Platão e Aristóteles (~450 a.C.) perpetuou-se por dois mil e quatrocentos anos. Os atomistas (aproximadamente 450 a.C.) também propuseram sua teoria baseada na existência do átomo; chegaram a propor um verdadeiro modelo atômico cujos átomos indivisíveis possuíam características definidas. A teoria atômica, mais difícil de ser assimilada, caiu no esquecimento porém permaneceu latente, até ser retomada por Pierre Gassendi (1592 – 1655) e revigorada definitivamente, com as idéias de Dalton.

Simultaneamente, a teoria dos quatro elementos serviu de argumento para os alquimistas justificarem seus procedimentos técnicos diante das transformações da matéria.

A última interpretação baseada nesse princípio dos quatro elementos, foi oferecida pelo alemão Stahl ao propor a teoria do flogístico visando explicar a combustão. Esses instantes eram derradeiros, pois Lavoisier proporia a seguir a teoria da combustão, baseado na composição do ar atmosférico.

Pode-se perceber o quanto é importante para os estudantes do ensino médio, entenderem que a elaboração dos conceitos de teoria e modelo são construções de milhares de anos e que ao longo do tempo foram servindo de explicações para essa relação entre o homem e seus diversos ambientes.

10. CONCLUSÃO

A construção dos dois textos relativos aos vídeos “Ataque Ácido” e “Lavoisier e a Composição do Ar”, é estruturada em dois momentos: o primeiro é destinado ao professor e por isso mesmo, os conceitos são abordados com mais profundidade e extensão. A atualização relativa aos saberes específicos da disciplina são da maior importância para o trabalho docente, pois assegura maior autonomia no direcionamento do curso e garante mais possibilidades de escolha de materiais e recursos didáticos.

Consideramos que o formato do texto para o professor é adequado para sua utilização, pois oferece subsídios importantes para ele, não necessariamente disponíveis na literatura mais acessível.

O segundo, é o material endereçado ao aluno do ensino médio. Por essa razão o conteúdo é mais condensado e procura contemplar as informações mais importantes e apropriadas para aquele nível da vida escolar. Embora a linguagem seja adequadamente mais leve, mantivemos os cuidados imprescindíveis no processo de construção de conceitos.

Outro aspecto relevante em relação aos textos desenvolvidos, refere-se ao fato de que os temas sugeridos nos vídeos estão praticamente explicitados. Em “Ataque Ácido”, além das imagens sugestivas em relação ao conceito de ácidos e bases, surgem cenas na tela que são relativas a formação da chuva ácida, seus efeitos sobre o solo e por consequência sobre a vida no planeta. Portanto, o vídeo supera a simples colocação do cotidiano, veiculado pela mídia em geral, e alcança aspectos sociais também.

No sentido oposto, é necessário mencionar que em certos momentos do filme, são cometidas algumas incorreções. No instante “zero dois” do cronômetro do videocassete, aparecem chaminés lançando dióxido de enxofre na atmosfera. As moléculas desse óxido estão representadas por uma única esfera enquanto que segundos depois aparecem moléculas de oxigênio representadas por duas esferas e moléculas de água representadas por três esferas; nitidamente uma incoerência entre a composição do dióxido de enxofre e as outras duas

substâncias. Além disso, sugere-se na mesma cena, que o encontro entre as três moléculas é simultâneo quando da formação do ácido sulfúrico.

No instante “zero quatro” a cena sugere uma reação de neutralização, cujo mecanismo faria desaparecer o produto da reação. Segundos depois, aparece um erlenmeyer cujo conteúdo é um ácido no qual os prótons estão representados por pequenas esferas brancas. São realizadas duas diluições. Em cada um dos três frascos é acrescentado um fragmento de metal. As reações entre os três pedaços de metal com os respectivos ácidos acontecem em intervalos de tempo diferentes. O vídeo oferece a conclusão, na voz da narradora, propondo que o frasco no qual há mais prótons, o ácido é mais reativo; desconsiderando, portanto, o efeito da concentração das amostras ácidas.

No mesmo vídeo, o fato que mais chama a atenção é a experiência realizada no lago 2-2-3, quando cientistas derramam ácido sulfúrico nas águas naturais, para avaliar os efeitos sobre a vida no local decorrente do impacto da chuva ácida. Ainda que a realização da experiência tenha acontecido na década de setenta, certamente em outro cenário, seria injustificável tal feito, sobretudo porque a experiência seguramente poderia ter sido desenvolvida nos interiores de laboratórios, com muito menos prejuízo para aquele ambiente natural.

