

COLEÇÃO EXPLORANDO O ENSINO

QUÍMICA

5
VOLUME

Presidência da República

Ministério da Educação

Secretaria Executiva

COLEÇÃO EXPLORANDO O ENSINO

VOLUME 5

QUÍMICA

ENSINO MÉDIO

COLEÇÃO EXPLORANDO O ENSINO

- Vol. 1 – Matemática (Publicado em 2004)
- Vol. 2 – Matemática (Publicado em 2004)
- Vol. 3 – Matemática: Ensino Médio (Publicado em 2004)
- Vol. 4 – Química

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Centro de Informação e Biblioteca em Educação CIBEC

Química : ensino médio / organização Eduardo Fleury Mortimer. – Brasília : Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, 2006.
222 p. : il. (Coleção explorando o ensino ; v. 5)

ISBN 85-98171-21-2

1. Ensino de Química. 2. Ensino médio. I. Mortimer, Eduardo Fleury. II. Brasil. Secretaria de Educação Básica.

CDU 542:373.5

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO BÁSICA

QUÍMICA

ENSINO MÉDIO

BRASÍLIA

2006

SECRETARIA DE EDUCAÇÃO BÁSICA – MEC

DEPARTAMENTO DE POLÍTICAS DE ENSINO
MÉDIO – SEB

COORDENAÇÃO-GERAL DE POLÍTICAS
DE ENSINO MÉDIO – SEB

COORDENAÇÃO-GERAL DE ASSISTÊNCIA
AOS SISTEMAS DE ENSINO – SEB

FUNDO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO
DA EDUCAÇÃO - FNDE

DIRETORIA DE PROGRAMAS ESPECIAIS - FNDE

ORGANIZAÇÃO

Eduardo Fleury Mortimer

SELEÇÃO DE TEXTOS

Áttico Chassot

Eduardo Fleury Mortimer

Julio Cezar Foschini Lisboa

Marcelo Giordan

Roberto Ribeiro da Silva

REVISÃO

Romeu Cardozo Rocha Filho

PROJETO GRÁFICO

Carlos André Mores

CAPA

Daniel Tavares (foto: Foco – Formação Continuada de
Professores de Ciências Naturais – Faculdade de
Educação – UFMG)

Tiragem 72 mil exemplares

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO BÁSICA

Esplanada dos Ministérios, bloco L, sala 500 CEP - 70.047-900 Brasília-DF

Tel. (61) 2104 8177/2104 8010

www.mec.gov.br

Sumário

Apresentação

7

Química e Sociedade

Perfumes: uma química inesquecível <i>Sandra M. Dias e Roberto R. da Silva</i>	9
O princípio químico do bafômetro <i>Per Christian Braathen</i>	15
A comunicação química entre insetos <i>J. Tércio B. Ferreira e Paulo H.G. Zarbin</i>	20
Pilhas e baterias: funcionamento e impacto ambiental <i>Nerilso Bocchi, Luiz Carlos Ferracin e Sonia Regina Biaggio</i>	27
Contaminação por mercúrio e o caso da Amazônia <i>Jurandir Rodrigues de Souza e Antonio Carneiro Barbosa</i>	38
A química e a conservação dos dentes <i>Roberto R. da Silva, Geraldo A. Luzes Ferreira e Joice de A. Baptista e Francisco Viana Diniz</i>	45

Relatos de Sala de Aula

Repensando a química: a formação de equipes de professores/pesquisadores como forma eficaz de mudança da sala de aula de química <i>Otavio Aloisio Maldaner e Maria do Carmo Tocci Piedade</i>	53
A contextualização no ensino de cinética química <i>Jozária de Fátima Lemos de Lima, Maria do Socorro Lopes Pina, Rejane Martins Novais Barbosa e Zélia Maria Soares Jófili</i>	61
Cargas elétricas na matéria <i>Eva Teresinha de Oliveira Boff e Marli Dallagnol Frison</i>	68
As aulas de química como espaço de investigação e reflexão <i>Dalva Lúcia Castilho, Katia Pedroso Silveira e Andréa Horta Machado</i>	73
Tirando as argilas do anonimato <i>Rúbia Lúcia Pereira, Deborah Andrade Munhoz, Adalberto Pinheiro Pestana, Luciana Augusta Vieira e Andréa Horta Machado</i>	79
O papel do professor na produção de medicamentos fitoterápicos <i>Petronildo B. da Silva, Lúcia Helena Aguiar e Cleide Farias de Medeiros</i>	84

História da Química

100 anos de Nobel - Jacobus Henricus van't Hoff <i>Aécio Pereira Chagas</i>	91
Pasteur: ciência para ajudar a vida <i>João Augusto de Mello Gouveia-Matos</i>	95
Outro marco zero para a história da ciência latino americana <i>Attico I. Chassot</i>	100
Raios X e radioatividade <i>Attico I. Chassot</i>	105
A eletricidade e a química <i>Maria da Conceição Marinho Oki</i>	110

Destilação: a arte de extrair virtudes <i>Maria Helena Roxo Beltran</i>	116
Conceitos Científicos em Destaque	
Potencial de Redução e eletronegatividade: obstáculo verbal <i>Alice Ribeiro Casimiro Lopes</i>	122
O significado das fórmulas químicas <i>Eduardo Fleury Mortimer</i>	127
Ligação química: abordagem clássica ou quântica <i>Henrique Toma</i>	131
Estrutura molecular: o conceito fundamental da Química <i>José Glauco Tostes</i>	138
Funções da química inorgânica.. funcionam? <i>Reinaldo Calixto de Campos e Reinaldo Carvalho Silva</i>	143
Fotossíntese, um tema para o ensino de ciências? <i>Clarice Sumi Kawasaki e Nélio Bizzo</i>	150
Pesquisa no Ensino de Química	
Importância, sentido e contribuições de pesquisas para o ensino de Química <i>Roseli Pacheco Schmetzler e Rosália Maria Ribeiro Aragão</i>	158
Função social: o que significa ensino de Química para formar o cidadão? <i>Wildson Luiz P. dos Santos e Roseli Pacheco Schmetzler</i>	166
Imagens de ciência em manuais de Química portugueses <i>Carlos Campos e Antonio Cachapuz</i>	176
Construindo conhecimento científico na sala de aula <i>Rosalind Driver, Hilary Asoko, John Leach, Philip Scott e Eduardo Mortimer</i>	186
Modelos de ensino de equilíbrio químico: algumas considerações sobre o que tem sido apresentado em livros didáticos no Ensino Médio <i>Vânia S.O. Milagres e Rosária S. Justi</i>	201
Concepções sobre o papel da linguagem no processo de elaboração conceitual em Química <i>Andréa Horta Machado e André Luiz Alves Moura</i>	210
Elemento Químico	
<i>Eduardo M.A. Peixoto</i>	
Hidrogênio e Hélio	215
Carbono	216
Nitrogênio	217
Oxigênio	219
Alumino	220
Silício	221

Apresentação

A Secretaria de Educação Básica do Ministério da Educação apresenta aos professores do Ensino Médio os volumes 4 e 5 de Química da Coleção *Explorando o Ensino*. Essa Coleção tem o objetivo de apoiar o trabalho do professor em sala de aula, oferecendo um rico material didático-pedagógico, referente às disciplinas Matemática, Biologia, Química e Física.

A Química é uma forma de pensar e falar sobre o mundo, que pode ajudar o cidadão a participar da sociedade industrializada e globalizada, na qual a ciência e a tecnologia desempenham um papel cada vez mais importante. O ensino da Química na escola média brasileira está mudando para atender a essa finalidade, e muitas dessas mudanças estão expressas nos Parâmetros Curriculares Nacionais para a área de Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias.

Poderíamos dizer que as referidas mudanças organizam-se em torno de três exigências básicas: 1) conceber o estudante como o centro do processo de ensino-aprendizagem. Os alunos são ativos, constroem seu conhecimento por meio de um diálogo entre as novas formas de conhecer que lhes são apresentadas na escola e aquilo que eles já sabiam de sua vivência cultural mais ampla; 2) propor um ensino que prepare o cidadão para participar do debate e da tomada de decisões na sociedade sobre problemas ambientais, sociais, políticos e econômicos que envolvam a ciência e a tecnologia. O aluno deve ser capaz de ler e interpretar textos e informações científicas divulgadas pela mídia e de usar o conhecimento científico na sua vida diária; 3) propor um ensino em que o aluno aprenda não só os conceitos científicos, mas também como funciona a ciência e como os cientistas procedem para investigar, produzir e divulgar conhecimentos. A história da ciência desempenha papel importante para ajudar o aluno a entender a natureza do conhecimento científico, ao mostrar que a atividade científica faz parte da atividade humana.

Essas mudanças implicam uma série de novas demandas sobre o que e como ensinar. Os volumes 4 e 5 da Coleção *Explorando o Ensino* foram organizados de modo a disponibilizar aos professores de Química um conjunto de textos de qualidade que lhes ajudará a aprofundar as mudanças propostas. Os textos são uma seleção dos artigos que saíram nos 14 primeiros números da revista *Química Nova na Escola*, publicação semestral da Divisão de Ensino da Sociedade Brasileira de Química, que se propõe a subsidiar o trabalho, a formação e a atualização dos professores de Química do Ensino Médio e Fundamental.

As publicações, a exemplo do que ocorre com *Química Nova na Escola*, estruturam-se em seções, de modo a contemplar a diversidade de interesses dos professores. Essas seções, descritas brevemente a seguir, abordam temas atuais no desenvolvimento da Química e de seu ensino, e incluem as relações entre a ciência, a sociedade e a história, os relatos de experiências, de resultados

de pesquisa e de experimentos didáticos, a discussão de conceitos químicos fundamentais e as dificuldades envolvidas na sua aprendizagem.

Em algumas seções, o professor encontrará artigos que podem ser usados diretamente com seus alunos em sala de aula. É o caso dos artigos publicados nas seções *Elemento Químico*, *Experimentação no Ensino de Química*, *Química e Sociedade* e muitos dos artigos publicados nas seções *História da Química* e *Relatos de Sala de Aula*. Em outras seções, como *Atualidades em Química*, *Aluno em Foco*, *Espaço Aberto*, *Pesquisa em Ensino de Química*, *Conceitos Científicos em Destaque*, o professor encontrará material para preparar suas aulas e para refletir sobre sua prática pedagógica. A seguir, detalhamos um pouco mais o conteúdo das seções que compõem o volume cinco:

Química e Sociedade

Nessa seção o leitor encontrará artigos que tratam de aspectos importantes da interface da química com a sociedade, e que procuram analisar as maneiras como o conhecimento químico pode ser usado na solução de problemas sociais e ambientais, visando a uma educação para a cidadania.

Relatos de Sala de Aula

Divulga experiências inovadoras de professores de química, com o propósito de socializá-las, propiciando a reflexão.

História da Química

Essa seção contempla a história da química como parte da história da ciência, buscando ressaltar como o conhecimento científico é construído.

Conceitos Científicos em Destaque

Nessa seção estão publicados artigos que discutem conceitos básicos da química, procurando evidenciar sua relação com a estrutura conceitual da ciência e seu desenvolvimento histórico e discutir as principais dificuldades e alternativas para o ensino.