Conforme já sinalizamos, o acervo do MEC conta com aproximadamente trezentos vídeos que contemplam diversos temas. Tivemos a oportunidade de observar que mesmo entre os filmes indicados para as aulas de Química, surgem dificuldades quanto à utilização em salas de aula do ensino médio. Em alguns filmes o tema distancia-se das construções conceituais em Química, declaradas como interessantes e adequadas para esse ciclo de ensino.

Mesmo reconhecendo que os meios de comunicação, enquanto recursos de apoio, não podem ou não devem ser empregados pelo professor no formato que lhes chega às mãos, admitimos que esse distanciamento torna muito difícil a utilização de alguns vídeos, embora acreditamos que possam ser adaptados.

Pensando assim, queremos reforçar o argumento a respeito do significativo suporte que o conteúdo do texto oferece aos professores e por consequência aos

alunos do ensino médio. Estamos seguros que deste modo os vídeos serão melhor aproveitados.

Pelo exposto, entendemos que os objetivos do trabalho foram alcançados com relação à produção de um material direcionado tanto aos professores quanto aos estudantes do ensino médio, que auxilia no planejamento de aulas ancoradas nos vídeos do programa COMO FAZER? – TV ESCOLA-MEC.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, Rubem. Filosofia da Ciência. São Paulo: Edições Loyola, 2003.
- BAIRD, Colin. Química Ambiental. tradução: Maria Angeles Lobo Recio e Luiz Carlos Marques Carrera. 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 2002 p 463-477.
- BEVERIDGE, William Ian Beardmore. Sementes da descoberta científica. Tradução de S. R. Barreto. São Paulo: T.A. Queiroz, Editora, LTDA, 1981.
- BLACK, Max. Modelos y Metáforas. Madrid: Editorial Tecnos, SA, 1966, pg 207 – 251.
- BROWN, Theodore L.; LEMAY JR, H. Eugene. e BURSTEN, Bruce E. Química ciência central; tradução: Horácio Macedo. 7.ed. Rio de Janeiro: LTC Editora, 1999. p372-395.
- BUNGE, Mário. La Investigacion Científica. 5ª ed. Barcelona: Editorial Ariel, 1976, p. 413 – 472.
- BUNGE, Mário. Teoria e Realidade. São Paulo: Editora Perspectiva LTDA, 1974, p. 11-38; 159-181.
- CHAGAS, Aécio Pereira. Argilas as Essências da Terra, 2.ed. São Paulo: Editora Moderna, 1996, p 4-26.
- CHAGAS, Aécio Pereira. O Ensino de aspectos históricos e filosóficos da Química e as teorias ácido-base do século XX. Química Nova. n.23, p. 126-133, 2000.
- DAVIS, Helen Miles. Os Elementos Químicos . São Paulo: Instituição Brasileira de Difusão Cultural S.A., 1962, p. 126 – 129.
- DEBUS, Allen G. The Chemical Philosophy. New York: Dover Publications, Inc, 2002, p. 51-61.
- DRAGO, Russel S.; MATWIYOFF, Nicholas A. Acids and Bases. Lexington: Raytheon Education Company, 1968
- ELIADE, Mircea. Ferreiros e Alquimistas. Tradução: Roberto Cortes de Lacerda. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1979.
- FILGUEIRAS, Carlos A. L. Lavoisier o Estabelecimento da Química Moderna. São Paulo: Odysseus Editora, 2002.
- GENTIL, Vicente. CORROSÃO, 3 ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. , 1996, p. 200-206.
- GORMAN, MEL. Philosophical Antecedents of the Modern Atom. *J. Chem. Educ.* **1960**. vol 37, n.2, p. 100 – 104.
- HALL, Norris F. Systems of Acids and Bases. *J. Chem. Educ.* **1940**. v.17, n.3, p 124-128.
- HARRIS, Daniel C. Análise Química Quantitativa; tradução: Carlos Alberto da Silva Riehl e Alcides Wagner Serpa Guarino. 5.ed. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2001. p 144-156 e p 319-332.
- HUHEEY, James E. KEITER, Ellen A. & KEITER, Richan L. Acids an bases In . Inorganic chemistry: Principles of structure and reactivity. 4.ed. New York: Harper Collins College Publishers, 1993. p 318-355.