Pesquisa no Ensino de Química

Nessa seção estão publicadas investigações sobre problemas no ensino de Química que explicitam os fundamentos teóricos e procedimentos metodológicos adotados na pesquisa, e analisam criticamente seus resultados.

Elemento Químico

Divulga informações científicas e tecnológicas sobre as diferentes formas de manifestação dos elementos químicos na natureza e sua importância na história da Humanidade, comentando sua importância no contexto de nosso país.

Esperamos, assim, suscitar debates e reflexões sobre o ensino e a aprendizagem de Química e, dessa forma, contribuir para a tarefa fundamental de formar cidadãos informados e preparados para lidar com o conhecimento e suas implicações.

A Secretaria de Educação Básica agradece a Sociedade Brasileira de Química pela significativa participação na elaboração desta obra. Com esse projeto, o Ministério da Educação reforça o empenho de tornar cada vez mais real e possível o ensino de qualidade no país.

Perfumes

UMA QUÍMICA INESQUECÍVEL

Os perfumes têm sido parte da vida civilizada há vários séculos, tanto para os homens como para as mulheres. Todos nós temos preferências por determinados aromas, os quais podem nos mudar o humor ou suscitar emoções. Provavelmente o mais primitivo dos nossos sentidos, o olfato tem a capacidade de nos recordar experiências passadas. As mensagens olfativas são enviadas para áreas do cérebro associadas à emoção, à criatividade e à memória.

*Mas, afinal de contas, o que é um perfume?
O que ele contém?*

A fragrância de um perfume é um complexo sistema de substâncias originalmente extraídas de algumas plantas tropicais ou de alguns animais selvagens. Recentemente, o perigo de extinção de certas espécies vegetais e animais e a busca de novas essências, inclusive de menor custo, conduziu a química dos perfumes aos laboratórios, onde são criados os produtos sintéticos que têm substituído paulatinamente os aromas naturais.

Um outro aspecto curioso é que as fragrâncias que encontramos em detergentes, amaciantes e produtos de limpeza são, com frequência, as mesmas usadas na fabricação de perfumes. Do ponto de vista da química, o que realmente caracteriza uma fragrância? A resposta a essa pergunta nos conduz a uma curiosa viagem pelo mundo das moléculas voláteis.

Um pouco de história

Os primeiros perfumes surgiram, provavelmente associados a atos religiosos, há mais ou menos 800 mil anos, quando o homem descobriu o fogo. Os deuses eram homenageados com a oferenda de fumaça proveniente da queima de madeira e de folhas secas. Essa prática foi posteriormente incorporada pelos sacerdotes dos mais diversos cultos, que utilizavam folhas, madeira e materiais

Sandra Martins Dias

Bacharelada em Química na Universidade de Brasília, Brasília - DF

Roberto Ribeiro da Silva

Departamento de Química da Universidade de Brasília, Brasília - DF

Atenção!

Antes de continuar a leitura, use duas gotas de seu perfume preferido. Talvez isso torne a leitura mais agradável.

A seção "Química e sociedade" apresenta artigos que focalizam diferentes inter-relações entre ciência e sociedade, procurando analisar o potencial e as limitações da ciência na tentativa de compreender e solucionar problemas sociais. Neste número a seção apresenta dois artigos.

Este texto apresenta uma discussão sobre a química dos perfumes. Os aromas têm sido utilizados pela humanidade desde seus primórdios, e esta prática chegou a levar certas espécies vegetais e animais, fontes originais daquilo que hoje chamamos de essências, à beira da extinção. A química dos perfumes é uma atividade econômica crescente e importante fonte de renda para muitos países.

aromas, óleos essenciais, perfumes

Este artigo foi publicado originalmente na revista *Química Nova na Escola* n. 4, 1996.

de origem animal como incenso, na crença de que a fumaça com cheiro adocicado levaria suas preces para os deuses. Daí o termo 'perfume' originar-se das palavras latinas *per* (que significa origem de) e *fumare* (fumaça).

O passo seguinte na evolução do emprego dos aromas foi sua apropriação pelas pessoas, para o uso particular, algo que provavelmente aconteceu entre os egípcios.

Um avanço posterior foi a descoberta de que certas flores e outros materiais vegetais e animais, quando imersos em gordura ou óleo, deixavam nestes uma parte de seu princípio odorífero. Assim eram fabricados os unguentos e os perfumes mencionados na Bíblia.

A arte de extração de perfumes foi bastante aprimorada pelos árabes há cerca de mil anos. Eles faziam essas extrações a partir de flores maceradas, geralmente em água, obtendo 'água de rosas' e 'água de violetas', dentre outras.

Com o advento do cristianismo, o uso dos perfumes como aditivo ao corpo foi banido, uma vez que estava associado a rituais pagãos. Os árabes, no entanto, cuja religião não impunha as mesmas restrições, foram os responsáveis pela perpetuação de seu uso. O ressurgimento da perfumaria no Ocidente deveu-se aos mercadores que viajavam às Índias em busca de especiarias. Uma outra contribuição significativa foi a das Cruzadas: retornando à Europa, os cruzados trouxeram toda a arte e a habilidade da perfumaria oriental, além de informações relacionadas às fontes de gomas, óleos e substâncias odoríferas exóticas como jasmim, ilangue-ilangue, almíscar e sândalo. Já no final do século XIII, Paris tornara-se a capital mundial do perfume. Até hoje, muitos dos melhores perfumes provêm da França. Já as águas de colônia clássicas têm menos de 200 anos, sendo originárias da cidade de Colônia, na Alemanha.

Componentes básicos de um perfume

Um perfume é, por definição, um material — porção de matéria com mais de uma substância. A análise química dos perfumes mostra que eles são uma complexa mistura de compostos orgânicos denominada *fragrância* (odores básicos). Inicialmente, as fragrâncias eram classificadas de acordo

Um perfume é, por definição, um material — porção de matéria com mais de uma substância. A análise química dos perfumes mostra que eles são uma complexa mistura de compostos orgânicos denominada *fragrância* (odores básicos). Inicialmente, as fragrâncias eram classificadas de acordo com sua origem

com sua origem. Por exemplo: a *fragrância floral* consistia no óleo obtido de flores tais como a rosa, jasmim, lilás etc. A *fragrância verde* era constituída de óleos extraídos de árvores e arbustos, como o eucalipto, o pinho, o citrus, a alfazema, a cânfora etc. A *fragrância animal* consistia em óleos obtidos a partir do veado almiscareiro (almíscar), do gato de algália (algália), do castor (castóreo) etc. A *fragrância amadeirada* continha extratos de raízes, de cascas de árvores e de troncos, como por exemplo, do cedro e do sândalo.

O sistema moderno de classificação das fragrâncias engloba um total de 14 grupos, organizados segundo a volatilidade de seus componentes: cítrica (limão), lavanda, ervas (hortelã), aldeídica, verde (jacinto), frutas (pêssego), florais (jasmim), especiarias (cravo), madeira (sândalo), couro (resina de vidoeiro), animal (algália), almíscar, âmbar (incenso) e baunilha. A Fig. 1 classifica essas fragrâncias segundo sua volatilidade.

Os perfumes têm em sua composição uma combinação de fragrâncias distribuídas segundo o que os perfumistas denominam de *notas de um perfume*. Assim, um bom perfume possui três notas:

Nota superior (ou cabeça do perfume): é a parte mais volátil do perfume e a que detectamos primeiro, geralmente nos primeiros 15 minutos de evaporação.

Nota do meio (ou coração do perfume): é a parte intermediária do perfume, e leva um tempo maior para ser percebida, de três a quatro horas.

Nota de fundo (ou base do perfume): é a parte menos volátil, geralmente leva de quatro a cinco horas para ser percebida. É também denominada 'fixador' do perfume. A esta fragrância estão associadas, segundo os perfumistas, as emoções fortes e a sugestão de experiências como encontros sexuais e mensagens eróticas. A Fig. 1 ilustra a participação das diversas fragrâncias nas notas de um perfume.

Composição química das fragrâncias

As fragrâncias características dos perfumes foram obtidas durante muito tempo exclusivamente a partir de óleos essenciais extraídos de flores, plantas, raízes e de alguns animais selvagens. Esses óleos receberam o nome de óleos essenciais porque continham a essência, ou seja, aquilo que confere à planta seu odor característico. Embora os óleos essenciais sejam ainda hoje obtidos a partir dessas fontes naturais, têm sido substituídos cada vez mais por compostos sintéticos, como veremos mais adiante.

Os químicos já identificaram cerca de três mil óleos essenciais, sendo que cerca de 150 são importantes como ingredientes de perfumes. Para que possam ser usados com esse fim, os óleos essenciais devem ser separados do resto da planta. As técnicas usadas para isso baseiam-se em suas diferenças de solubilidade, volatilidade e temperatura de ebulição. A extração por solventes, por exemplo, utiliza o solvente éter de petróleo (uma mistura de hidrocarbonetos) para extrair óleos essenciais de flores. Já o óleo de eucalipto pode ser separado das folhas passando através delas uma corrente de vapor de água (destilação por arraste de vapor).

Uma vez obtido um óleo essencial, a análise química permite identificar quantos e quais componentes estão presentes. Antes do advento das técnicas modernas de análise de óleos essenciais (cromatografia a gás, espectrometria de massa, ressonância magnética nuclear, espectroscopia de infravermelho etc.), os químicos identificavam quase exclusivamente o componente principal de um óleo essencial. Hoje, é possível identificar todos os componentes de um óleo, mesmo aqueles que