- JAFFE, Bernard. *Crucibles: The History of Chemistry*. New York: Dover Publications, Inc, 1976, p. 13 – 83.
- KOLB, Doris. The pH concept. *J. Chem. Educ.* 1979. v 56, n.1, p 49-53.
- LEICESTER, Henry M. *The Historical Background of Chemistry*. New York: Dover Publications, Inc, 1971.
- LUDER, W.F. Contemporary acid-base theory. *J. Chem. Educ.* **1948**. v.10, n.25, p. 555-558.
- MAAR, Juergen Heinrich. *Pequena História da Química*. Florianópolis: Editora PAPA – LIVRO, 1999.
- MANAHAM, Stanley E. *Environmental Chemistry*, 6 ed. New York: Lewis Publishers, 1994.
- MIERZECKI, R. The historical development of chemical concepts; translated by Andrzej Dimieijko. Varsóvia: PWN, 1990. p. 194-196.
- NAIMAN, Barnet. The Brønsted concept of acids and bases in quantitative analysis. *J. Chem. Educ.* **1948**. v.25, n.8, p. 454-457.
- NEPP, Pesquisa – Implementação da TV Escola no Brasil (1997 – 2001), Núcleo de Estudos de Políticas Públicas, Unicamp. 2002.
- ODUM, Eugene.P. *Fundamentos de Ecologia*, 5 ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1997, p. 55-64.
- PAULING, Linus. *Química geral*; tradução: Rosa Davidson Kuppermann e Aron Kuppermann. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico SA, 1967.
- PCN Ensino médio: Orientações Educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. Brasília: MEC; SEMTEC, 2002.
- PEARSON, RG. *Chemical hardness*. Londres: John Wiley & Sons, 1997.
- PESQUISA, Implementação da TV Escola no Brasil (1997 – 2001), Núcleo de Estudos de Políticas Públicas, Unicamp. 2002.
- PITZER, Kenneth S. Gilbert N. Lewis and the thermodynamics of strong Electrolytes. *J. Chem. Educ.* 1984. v 61, n 2, p. 104-107.
- PLATÃO. *Timeu e Critias ou a Atlântida*. Tradução: Norberto de Paula Lima. São Paulo: Hemus Livraria Editora LTDA, 1981, p. 7 – 13, 124 – 127.
- POPPER, Karl A. *A Lógica da Pesquisa Científica*. Tradução de Octanny Silveira da Mota e Leônidas Hegenberg. São Paulo: Editora Cultrix LTDA, 1972, p. 61 – 79.
- SEBERA, Donald K. *Estrutura Eletrônica e Ligação Química*. Tradução: Caetano Belliboni. São Paulo: Editora Polígono, 1968.
- SHRIVER, D. F.; ATKINS, P. W. *Química Inorgânica*. 3 ed. Tradução: Maria Aparecida Gomes. Porto Alegre: Bookman, 2003.
- SILVERSTEIN, Todd P. Weak us strong acids and bases: the football analogy. *J. Chem. Educ.* **2000**. v.77, n.7, p 849-850.
- SKINNER, Brain J. *Recursos Minerais da Terra*. Tradução: HELMUT BORN E EDUARDO CAMILHER DAMASCENO. São Paulo: Editora Edgard Blücher LTDA, 1996, p. 33-37, 90-93.
- SOUZA, Paulo Nathanael Pereira de; SILVA, Eurides Brito da. *Como entender e aplicar a nova LDB*. São Paulo: Editora Pioneira Thomson Learning, 1997.

- TV NA ESCOLA e os desafios de hoje: Curso de extensão para professores do ensino fundamental e médio da rede pública – UniRede e SEED/MEC/Coordenação de Leda Maria Rangearo Fiorentini – Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2000. v.1
- VINCENT, Bernadette Bensaude; STENGERS, Isabelle. História da Química. Lisboa: Instituto Piaget, 1992. p. 21-134.
- ZATERKA, Luciana. Caderno de História, Filosofia e Ciências, Campinas, série 3, v. 11, n.1, p. 63-80, 2001.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- ABDALLA, Maria C. Bohr o Arquiteto do Átomo. São Paulo: Odysseus Editora, 2002.
- ABRAMOVAY, Mirian. & CASTRO, Mary Garcia. Ensino médio: múltiplas vozes. Brasília: UNESCO, MEC, 2003.
- ALVES, Nilda et al. Criar currículo no cotidiano. São Paulo: Cortez, 2002. v.1(Série cultura, memória e currículo).
- ALYEA, Hubert N. A résumé of the proton transfer concept of acids and bases. *J. Chem. Educ.* v.18, n.5, p 206-209, 1941.
- 2 ANOS da TV ESCOLA – Seminário Internacional – 1998. Secretaria de Educação a Distância. Brasília: Ministério da Educação; SEED, 1999.
- ATKINS, P.W. Physical Chemistry. 6.ed. Oxford: Oxford University Press, 1998.
- BELLONI, Maria Luiza. Educação a distância. 2.ed. Campinas: Editora Autores Associados, 2001.
- BRASIL. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. Parâmetros Curriculares Nacionais: ensino médio/Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. Brasília: MEC; SEMTEC, 2002.
- BREWER, Leo. The generalized Lewis Acid-Base theory: surprising recent developments. *J.Chem.Educ.* v.61, n.2, p 101-104, 1984.
- BRISCOE, H.T. Teaching the new concepts of acids and bases in general chemistry. *J.Chem.Educ.* v.17, n.3, p 128-130, 1940.
- BRZEZINSKI, Iria (org). LDB interpretada: diversos olhares se entrecruzam. 4.ed. São Paulo: Cortez, 2000.
- CHAGAS, Aécio Pereira. Teorias ácido-base do século XX. *Química Nova na Escola*. 1999, n.9, p. 28-30.
- COTTON, F. Albert; WILKINSON, Geoffrey. Química Inorgânica; tradução de Horácio Macedo. Rio de Janeiro: LTC Editora, 1978. p. 169-185.
- DELIZOICOV, Demétrio; ANGOTTI, José André; PERNAMBUCO, Maria Marta. Estudo de ciências: fundamentos e métodos. São Paulo: Cortez, 2003. (Coleção Docência em formação).
- DEMO, Pedro. Questões para a teleducação Petrópolis: Editora Vozes, 1998.