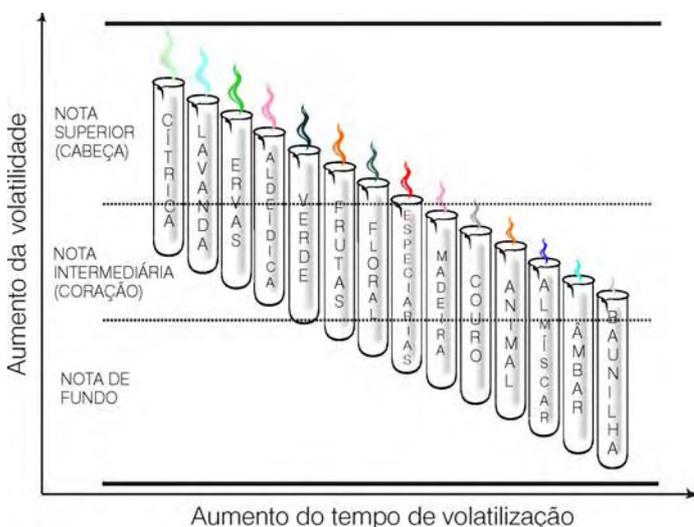
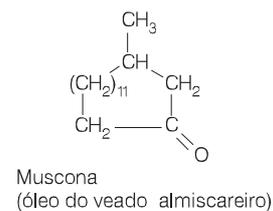
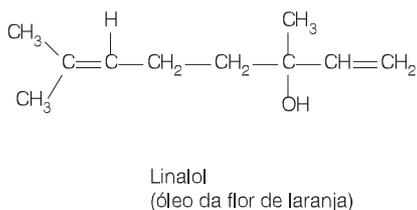
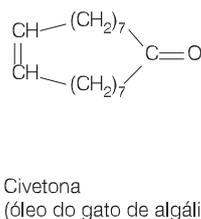
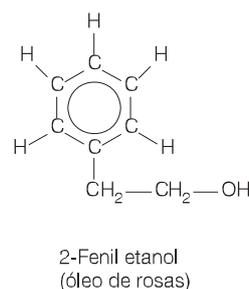
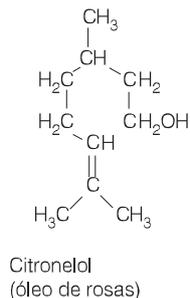
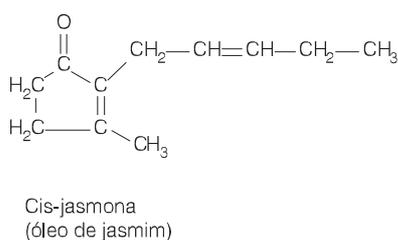
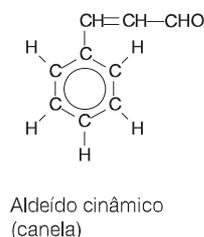
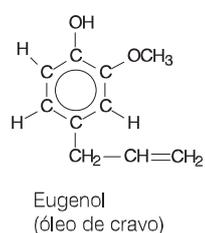
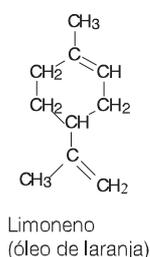


Figura 1 – Escala de notas de um perfume e a participação de diferentes fragrâncias nessas notas.

estão presentes em quantidades mínimas. Alguns óleos essenciais chegam a ter mais de 30 componentes. O Quadro 1 apresenta as fórmulas dos principais componentes de alguns óleos essenciais.

Uma vez identificados os componentes de um óleo essencial, os químicos podem fabricá-los sinteticamente e torná-los mais baratos. Uma outra possibilidade é a síntese de novos compostos com aroma similar ao produto natural, porém com estruturas totalmente diferentes. A grande maioria das fragrâncias usadas hoje em dia é fabricada em laboratório. Os produtos sintéticos são usados para aromatizar produtos de limpeza (sabões, de-



Quadro 1 – Principais componentes de alguns óleos essenciais.

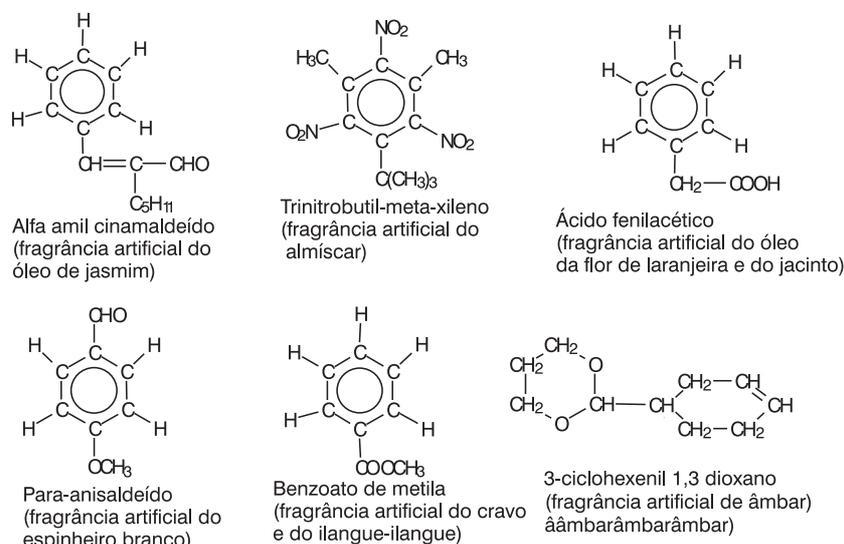
tergêntes, amaciantes de roupas) e produtos de higiene pessoal (talcos, desodorantes), e para criar ilusões, como deixar o plástico dos assentos de automóveis com cheiro de couro.

O Quadro 2 apresenta as estruturas de alguns compostos sintéticos usados em perfumaria.

Os produtos sintéticos talvez nunca substituam completamente os naturais. Os perfumes mais caros usam os produtos sintéticos apenas para acentuar o aroma dos óleos naturais. Para alguns óleos, como o patchouli e o de sândalo, os químicos ainda não encontraram substitutos satisfatórios. Uma grande contribuição da química sintética tem sido, sem sombra de dúvida, a possibilidade de preservação de certas espécies animais e vegetais que corriam o risco de extinção devido à procura desenfreada de óleos essenciais. Uma outra contribuição é o barateamento dos perfumes, permitindo seu uso por uma fatia mais ampla da população.

Existe uma diferença muito grande no preço dos produtos de perfumaria, dependendo se são classificados como 'perfume', 'água de colônia' ou 'loção pós-barba'. Essas diferentes classificações refletem, na realidade, a composição da mistura que você está comprando. Os perfumes contêm misturas de fragrâncias dissolvidas em um solvente, geralmente o etanol. O etanol, por sua vez, contém sempre uma pequena quantidade de água. A Tabela 1 ilustra as diferentes composições para produtos de perfumaria. Quanto maior a porcentagem das essências nas fragrâncias, maior o preço do produto.

Além da essência e do solvente, os fabricantes adicionam à mistura substâncias denominadas



Quadro 2 – Alguns compostos sintéticos utilizados como fragrâncias artificiais.

de fixadores que têm a função de retardar a evaporação da essência, e conseqüentemente, prolongar os efeitos do perfume. É comum também adicionar um outro álcool, o propileno glicol, para aumentar a solubilidade da essência no solvente.

Finalmente, cabe salientar que para algumas pessoas os perfumes não trazem sensações agradáveis: são aquelas que têm algum tipo de alergia aos ingredientes usados na formulação. Essências tais como a de anís, bergamota, canela, citronela, cravo, gerânio, hortelã, safrol, sassafrás etc. podem originar dermatites (inflamação da pele), manchas cutâneas e febre dos fenos.

Curiosidades sobre perfumes

- A paixão pelos perfumes alcançou seu auge nas cortes francesas do século XVIII, quando Luís XV decretou que para cada dia da semana deveria haver uma fragrância diferente na corte. Madame Pompadour (1721-1764) teria gasto o equivalente a R\$250 000,00 em perfumes.
- Arqueólogos que abriram o túmulo do faraó Tutankhamon em 1922 encontraram vasos com um óleo perfumado conhecido como Kiphi. Após 3 300 anos, traços do aroma ainda puderam ser detectados.

Tabela 1 – Composição média de misturas usadas em produtos de perfumaria.

	Fração em volume da essência (mL da essência/ L da mistura)	Composição do solvente (etanol:água)/mL:mL
Perfume	15% (150 mL/L)	950 : 50
Loção perfumada	8% (80 mL/L)	900 : 100
Água de toalete	4% (40 mL/L)	800 : 200
Água de colônia	3% (30 mL/L)	700 : 300
Deocolônia	1% (10 mL/L)	700 : 300

- O ano de 1900 representou o auge no comércio do óleo de almíscar (musk), quando cerca de 1 400 kg do óleo foram coletados, causando a morte de 50 mil animais.
- Atualmente, o comércio mundial do óleo de almíscar natural é limitado a 300 kg por ano, o que ainda representa a morte para alguns milhares de veados almiscareiros.
- O óleo de jasmim natural custa cerca de R\$5 000,00 por quilograma. A mesma quantidade da fragrância artificial chega a custar R\$5,00.
- São necessárias cinco toneladas de rosas para se obter um quilograma de óleo essencial.
- É famosa a carta que Napoleão escreveu a Josefina dois meses antes de retornar: “Pare de tomar banho! Estou voltando!”
- O profeta e fundador do islamismo, Maomé, acreditava no poder dos perfumes e, segundo dizem, teria afirmado certa vez: “Três coisas são importantes para mim na Terra: mulheres, perfumes e orações.” Numa outra ocasião, teria dito: “O perfume é o alimento que nutre meus pensamentos.”
- Um quilograma de óleo essencial de jasmim requer para ser obtido cerca de oito milhões de flores.

Vamos fazer um perfume?

Um bom perfume pode ser preparado utilizando-se as seguintes proporções: álcool, 76 mL; essência, 10 mL; fixador, 2 mL; propileno glicol, 2 mL, e água destilada, 10 mL. As essências podem ser adquiridas comercialmente. Exemplos de custo de algumas essências (porções de 100 mL): jasmim, R\$6,50; absinto, R\$9,00; alfazema, R\$5,40; almíscar, R\$8,60; patchouly, R\$11,00; âmbar, R\$7,80).

Para saber mais

SHEREVE, R.N., BRINK JR., J.A. *Indústria de processos químicos*. Tradução por Horácio Macedo. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1980.

TRINDADE, Diamantino Fernandes, DEUS, Cláudio. *Como fazer perfumes*. 6. ed. São Paulo: Ícone, 1988.

MAHAJAN, Jaswant Rai. Química de almíscars naturais e artificiais. *Química Nova*, v. 5, n. 4, p.118-123, out. 1982.

SÜSKIND, Patrick. *O perfume: história de um assassino*. Tradução por Flávio R. Kothe. Rio de Janeiro: Record, 1995.

CORBIN, Alain. *Saberes e odores: o olfato e o imaginário social nos séculos dezoito e dezenove*. São Paulo: Companhia das Letras, 1987.

EMSLEY, John. *The consumers good chemical guide: a jargon-free guide to the chemicals of everyday life*. Londres: W. H. Freeman, 1994. Este livro contém nove capítulos versando sobre os seguintes assuntos: perfumes; adoçantes; álcool; colesterol, gorduras e fibras; analgésicos; PVC; dioxinas; nitratos; dióxido de carbono. Trata-se de uma excelente obra de divulgação científica, acessível às pessoas que cursaram o Ensino Médio.

HÁLITO CULPADO



O PRINCÍPIO QUÍMICO do BAFÔMETRO

Iniciativas do poder público para prevenir o uso de bebidas alcoólicas por motoristas - causa de muitos acidentes nas estradas do país - trouxeram à ordem do dia, não sem suscitar polêmica, o instrumento popularmente conhecido como 'bafômetro'. Esse instrumento de medição não vinha sendo muito utilizado, apesar de sua praticidade e eficiência.