- FERREIRA, V.F. Aprendendo sobre os conceitos de ácido e bases. *Química Nova na Escola*. **1996**, n.4, p. 35-36.
- FRANCO, Marília. A proposta é reduzir o stress. Disponível em: [acesso em janeiro de 2003](#).
- HAMMETT, Lowis P. The theory of acids and bases in analytical chemistry. *J.Chem.Educ.* **1940**, v.17, n.3, p. 131-132.
- HARROW, Benjamin. The meeting of Ostwald, Arrhenius and Van't Hoff. *J. Chem. Educ.* 1930. v.7, n.11, p 2697-2700.
- HEGERNBERG, Leonidas. Definições: termos teóricos e significados. São Paulo: Cultrix, 1974.
- HUDSON, John. The History of Chemistry. 1.ed. Londres: Macmillan Press LTD, 1992. p 218-219.
- HUNT, Herschel; BRISCOE, H.T. Factors determining electrolytic dissociation. *J.Chem. Educ.* , **1929**. v.6, n.10, p. 1716-1725.
- KILPATRICK Jr, Martin; KILPATRICK, Mary L. The teaching of the theory of the dissociation of electrolytes II. The definition of pH. *J. Chem. Educ.* **1932**. v.9, n.6, p 1010-1016.
- KILPATRICK Jr, Martin. The teaching of the theory of the dissociation of electrolytes I. The application of the law of mass action to solutions of eletroctrolytes. *J.Chem. Educ.* **1932**. v.9, n.5, p 840-844.
- LINDAUER, Maurice W. The evolution of the concept of chemical equilibrium from 1775 to 1923. *J. Chem. Educ.* 1962. v.39, n.8, p 384-390.
- LITWIN, Edith. (Org). Educação a distância: temas para o debate de uma nova agenda educativa; tradução: Fátima Murad. Porto Alegre: Artmed Editora, 2001.
- LOPES, Alice Casimiro; MACEDO, Elizabeth (orgs). Currículo: Debates contemporâneos. São Paulo: Cortez, 2002. (Série cultura, memória e currículo. v.2).
- LUND, Walter. The standardization of Ph meters: a comparison of procedures types of instruments. *J. Chem. Educ.* **1979**. v.56, n.2, p 129-130.
- MARITAIN, Jacques. A ordem dos conceitos lógica menor. Tradução: Ilza das Neves. 11.ed. São Paulo: Livraria Agir Editora, 1986.
- MCLELLAN, A.L. ; CAMPBELL, J. Arthur; Seaborg, Glenn T. (Eds). Química uma ciência experimental: guia do professor; tradução de João E. Simão e José I.S. F Seita. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1984, p. 397-410.
- MEDIATAMENTE!: Televisão, cultura e educação. Secretaria de Educação a Distância. Brasília: Ministério da Educação, 1999.
- MOORE, F.J. A history of chemistry. 3.ed. New York: Mac Graw-Hill Book Co, 1939. p. 357-361.
- MOREIRA, Marco Antônio; BUCHWEITZ, Bernardo. Mapas conceituais: instrumentos didáticos de avaliação e de análise de currículo. 1. ed. São Paulo: Editora Moraes LTDA, 1987.
- MORIN, Edgard. Educação e complexidade: os sete saberes e outros ensaios; tradução: Edgard de Assis Carvalho. Maria da Conceição de Almeida e Edgard de Assis Carvalho (Orgs). São Paulo: Cortez, 2002.