A ingestão de álcool e suas conseqüências

Quando uma pessoa ingere bebidas alcoólicas, o álcool passa rapidamente para a corrente sangüínea, pela qual é levado para todas as partes do corpo. Esse processo de passagem do álcool do estômago/intestino para o sangue leva aproximadamente 20 a 30 minutos, dependendo de uma série de fatores, como peso corporal, capacidade de absorção do sistema digestivo e gradação alcoólica da bebida. A conseqüência é a intoxicação, que varia de uma leve euforia (a pessoa fica alegre) até estados mais adiantados de estupor alcoólico. Como resultado, a capacidade da pessoa para conduzir veículos é altamente comprometida, tendo em vista que a intoxicação afeta a coordenação motora e a rapidez dos reflexos. De acordo com a legislação brasileira em vigor, uma pessoa está incapacitada para dirigir com segurança se tiver uma concentração de álcool no sangue superior a 0,8 g/L. O que significa isso? Um homem de porte médio tem um volume sangüíneo de aproximadamente cinco litros. Então, esse teor de 0,8 g/L de sangue corresponde a cerca de 5 mL de álcool puro como limite máximo permitido. Isso corresponde a um copo pequeno de cerveja ou a uma terça parte de uma dose de uísque, considerando a primeira como tendo um teor alcoólico de 32 g/L e o último, 320 g/L. No entanto, pode-se beber um pouco mais do que isso e ainda estar dentro do limite legal, tendo em vista que vários mecanismos no sangue encarregam-

Per Christian Braathen

Departamento de Química da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG

Este artigo trata de uma aplicação de grande relevância e importância social: proteção da sociedade pela prevenção de acidentes de trânsito mediante detecção e controle de motoristas intoxicados pelo álcool. A presença de álcool no sangue é determinada pela medição do álcool no ar exalado pela pessoa, o que é feito pela observação visual ou instrumental de simples reações químicas de oxirredução.

álcool, etanol, bafômetros, intoxicação

Este artigo foi publicado originalmente na revista *Química Nova na Escola* n. 5, 1997.

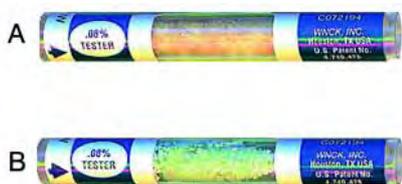


Figura 1 – A foto A mostra o tubo após o teste de uma pessoa que não ingeriu álcool. A foto B mostra o tubo após o teste de uma pessoa intoxicada e, conseqüentemente, sem condições para conduzir um veículo. Os 'bafômetros' descartáveis ilustrados pela foto são fabricados pela companhia americana WNCK, Inc., mas outras empresas fabricam dispositivos similares.

são instrumentos bem mais sofisticados. Do ponto de vista de detecção/medição, existem basicamente dois tipos. Em ambos, os 'suspeitos' sopram para dentro do aparelho através de um tubo (descartável) onde ocorre oxidação do etanol a etanal. No primeiro tipo, o sistema detetor/medidor é eletroquímico, baseado no princípio da pilha de combustível (como as usadas nos ônibus espaciais da NASA para produzir energia elétrica a partir da reação entre os gases hidrogênio e oxigênio): o etanol é oxidado em meio ácido sobre um disco plástico poroso coberto com pó de platina (catalisador) e umedecido com ácido sulfúrico, sendo um eletrodo conectado a cada lado desse disco poroso. A corrente elétrica produzida, proporcional à concentração de álcool no ar expirado dos pulmões da pessoa testada, é lida

numa escala que é proporcional ao teor de álcool no sangue. O funcionamento e a química desse detetor de etanol pode ser visto no Quadro 1.

O outro tipo de dispositivo de teste é o modelo Taguchi desenvolvido no Japão e que consiste em um sensor semicondutor, seletivo para etanol, constituído basicamente de óxido de estanho com várias impurezas (principalmente terras raras). O sensor é aquecido a aproximadamente 400 °C, condições nas quais o mesmo se torna 'ativo'. Quando o etanol entra em contato com esse sensor, é imediatamente oxidado, ocorrendo por conseguinte uma mudança característica na resistência/condução¹ do sensor. Essa é medida como voltagem, novamente proporcional à concentração de álcool no ar expirado, que por sua vez é proporcional à concentração de álcool no sangue.

A Fig. 2 mostra um modelo do tipo de bafômetro usado pelas polícias rodoviárias do mundo inteiro.

Em alguns países existem 'bafômetros públicos', que operam pela inserção de uma moeda, normalmente localizados perto de telefones públicos.

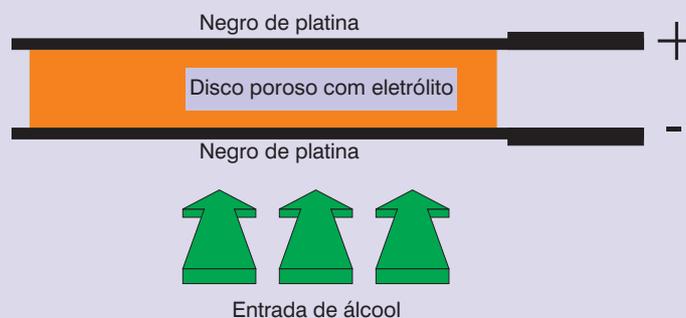
Também é interessante ressaltar que recentemente foram desenvolvidos 'bafômetros' acoplados ao sistema de ignição de veículos, especialmente desenvolvidos para caminhões e ônibus. O sistema obriga o motorista a soprar para dentro do instrumento, e caso exceda o limite legal, o veículo simplesmente não funciona. Uma interface computadorizada obriga o motorista a repetir o teste a intervalos irregulares. O instrumento foi desenvolvido pela companhia alemã Dräger International e chama-se Interlock.

É importante mencionar que embora os 'bafômetros' portáteis mencionados acima sejam bastante confiáveis, os laboratórios de medicina legal usam métodos e aparelhos ainda mais sofisticados (e muito mais caros), principalmente baseados em espectroscopia no infravermelho (cada molécula, inclusive o etanol, tem seu espectro de infravermelho característico) e em cromatografia gasosa (em que as moléculas são separadas de acordo com a massa molecular, e assim detectadas).

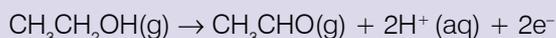


Figura 2 – Modelo de bafômetro tipo Taguchi.

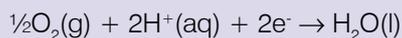
Quadro 1 – Funcionamento de bafômetro baseado no princípio da pilha de combustível.



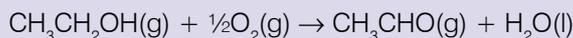
No eletrodo negativo (ânodo) ocorre a oxidação (catalisada pela platina), conforme a semi-reação:



No eletrodo positivo (cátodo), ocorre a redução do oxigênio (contido no ar), conforme a semi-reação:



A equação completa da pilha, será portanto:

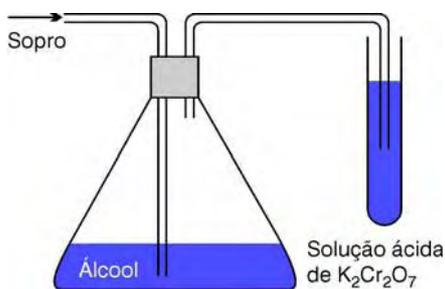


Quimicamente, isso representa uma combustão incompleta do etanol, daí o nome pilha de combustível.

Simulando um 'bafômetro'

Até a década de 50, a oxidação do etanol pelo dicromato de potássio em meio ácido (ou mesmo permanganato de potássio em meio ácido) era o método padrão de análise para a determinação de álcool em ar expirado pelos pulmões (ou mesmo em plasma sanguíneo). É ainda usado nos 'bafômetros' descartáveis mencionados neste artigo.

Para efeito de ensino de Química, é interessante simular o conjunto 'ébrio-bafômetro' baseado na reação química, uma vez que ilustra vários aspectos de química inorgânica, físico-química (oxirredução, por exemplo) e química orgânica de interesse para alunos do Ensino Médio e superior. Para montar esse conjunto, são necessários um erlenmeyer com rolha de dois furos, um tubo de ensaio (ou vidrinho transparente, tipo para remédio), tubos de vidro, tubo látex, álcool comum (96 GL), solução de dicromato de potássio 0,1 mol/L misturado com igual volume de ácido sulfúrico a 20 mL/L (ou seja, dicromato de potássio 0,05 mol/L em meio fortemente ácido). O simulador 'ébrio-bafômetro' segue o esquema apresentado na figura abaixo.



Montagem do conjunto 'ébrio-bafômetro'

Soprando-se para dentro do álcool, o ar arrasta vapores de álcool que, borbulhando na solução ácida de dicromato

de potássio provoca uma mudança de coloração como segue (caso não observe mudança de cor, aumente a acidez da solução de dicromato):

ALARANJADO → MARRROM → VERDE → AZUL

A equação química é a mesma apresentada para os 'bafômetros' descartáveis mencionados, ilustrada no quadro abaixo da Fig. 1, exceto que, quando aparece a cor azul, em vez de verde, é porque o cromo foi reduzido a cromo (II).

Agradecimentos

O autor agradece a colaboração do sr. Gibraim Souza Couri, superintendente da Polícia Rodoviária Federal, agência de Belo Horizonte - MG; Glenn Forrester, da Intoximeters Inc., EUA; Felix J.F. Comeau, da Alcohol Countermeasure Systems, EUA, e Carl King, da WNCK Inc., EUA.

Nota

¹Resistência é a medida da capacidade que um material tem de se opor à passagem da corrente elétrica. A condutância é a medida da capacidade que um material tem de permitir a passagem da corrente elétrica.

Para saber mais

1. ENCICLOPÉDIA BRITÂNICA, v. 9, p. 976, Ed. 1972.
2. O GLOBO, 04 set., 1996. Caderno Carro Etc.
3. Alcohol Countermeasure Systems. Internet: <http://www.acs-corp.com/>
4. Intoximeters Inc. Internet: http://www.intox.com/products/fuell_cell_wp.html
5. WNCK Inc., 600 Kenrick, ste.A2, Houston, 77060, Texas, EUA.

Obs: 3, 4 e 5 são fabricantes de 'bafômetros'.

Fontes: Manual do bafômetro usado pela Polícia Rodoviária Federal e *Enciclopédia Britânica*.

Amor ao Primeiro

Odor

A comunicação química entre os insetos



J. Tércio B. Ferreira (*in memoriam*),
Departamento de Química da Universidade
Federal de São Carlos, São Carlos - SP

Paulo H.G. Zarbin
Departamento de Química da Universidade
Federal do Paraná, Curitiba - PR

Duas questões estão preocupando sobremaneira o setor agrícola nacional neste momento: produzir alimentos sem resíduos tóxicos e baixar o custo de produção. Porém, a utilização de agrotóxicos para combater as pragas de plantas cultivadas representa um fator contrário ao desejado. Diferentes métodos de controle de insetos em que não se dependa exclusivamente de agrotóxicos vêm sendo estudados por cientistas em várias partes do mundo. Este texto apresenta uma discussão sobre a utilização de feromônios como uma possibilidade alternativa e promissora de combate a essas pragas. Serão também abordados alguns conceitos e técnicas básicas empregados nesse processo.

“Quando eu [JTBF] era criança, minha tia passava melado na parede fazendo riscos tortuosos para atrair formigas, de forma que pudesse também me atrair, pois eu me deleitava vendo aqueles pequenos insetos seguir a trilha formada pelo melado, num vai e vem constante, encontrando-se de vez em quando. O que eu não sabia, e na época poucos cientistas sabiam, era que as formigas seguiam suas próprias trilhas marcadas por secreções contendo substâncias químicas que hoje denominamos feromônios” (Fig. 1).

Este artigo apresenta conceitos básicos a respeito da química dos feromônios, comentando algumas de funções e aplicações práticas.

feromônios, comunicação química, insetos

Este artigo foi publicado originalmente na revista *Química Nova na Escola* n. 7, 1998.

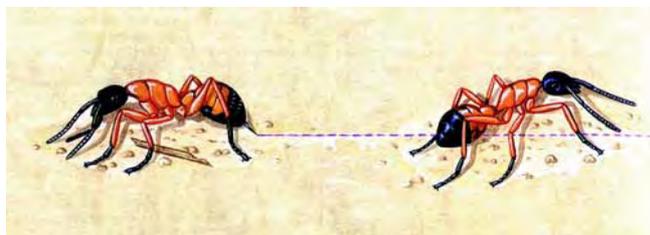


Figura 1 – Marcação de trilha por formigas.

Feromônios são substâncias químicas secretadas por um indivíduo (nesse caso, um inseto) que permite a comunicação com outro indivíduo da mesma espécie. É uma linguagem intra-específica. Assim, formigas lava-pé não irão entender a linguagem de formigas-limão e vice-versa. Muito menos uma abelha entenderá a linguagem de um marimbondo ou de uma barata. Cada espécie possui o seu próprio 'código' de comunicação baseado nas diferenças estruturais dos compostos.

O primeiro feromônio de inseto foi isolado e identificado em 1959 por um pesquisador alemão chamado Butenandt, tendo sido o resultado de mais de 20 anos de pesquisas. O inseto empregado foi a mariposa do bicho-da-seda *Bombyx mori* (Fig. 2A), e a estrutura química atribuída ao feromônio sexual dessa espécie, conhecida como bombicol, é mostrada na Fig. 2B.

Os feromônios fazem parte de um universo bastante amplo de comunicação química, efetuada por meio de substâncias denominadas semioquímicos (sinais químicos). Assim, os feromônios podem ser classificados de acordo com suas funções em:

a) feromônio de marcação de trilha: esse é o caso mencionado antes, em que as formigas deixam um rastro químico que somente será detectado e entendido por outras formigas da mesma espécie;

b) feromônio de alarme: utilizado principalmente por insetos sociais, tais como formigas, abelhas, cupins, marimbondos etc., serve para avisar outros membros da colônia que um inimigo pode estar se aproximando. O odor característico emitido pelos insetos conhecidos por 'maria-fedida' ao serem tocados é um exemplo de feromônio de alarme;

c) feromônio de ataque: utilizado normalmente por insetos sociais, serve para avisar os outros insetos de que devem atacar um intruso;

d) feromônio de agregação: empregado quando os insetos encontram uma fonte de comida ou um novo lugar para fazer sua moradia, e assim emitem o feromônio para atrair os demais membros da espécie;

e) feromônio sexual: utilizado para atrair o parceiro para a cópula e assim preservar a espécie, através da procriação (Fig. 3). É interessante mencionar que inicialmente os estudos indicavam que apenas as fêmeas emitiam o feromônio, atraindo os machos. Hoje se sabe que em muitos casos é o macho que emite o feromônio, esperando que as fêmeas venham até ele.

Alguns aspectos sobre o controle de insetos

Os insetos são considerados nossos maiores competidores no que diz respeito à alimentação. Nessa disputa, o homem tem recorrido principalmente ao uso de agrotóxicos tradicionais, como compostos organofosforados e clorados. Porém, devido ao largo espectro de

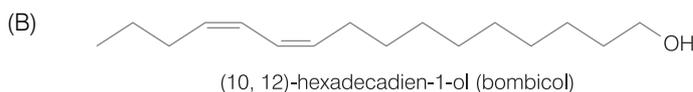


Figura 2 – A) Mariposa *B. mori*; B) bombicol, primeiro feromônio sexual isolado de um inseto.



Figura 3 – Percevejo escuro *Leptoglossus zonatus* (considerado uma das maiores pragas do milho no Brasil) copulando, resultado de uma atração efetuada por feromônios sexuais.

uma comunidade agrícola no Rio Grande do Sul e que talvez possa estar associado com a alta carga de agrotóxicos manipulada por trabalhadores rurais em plantações de fumo.

A solução ideal para o combate aos insetos seria o desenvolvimento de agentes altamente específicos que viessem a atacar apenas as espécies nocivas, não permitissem o desenvolvimento de resistência e não colocassem em risco a preservação do meio ambiente. Ante essas condições, os feromônios ocupam lugar de destaque. Por serem substâncias naturais que regulam comportamentos essenciais para a sobrevivência da espécie, é pouquíssimo provável que os insetos possam vir a desenvolver algum tipo de resistência a eles, à semelhança do que ocorre com agrotóxicos tradicionais. Por outro lado, a possibilidade de haver danos ambientais estaria completamente descartada.

Todo trabalho em que se pretenda compreender a comunicação entre os insetos inicia-se com a observação detalhada de seu comportamento: como eles se agregam, a que horas voam, como é efetuada a corte com fins de acasalamento etc. Essa investigação inicial é efetuada por biólogos treinados no estudo comportamental de determinadas espécies de insetos que se deseja estudar.

Uma vez conhecidos os hábitos básicos do inseto, o químico entra em ação procurando interceptar suas mensagens químicas e decifrá-las, isto é, identificar as estruturas das substâncias químicas que compõem o 'bouquet' do feromônio, para tentar reproduzi-las em laboratório. Rompida essa barreira, os feromônios seriam empregados em armadilhas para que se possa efetuar captura em massa, interrupção de acasalamento ou monitoramento do grau de infestação, o que permite, com a contagem do número de indivíduos capturados, prever uma possível infestação da praga, proporcionando um controle mais eficaz. Esse método alternativo de controle em que feromônios são empregados é conhecido como metodologia bio-racional de controle de insetos.

Cabe ressaltar que os feromônios não podem ser considerados uma solução isolada ou única para esse tipo de problema. Eles são apenas uma ferramenta a se somar a várias outras (incluindo a utilização racional e controlada de determinados agrotóxicos) na tentativa de controlar as inúmeras pragas existentes em nosso país.

Decifrando o código secreto: extração e identificação dos feromônios

Há basicamente duas maneiras principais para extrair o feromônio de um inseto. A primeira é por meio de um processo chamado 'aeração', no qual todas as substâncias voláteis que estariam sendo

ação desses agrotóxicos, juntamente com o seu uso indiscriminado, surgiram várias complicações, entre as quais: desenvolvimento de resistência a esses agentes químicos por parte de vários insetos nocivos, ressurgimento de determinadas pragas em níveis ainda mais altos do que os anteriormente existentes, aparecimento de pragas secundárias devido ao combate indiscriminado a todo tipo de inseto — com a conseqüente dizimação de predadores naturais — e, o mais alarmante, a contaminação ambiental, chegando o agente químico inclusive a ser incorporado a nossa cadeia alimentar, causando sérios riscos à saúde. Merece ser mencionada uma reportagem da *Folha de S. Paulo* (02/12/96) sobre o grande número de suicídios que vêm ocorrendo em

exaladas pelos insetos (incluindo os feromônios) são carregadas por um fluxo constante de ar e adsorvidas em polímeros especiais. Tais substâncias são posteriormente dessorvidas pela ação de solventes e analisadas. A segunda maneira é por meio da extração direta das glândulas responsáveis pela produção de feromônios, geralmente localizadas na parte posterior do abdômen do inseto. Isso é feito com a imersão do inseto em um frasco contendo um solvente apropriado que extrai as substâncias orgânicas ali presentes.

Nos dois casos, a solução final apresenta uma mistura muito grande de substâncias além daquelas que fazem parte do feromônio. É nesse ponto que começam as complicações que os químicos têm que enfrentar para poder decifrar a linguagem desses pequenos seres.

Antena: um potente detector

Para identificar o feromônio, nada melhor que observar a reação do próprio inseto, ou de alguma parte dele, quando estimulado por um fluxo dessas substâncias. Quando a própria antena do inseto é utilizada para esse tipo de análise, o processo é denominado eletroantenografia e consiste no seguinte: a antena do inseto é cuidadosamente extirpada na base, mantida em soro fisiológico e posicionada entre dois microeletrodos de ouro capilares conectados a um amplificador, de forma a permitir a medida da diferença de potencial entre os microeletrodos. Quando uma substância faz parte do feromônio do inseto, a antena responde por meio de estímulos específicos, fazendo com que a diferença de potencial varie. Essa variação pode ser amplificada e representada graficamente num registrador adequado (Fig. 4). No entanto, se uma antena for submetida simultaneamente a uma mistura de substâncias, não se pode saber quais são as ativas, uma vez que todas estão agindo ao mesmo tempo. A esse problema, os químicos responderam com uma solução muito utilizada rotineiramente em nossos laboratórios: a cromatografia gasosa. Assim, a mistura de substâncias anteriormente isolada é injetada em um cromatógrafo a gás e as substâncias separadas na coluna cromatográfica. No final dessa separação, antes de o material ser enviado ao detector, faz-se uma divisão do fluxo e parte dele é submetido à antena. Dessa maneira, a cada pico detectado pode-se associar a resposta da antena, funcionando esta como um detector biológico (Fig. 4B). A partir dessa informação, o químico

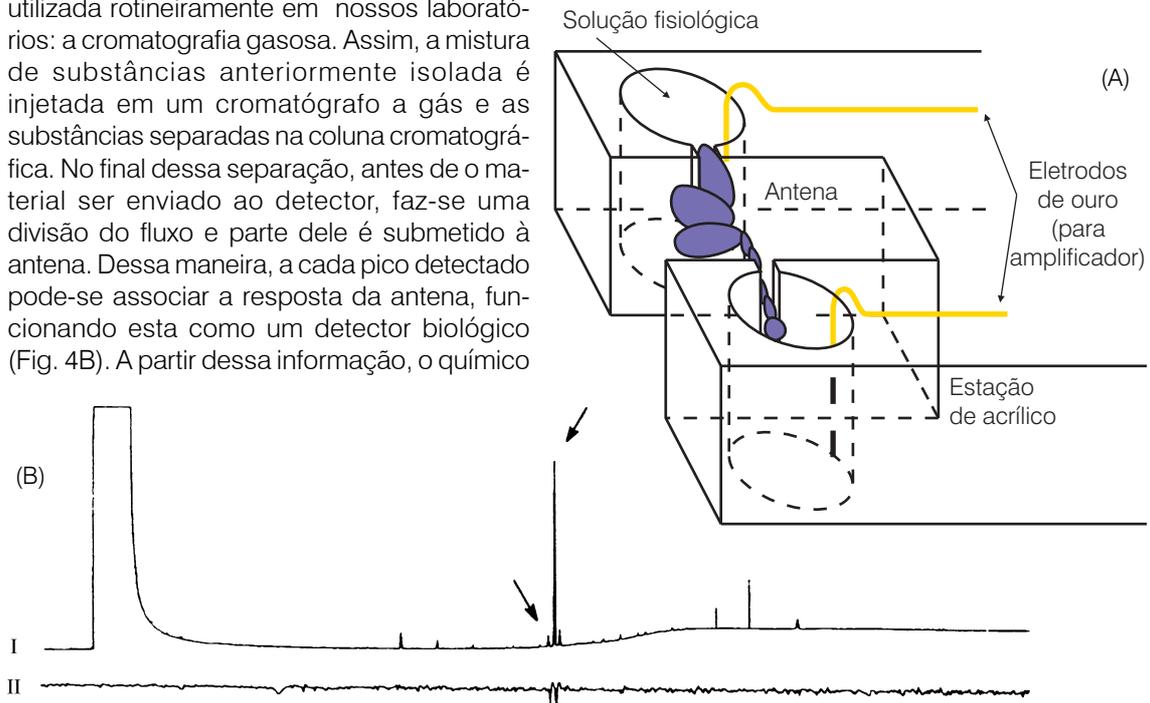


Figura 4 – A) Estação de acrílico em que estão adaptados os eletrodos e a antena; B) análise simultânea de um cromatograma (I) e de um eletroantenograma (II).

deve se preocupar apenas em determinar a estrutura química dos compostos que foram ativos na antena. Para tal, utiliza-se rotineiramente a espectrometria de massas, em função de a pequeníssima quantidade (nanogramas) das substâncias ali presentes ser compatível com essa técnica.