- PARTINGTON, JR. A short history of chemistry. 2.ed. Londres: Macmillan and Co, 1951. p 334-336.
- PERRENOUD, Philippe. 10 novas competências para ensinar; tradução: Patrícia Chittoni Ramos. Porto Alegre: Artmed Editora, 2000.
- PERRENOUD, Philippe. Construir as competências desde a escola; tradução: Bruno Charles Magne. Porto Alegre; Artmed Editora, 1999.
- PERSPECTIVAS DA EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA: América Latina, Seminário de Brasília – 1997 / Secretaria de Educação a Distância. Brasília: Ministério da Educação e do Desporto; SEED, 1998.
- PETERSEN, Quentin R. Some Reflections of the Use and the Abuse of Molecular Models. *J. Chem. Educ.* 1970. vol 47, n.1, p. 24 – 29.
- PRIGOGINE, Ilya.; STENGERS, Isabelle. A energia e a era industrial. In PRIGOGINE, Ilya.; STENGERS, Isabelle. A nova aliança; tradução: Miguel Faria e Maria Joaquina Machado Trincheira. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1991. p 83-98.
- QUÍMICA CBA. Sistemas químicos: organizado por Chemical Bond Approach Project. São Paulo: Edart, 1976. 3v.
- RE-VENDO TV: Programa formação do telespectador – uma experiência de educação para a mídia. Coordenação: Maria Luiza Belloni. Brasília: Universidade de Brasília, sd.
- SALTO PARA O FUTURO: TV e informática na educação / Secretaria de Educação a Distância. Brasília: Ministério da Educação e do Desporto; SEED, 1998.
- SALTO PARA O FUTURO: Um olhar sobre a escola. Secretaria de Educação a Distância. Brasília: Ministério da Educação; SEED, 2000.
- SANTOS FILHO, Pedro F. Estrutura atômica e ligação química. Campinas: UNICAMP, 1999.
- SANTOS, L'Aymert Garcia dos. Desregulagens: educação, planejamento e tecnologia como ferramenta social. São Paulo: Editora Brasiliense, 1981.
- SAVIANI, Nereide. Saber escolar, currículo e didática: problemas da unidade conteúdo-método no processo pedagógico. 2.ed. Campinas: Editora Autores Associados, 1998. p 17-36. (Coleção Educação Contemporânea).
- SEABORG, Glenn T. The research style of Gilbert N. Lewis: acids and bases. *J. Chem. Educ.* 1984. v.61, n.2, p 93-100.
- SERVOS, John W. G.N. Lewis: The disciplinary setting. *J. Chem. Educ.* 1984. v.61, n.1, p 5-9.
- SERWAY, Raymond A.; E JEWET JR; John W. Princípios de Física. Tradução André Koch Torres Assis. V-1. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004, p. 383 – 389.
- SHRIVER, D. F.; ATKINS, P. W. Química Inorgânica. Tradução Maria Aparecida B. Gomes. 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 2003, p. 192 – 195.
- SHRIVER, D.F.; ATKINS, P.W.; LANGFORD, C.H. Inorganic chemistry. 2.ed. Oxford: Oxford University Press, 1994. p. 184-220.
- SKOOG, Douglas A.; HOLLER, F. James; NIEMAN, Timothy A. Princípios de Análise Instrumental; Tradução: Ignez Caracelli et al. 5.ed. Porto Alegre: Bookman, 2002. p. 526-548.

- SUMMERLIN, Leer.; EALY JR , James L. Demonstrações de Química; tradução Jorge d'Oliveira e João Silva Martins. 2.ed. Lisboa: Sociedade Portuguesa de Química, 1993. v.1.
- TAYLOR, H. F. W. Cement Chemistry. London: Academic Press Inc, 1990.
- TORRES, Rosa María. Educação e imprensa; tradução: Sandra T. Valenzuela. São Paulo: Cortez, 1996 (Coleção Questões da nossa época – v.55).
- TRAMA DO OLHAR. Ministério da Educação e do Desporto. Brasília: Secretaria de Educação a Distância, 1998.
- TV NA ESCOLA: Avaliação nacional do programa TV Escola / Secretaria de Educação a Distância. Brasília: Ministério da Educação e do Desporto; SEED, 1998.
- VOGEL, Arthur I. Análise Química Quantitativa; tradução: Horácio Macedo. 5.ed. Rio de Janeiro: LTC Editora, 1992. p 25-40, 445-452.