Uma vez identificada a estrutura química do feromônio, o químico poderá sintetizá-lo em laboratório e submetê-lo a ensaios biológicos para se certificar de que ele foi corretamente identificado. Muitos feromônios foram identificados incorretamente e, quando as amostras sintéticas obtidas foram submetidas aos insetos, estes não entenderam a 'mensagem artificial' e portanto não reagiram como esperado.

A estrutura química: uma complicação que garante a privacidade

Apesar da enorme diversidade dos insetos, sua comunicação química se faz sem nenhum problema de interferência externa, utilizando-se um grande número de substâncias químicas com estruturas igualmente variadas.

Veja no quadro da página seguinte alguns exemplos da variedade estrutural dos feromônios de insetos. Uma complicação adicional, garantindo que espécies diferentes não interfiram na comunicação de um determinado inseto, é que na maioria das vezes o feromônio é constituído por mais de uma substância química, apresentando uma proporção definida entre todos os componentes. Observe que o feromônio da mosca-doméstica é constituído por um único componente com uma estrutura química extremamente simples, enquanto o feromônio da mosca-oriental-da-fruta (*Grapholita molesta*) é constituído pela mistura de quatro substâncias em uma proporção bem definida.

O feromônio do bicudo do algodão (*Anthonomus grandis*) também apresenta quatro constituintes em sua mistura feromonal, sendo dois aldeídos e dois álcoois.

Epóxidos, cetonas, ácidos carboxílicos e amidas são grupos funcionais também presentes em muitos feromônios de insetos. Estruturas mais complexas contendo vários grupos funcionais, como a periplanona B (uma cetona macrocíclica), feromônio da barata *Periplaneta americana*, também fazem parte do universo da variedade estrutural dos feromônios de insetos.

Aplicações de feromônios no Brasil

Um dos melhores exemplos da aplicação de feromônios no Brasil é o caso do besouro *Migdolus fryanus*, talvez a mais séria praga da cana-de-açúcar do país. As iscas utilizadas, minúsculos *pellets* contendo apenas um miligrama de feromônio sintético (vide estrutura no quadro acima), começaram a ser colocadas nos carregadores dos canaviais de usinas paulistas e paranaenses no início de 1995. Instaladas em armadilhas de plástico enterradas no solo, as iscas atraíram os besouros para uma cavidade ligada a um recipiente plástico do qual não conseguiam sair (Fig. 5). A coleta de besouros



Figura 5 – Modelo brasileiro das armadilhas utilizadas para captura do *M. fryanus* (esq); armadilhas semi-enterradas no solo: aumento da eficiência (dir).

Substância	Inseto	Comentário
	<i>Musca doméstica</i>	Encontrado comercialmente no Brasil
	<i>Scrobipalpuloidea absoluta</i>	Praga de tomate no país. O isolamento do feromônio teve a participação de pesquisadores brasileiros
	<i>Spodoptera frugiperda</i>	Esse inseto é uma importante praga do milho no Brasil. Seu feromônio contém seis outros componentes
	<i>Diatraea saccharalis</i>	A broca da cana de açúcar é uma praga séria em algumas regiões do país
	<i>Grapholita molesta</i>	A mosca oriental da fruta ataca plantações de frutas em nosso país
	<i>Migdolus fryanus</i>	O besouro <i>Migdolus</i> é uma séria praga da lavoura de cana-de-açúcar
	<i>Apis mellifera</i>	Essa substância é utilizada pela abelha rainha no controle da colméia
	<i>Anthonomus grandis</i>	Neste caso, o inseto macho é que emite o feromônio de atração sexual e fica esperando que as fêmeas o procurem. Esse inseto alóctone é um dos muitos que invadiram nosso país, causando sérios prejuízos à agricultura
	<i>Nezara viridula</i>	Este é o componente principal do feromônio sexual do percevejo-da-soja e foi isolado a partir de insetos brasileiros
	<i>Periplaneta americana</i>	Essa substância, com estrutura razoavelmente complexa, é um dos constituintes do feromônio sexual da barata

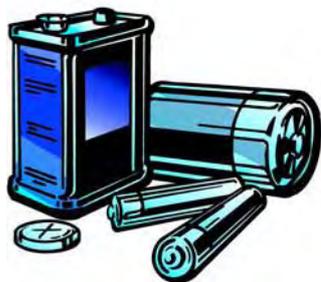
atraídos pelas iscas contidas em quatro mil armadilhas chegou a seis milhões de machos.

O feromônio do bicudo-das-palmáceas (*Rhyncophorus palmarum*) deve começar a ser comercializado este ano, para uso nas plantações de dendê e de coco-da-bahia. Nos pomares de maçã dos estados do Sul, estão sendo feitos experimentos que utilizam armadilhas com iscas químicas para monitorar a infestação da lagarta-enroladeira, *Benagota sp.* O uso do feromônio da traça de tomateiro, *Tuta absoluta*, também já está em testes avançados, assim como o da lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*), principal praga dos milharais no país.

O emprego de feromônios no controle de insetos é um exemplo de atividade que para ser bem-sucedida exige a colaboração de diversos profissionais: biólogos, químicos, agrônomos etc. Essa metodologia vem sendo aos poucos implantada no Brasil.

Para saber mais

- FERREIRA, J.T.B. A contribuição fundamental da síntese orgânica no estudo de feromônios. *Química Nova*, 16, 454, 1993.
- AGOSTA, W.C. *Chemical communication: the language of pheromones*. Nova York: Scientific American Library, 1992.
- GUIMARÃES, O. Controle biológico — atração fatal. *Globo Rural*, n. 140, p. 7, jun. 1997.
- VILELA, E.F., FERREIRA, J.T.B., GASPAROTO, J.V., MOURA, J.I.L. Feromônios no controle de pragas. *Ciência Hoje*, v. 10, n. 32, 1989.



Pilhas e Baterias:

Funcionamento e Impacto Ambiental

Nesta última década assistiu-se a uma proliferação enorme de aparelhos eletroeletrônicos portáteis, tais como: brinquedos, jogos, relógios, lanternas, ferramentas elétricas, agendas eletrônicas, “walk-talks”, barbeadores, câmaras fotográficas, filmadoras, telefones celulares, computadores, aparelhos de som, instrumentos de medição e aferição, equipamentos médicos etc. Ao mesmo tempo, aumentou muito a demanda por pilhas e baterias cada vez menores, mais leves e de melhor desempenho. Conseqüentemente, existe atualmente no mercado uma grande variedade de pilhas e baterias a fim de atender às inúmeras exigências. A compreensão dos princípios de funcionamento dessa grande variedade de pilhas e baterias é uma tarefa árdua e requer, muitas vezes, um conhecimento profundo e multidisciplinar, já que vários destes sistemas eletroquímicos empregam tecnologia avançada. Apesar disso, pretende-se abordar primeiramente aqui, da forma mais simplificada possível, o funcionamento das pilhas e baterias que mais freqüentemente aparecem no nosso dia-a-dia.

Por outro lado, dado que algumas das pilhas e baterias disponíveis no mercado usam materiais tóxicos, muitos países, inclusive o Brasil, têm se preocupado com os riscos à saúde humana e ao meio ambiente que esses sistemas eletroquímicos apresentam. Nesse sentido, o Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA publicou no Diário Oficial da União de 22 de julho de 1999 a Resolução nº 257, disciplinando o descarte e o gerenciamento ambientalmente adequado de pilhas e baterias usadas, no que tange à coleta,

Nerilso Bocchi, Luiz Carlos Ferracin e Sonia Regina Biaggio
Departamento de Química da Universidade Federal de São Carlos, São Carlos - SP

Este artigo define o que são pilhas e baterias, apresentando o funcionamento das que mais freqüentemente aparecem no dia-a-dia dos brasileiros. Além disso, considerando que algumas dessas pilhas e baterias têm componentes tóxicos, discute o que fazer com pilhas usadas para evitar problemas ambientais.

pilhas, sistemas eletroquímicos, baterias primárias, baterias secundárias

Este artigo foi publicado originalmente na revista *Química Nova na Escola* n. 11, 2000.

reutilização, reciclagem, tratamento ou disposição final. Tendo em conta o exposto acima, também será mencionado aqui, para cada uma das pilhas e baterias abordadas, o risco que representam aos seus consumidores e ao meio ambiente.

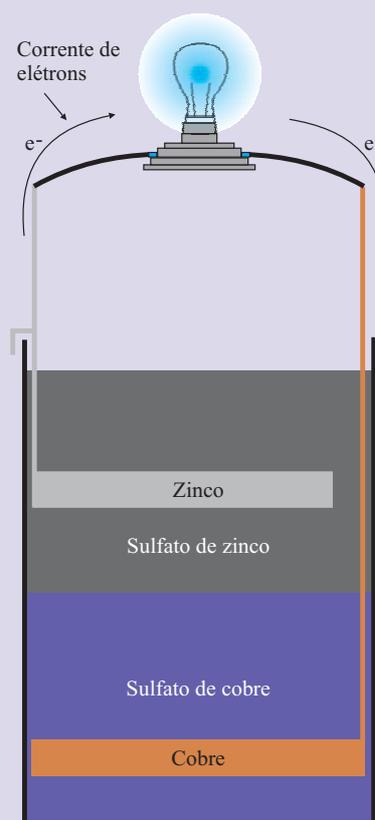
Nomenclatura e classificação dos sistemas eletroquímicos

Há uma certa confusão na terminologia usada para se referir aos sistemas eletroquímicos. Em princípio, o termo *pilha* deveria ser empregado para se referir a um dispositivo constituído unicamente de dois eletrodos e um eletrólito, arranjados de maneira a produzir energia elétrica. O eletrólito pode ser líquido, sólido ou pastoso, mas deve ser, sempre, um condutor iônico. Quando os eletrodos são conectados a um aparelho elétrico uma corrente flui pelo circuito (vide pilha de Daniell no Quadro 1), pois o material de um dos eletrodos oxida-se espontaneamente liberando elétrons (anodo ou eletrodo negativo), enquanto o material do outro eletrodo reduz-se usando esses elétrons (catodo ou eletrodo positivo). O termo *bateria* deveria ser usado para se referir a um conjunto de pilhas agrupadas em série ou paralelo, dependendo da exigência por maior potencial ou corrente, respectivamente, conforme ilustrado no Quadro 2. Entretanto, no dia-a-dia, os termos *pilha* e *bateria* têm sido usados indistintamente para descrever sistemas eletroquímicos fechados que armazenam energia. O termo *acumulador elétrico* também aparece muitas vezes, mas é empregado, quase sempre, como sinônimo de bateria.

A convenção mais usada para representar um sistema eletroquímico é aquela de escrever o anodo do lado esquerdo e o catodo do lado direito. Assim, quando se escreve *bateria sódio/enxofre* significa que o sódio e o enxofre são os reagentes ativos no anodo e catodo, respectivamente. Entretanto, alguns sistemas eletroquímicos não obedecem a essa regra geral quando citados; os casos mais comuns são os sistemas: *chumbo/óxido de chumbo*, *cádmio/óxido de níquel* e *zinco/dióxido de manganês*, mais co-

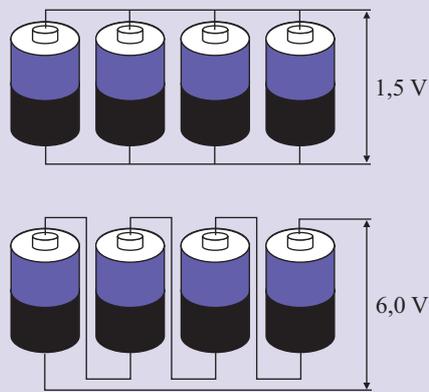
Quadro 1 - Pilha de Daniell

Consiste em um anodo de zinco metálico, um catodo de cobre metálico e um eletrólito formado por sulfato de zinco e sulfato de cobre. A maneira mais simples de se fazer uma pilha de Daniell é colocar uma tira de cobre no fundo de um frasco de vidro conforme mostra a ilustração acima. Uma solução de sulfato de cobre é despejada no frasco em quantidade suficiente para cobrir completamente a tira de cobre. Em seguida, uma tira de zinco é colocada logo acima da solução anterior conforme ilustrado e, então, a solução de sulfato de zinco é cuidadosamente adicionada no frasco. A densidade menor da solução de sulfato de zinco garante sua permanência, por pelo menos algum tempo, sobre a solução de sulfato de cobre. Essa pilha de Daniell só apresenta resultados satisfatórios para acionar equipamentos que exigem baixas correntes elétricas como, por exemplo, lâmpadas de farolete de 1,5 V e relógios de pulso e parede.



Quadro 2 - Agrupamentos de pilhas ou baterias

A maioria dos aparelhos eletroeletrônicos que usam pilhas requer, quase sempre, mais de uma pilha. Um agrupamento de pilhas em série fornece maiores potenciais, enquanto que em paralelo, maiores correntes elétricas. Supondo-se pilhas de 1,5 V, um agrupamento contendo quatro dessas pilhas em paralelo (agrupamento superior) fornece um potencial de 1,5 V, mas a corrente elétrica é quatro vezes maior do que aquela gerada por um única pilha. Já um agrupamento dessas mesmas pilhas em série (agrupamento inferior) fornece um potencial de 6,0 V e a mesma corrente elétrica que a de uma única pilha.



nhecidos como *chumbo/ácido*, *níquel/cádmio* e *Leclanché*, respectivamente. Além desses, outros sistemas eletroquímicos mais avançados e modernos também não seguem a regra mencionada.

Os sistemas eletroquímicos podem ser diferenciados uns dos outros, tendo em conta a maneira como funcionam. Assim, embora alguns sejam denominados de forma especial (vide Quadro 3), todos eles podem ser classificados como:

Baterias primárias

Distintas das demais por serem essencialmente não recarregáveis. Exemplos: *zinco/dióxido de manganês* (Leclanché), *zinco/dióxido de manganês (alcalina)*, *zinco/óxido de prata*, *lítio/dióxido de enxofre*, *lítio/dióxido de manganês* etc.

Baterias secundárias

Baterias recarregáveis que podem ser reutilizadas muitas vezes pelos usuários (centenas e até milhares de vezes para o caso de baterias especialmente projetadas). Como regra geral, um sistema eletroquímico é considerado secundário quando é capaz de suportar 300 ciclos completos de carga e descarga com 80% da sua capacidade. Exemplos: *cádmio/óxido de níquel* (níquel/cádmio), *chumbo/óxido de chumbo*

Quadro 3 - Baterias primárias especiais

Baterias de reserva: um tipo especial de bateria primária que requer uma ativação imediatamente antes do seu uso. Nessa ativação, que pode ser mecânica ou pirotécnica (queima de termita), o eletrólito é injetado na câmara que contém os eletrodos da bateria. Exemplos: *magnésio ativado com água/cloreto de chumbo*, *magnésio ativado com água/cloreto de prata*, *magnésio ativado com amônia/dinitrobenzeno* etc.

Baterias térmicas: outro tipo especial de bateria primária que se distingue da anterior por requerer ativação a altas temperaturas. Nesse caso, o eletrólito, que está no estado sólido e inerte entre o anodo e o catodo, é fundido pelo calor gerado pela queima de material pirotécnico (termita), desencadeando as reações eletroquímicas. Exemplos: *cálcio/óxido tungstênico*, *cálcio/cromato de cálcio*, *lítio/sulfeto de ferro* etc. As baterias de reserva e térmicas são usadas principalmente em artefatos militares, aeroespaciais e operações emergenciais.

Células a combustível: uma outra variedade de bateria primária diferente de todas as anteriores porque apresenta a interessante característica de usar como reagente ativo no catodo o oxigênio do ar que a rodeia. Portanto, essas células devem permanecer abertas enquanto estiverem em operação. Células a combustível *metal/ar* são consideradas descarregadas quando seus anodos estiverem descarregados. Exemplos: *alumínio/ar*, *zinco/ar*, *metanol/ar* e *hidrogênio/oxigênio*.

Baterias avançadas: sistemas já desenvolvidos mas que ainda não são, na sua maioria, comercializados. Alguns são recarregáveis e usados somente em aplicações que exigem alta capacidade. Exemplos: *zinco/brometo*, *sódio/enxofre*, *baterias de estado sólido* e *sistemas poliméricos*.

(chumbo/ácido), hidreto metálico/óxido de níquel, íons lítio etc.

O princípio de funcionamento de algumas baterias primárias e secundárias freqüentemente encontradas no mercado nacional, bem como o risco que representam aos consumidores e ao meio ambiente, está descrito a seguir.

Principais baterias primárias comercializadas

Dentre as inúmeras baterias primárias comercializadas, as que se destacam no mercado nacional são: zinco/dióxido de manganês (Leclanché), zinco/dióxido de manganês (alcalina) e lítio/dióxido de manganês. Todas são sempre produzidas hermeticamente fechadas em dimensões padronizadas internacionalmente nas formas cilíndricas (tamanhos AA, AAA etc.), tipo botão e tipo moeda. Além dessas, a forma prismática também pode ser encontrada para aplicações especiais. A preferência pela forma cilíndrica ocorre pela maior facilidade de produção quando comparada com as demais formas.

Pilha de zinco/dióxido de manganês (Leclanché)

Inventada pelo químico francês George Leclanché em 1860, é a mais comum das baterias primárias. A pilha de zinco/dióxido de manganês usada hoje é muito parecida com a versão original. O eletrólito é uma pasta formada pela mistura de cloreto de amônio e cloreto de zinco. O anodo é de zinco metálico, usado, geralmente, na forma de chapa para confecção da caixa externa da pilha. O catodo é um bastão de grafite, geralmente cilíndrico, rodeado por uma mistura em pó de dióxido de manganês e grafite (vide Figura 1). A pilha de zinco/dióxido de manganês fornece um potencial de circuito aberto (medido com um voltímetro de alta impedância) no intervalo entre 1,55 V e 1,74 V, a temperatura ambiente.

As reações que ocorrem durante o processo de descarga das pilhas de zinco/dióxido de manganês são complexas e alguns detalhes ainda não foram completamente entendidos. O processo de descarga básico consiste na oxidação do zinco no anodo:



juntamente com a redução do Mn(IV) a Mn(III) no catodo:



resultando na seguinte reação global:

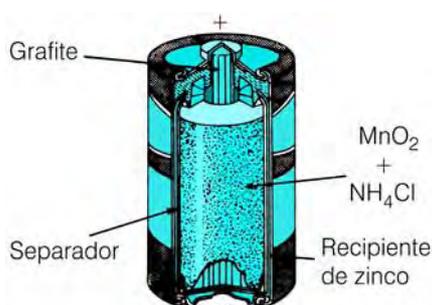
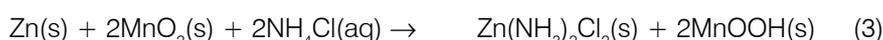


Figura 1 – Pilha de zinco/dióxido de manganês (Leclanché).

As pilhas de zinco/dióxido de manganês apresentam uma relação custo benefício interessante somente para aplicações que requerem valores baixos e médios de corrente elétrica. A utilização de dióxido de manganês de alta qualidade e a substituição do cloreto de amônio do eletrólito por cloreto de zinco melhoram muito o desempenho das pilhas zinco/dióxido de manganês mesmo em aplicações que exigem correntes elétricas maiores. O principal problema observado neste tipo de pilha são as reações paralelas, também chamadas de reações de prateleira. Essas reações ocorrem durante o armazenamento das pilhas (antes de serem usadas) e durante o período em

que permanecem em repouso entre distintas descargas, podendo provocar vazamentos. Para minimizar a ocorrência de tais reações, a grande maioria dos fabricantes adiciona pequenas quantidades de sais de mercúrio solúveis ao eletrólito da pilha; agentes tensoativos e quelantes, cromatos e dicromatos também são usados por alguns poucos fabricantes. Esses aditivos diminuem a taxa de corrosão do zinco metálico e, conseqüentemente, o desprendimento de gás hidrogênio no interior da pilha. Com isso, a pressão interna das pilhas é bastante reduzida, minimizando-se os vazamentos.

Outro fato muito importante com relação às pilhas de zinco/dióxido de manganês diz respeito ao material usado como anodo. Na grande maioria das pilhas comercializadas, esse eletrodo consiste de uma liga de zinco contendo pequenas quantidades de chumbo e cádmio, a fim de se obter propriedades mecânicas adequadas para se trabalhar com a liga. Com isso, as pilhas zinco/dióxido de manganês contêm, em suas composições mercúrio, chumbo e cádmio e podem representar sérios riscos ao meio ambiente. Pela Resolução nº 257 do CONAMA, a partir de janeiro de 2001 essas pilhas deverão ser fabricadas, importadas e comercializadas com no máximo 0,010% de mercúrio, 0,015% de cádmio e 0,200% de chumbo, informações estas que deverão estar presentes nas suas embalagens. As pilhas usadas que atenderem a esses limites poderão ser dispostas, juntamente com os resíduos domiciliares, em aterros sanitários licenciados. Enquanto os fabricantes dessas pilhas não reduzirem os teores das substâncias tóxicas contidas nelas até os limites estabelecidos pela Resolução nº 257 do CONAMA, os estabelecimentos que comercializam essas pilhas ficam obrigados a aceitar dos usuários a devolução das unidades usadas.

Pilha de zinco/dióxido de manganês (alcalina)

Esse tipo de pilha é uma concepção modificada da pilha zinco/dióxido de manganês. Utiliza-se dos mesmos eletrodos (anodo e catodo), porém o eletrólito é uma solução aquosa de hidróxido de potássio concentrada (~30% em massa) contendo uma dada quantidade de óxido de zinco; daí a denominação alcalina para essa pilha. Além disso, o seu recipiente externo é confeccionado em chapa de aço para garantir melhor vedação e prevenir, portanto, o risco de vazamento de eletrólito altamente cáustico. Com isso, o arranjo dos eletrodos e eletrólito na pilha alcalina é bem distinto daquele da Leclanché (vide Figura 2). A sua primeira versão data de 1882 e empregava o eletrólito na forma líquida. Somente a partir de 1949, elas passaram a ser produzidas comercialmente com o eletrólito na forma pastosa. A pilha de zinco/dióxido de manganês (alcalina) fornece um potencial de circuito aberto de 1,55 V, a temperatura ambiente.

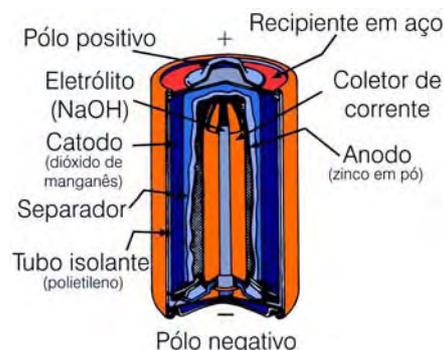
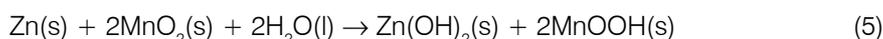


Figura 2 – Pilha de zinco/dióxido de manganês (alcalina).

A reação de descarga que ocorre no catodo da pilha alcalina é exatamente a mesma da Leclanché (eq. 2). Já a reação de descarga no anodo consiste na oxidação do zinco em meio básico, resultando primeiramente em íons zincato. Quando a solução de hidróxido de potássio é saturada em íons zincato, o produto da reação de oxidação do zinco passa a ser o hidróxido de zinco:



Dessa forma, a reação global resultante é:



Dado que essa última reação é reversível, a pilha alcalina pode ser também produzida como pilha recarregável (bateria secundária). Para isso, são necessárias pequenas modificações no projeto de construção, porém seu desempenho é muito menor do que o das baterias secundárias tradicionais.

Por outro lado, o desempenho da pilha alcalina primária é bastante superior ao da pilha Leclanché. A capacidade de descarga (corrente elétrica gerada num dado tempo) é cerca de quatro vezes maior em aplicações que requerem altas correntes elétricas, em regime de descarga contínua. Ademais, as pilhas alcalinas não apresentam as reações paralelas ou de prateleira e os vazamentos observados nas pilhas de Leclanché. Por isso, podem ser armazenadas por longos períodos de tempo (cerca de 4 anos), mantendo mais do que 80% da sua capacidade inicial. Entretanto, o custo mais elevado das pilhas alcalinas tem reprimido o seu consumo no Brasil. Atualmente, o seu consumo gira em torno de 30%, enquanto que o das pilhas de Leclanché está em aproximadamente 70%.

Do ponto de vista ambiental, as pilhas alcalinas representam menor risco, já que não contém metais tóxicos, como mercúrio, chumbo e cádmio. Devido a isso, há uma tendência mundial em se mudar para elas, já detectada em outros países como Estados Unidos, Alemanha e Argentina, onde ocupam cerca de 70% do mercado.

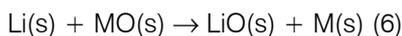
Pilha de lítio/dióxido de manganês

Essa e outras pilhas primárias que empregam lítio como anodo passaram a ser investigadas com o advento da exploração espacial (início da década de 1960). Isso ocorreu pela necessidade de pequenos sistemas eletroquímicos duráveis, confiáveis e capazes de armazenar grande quantidade de energia. Dessa forma, materiais contendo substâncias simples e/ou compostas de elementos

Do ponto de vista ambiental, as pilhas alcalinas representam menor risco que as de Leclanché, já que não contêm metais tóxicos, como mercúrio, chumbo e cádmio

químicos localizados do lado esquerdo superior e do lado direito superior da tabela periódica vieram a ser os mais estudados. Os metais lítio e sódio passaram a ser utilizados como catodos e substâncias compostas contendo flúor, cloro e oxigênio como anodos. Assim, centenas de sistemas foram propostos, mas poucos sobreviveram em função das exigências práticas. Dentre esses, estão as baterias primárias que usam como anodo o lítio metálico e como catodo três grupos de compostos: (i) sólidos com baixa solubilidade no eletrólito (cromato de prata - Ag_2CrO_4 , dióxido de manganês - MnO_2 , óxido de cobre - CuO , sulfeto de cobre - CuS etc.); (ii) produtos solúveis no eletrólito (dióxido de enxofre - SO_2) e; (iii) líquidos (cloreto de tionila - SOCl_2 , cloreto de sulfurila - SO_2Cl_2 e cloreto de fosforila - POCl_3).

Devido à alta reatividade do lítio metálico com água, todas as pilhas de lítio empregam eletrólitos não aquosos (sal de lítio dissolvido em solventes não aquosos) em recipientes hermeticamente selados. Os componentes dessas pilhas podem ser configurados de maneira semelhante à das pilhas alcalinas, mas muitas vezes os eletrodos são confeccionados na forma de tiras enroladas, como é o caso das pilhas lítio/dióxido de manganês, muito usadas em câmaras fotográficas (vide Figura 3). O processo de descarga dessas pilhas consiste nas reações de oxidação do lítio metálico e de redução do óxido metálico, resultando na seguinte reação global simplificada:



Entretanto, quando o óxido é o dióxido de manganês, o processo de descarga ainda não está completamente entendido. A pilha de lítio/dióxido de manganês fornece um potencial de circuito aberto no intervalo de 3,0 V a 3,5 V, a temperatura ambiente. Não apresenta reações paralelas ou de

prateleira e mostra excelente desempenho mesmo em aplicações que operam em temperaturas maiores que a ambiente.

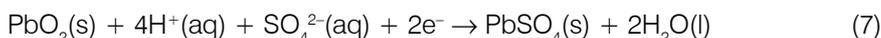
Um maior uso das pilhas de lítio tem sido impedido não somente pelo seu alto custo, mas também pelos riscos associados com o lítio metálico. Pilhas vedadas de maneira imprópria podem expor o lítio à umidade do ar e provocar chamas no metal e no solvente não aquoso. Tais acidentes têm sido evitados com a produção de pilhas bem vedadas e com sua utilização apropriada.

Principais baterias secundárias comercializadas

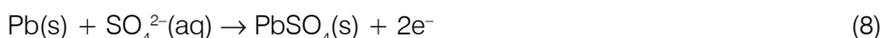
As baterias secundárias que dominam o mercado nacional são: *chumbo/óxido de chumbo* (chumbo/ácido), *cádmio/óxido de níquel* (níquel/cádmio), *hidreto metálico/óxido de níquel* e *íons lítio*. Diferentemente das baterias primárias, as baterias secundárias são usadas principalmente em aplicações que requerem alta potência (maiores correntes elétricas num menor tempo). As características específicas de algumas delas são descritas a seguir.

Bateria chumbo/óxido de chumbo (chumbo/ácido)

Sua história começou em 1859, quando o físico francês Raymond Gaston Planté construiu o primeiro sistema recarregável, formando a base para as baterias secundárias chumbo/ácido usadas até hoje. Essas baterias apresentam a característica pouco usual de envolver em ambos os eletrodos o mesmo elemento químico, o chumbo. No catodo, o dióxido de chumbo reage com ácido sulfúrico durante o processo de descarga, produzindo sulfato de chumbo e água:



No anodo, chumbo reage com íons sulfato formando sulfato de chumbo:



A reação global apresenta somente sulfato de chumbo e água como produtos:



À medida que a bateria chumbo/ácido é descarregada, o ácido sulfúrico é consumido e a água é produzida. Conseqüentemente, a composição do ácido sulfúrico no eletrólito e sua densidade variam desde 40% (m/m) e 1,30 g/cm³, no estado completamente carregado, até cerca de 16% (m/m) e 1,10 g/cm³, no estado descarregado. Dado que o potencial de circuito aberto depende da concentração de ácido sulfúrico no eletrólito e da temperatura, o valor deste potencial para um único par de eletrodos varia de 2,15 V, no estado carregado, até 1,98 V, no estado descarregado, a temperatura ambiente. A medida da densidade do eletrólito ao longo do processo de descarga da bateria é usada, portanto, para avaliar seu estado de carga. No processo de carga, o sulfato de chumbo é reconvertido a chumbo

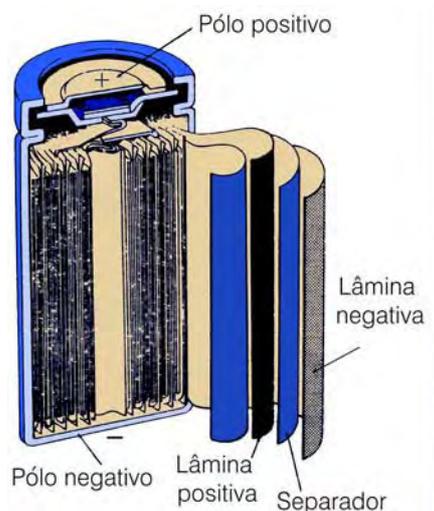


Figura 3 – Pilha de lítio/dióxido de manganês.

O primeiro sistema recarregável surgiu em 1859 como invenção do físico francês Raymond Gaston Planté, abrindo a base para as baterias secundárias chumbo/ácido usadas até hoje

no anodo e a dióxido de chumbo no catodo.

Os principais tipos de baterias chumbo/ácido são as automotivas, industriais e seladas, com um predomínio marcante das primeiras. As automotivas são usadas em veículos em geral para alimentar os sistemas de partida, iluminação e ignição e consistem de seis conjuntos de eletrodos na forma de placas, contidos em vasos independentes. Um vaso pode conter, por exemplo, 6 anodos e 5 catodos arranjados de forma alternada, começando e terminando com um anodo. Estes onze eletrodos são conectados em paralelo e, portanto, cada vaso fornece um potencial de cerca de 2 V. Os seis vasos são então conectados em série e a bateria fornece um potencial de aproximadamente 12 V (vide Figura 4). As baterias industriais são utilizadas para tracionar motores de veículos elétricos e também em serviços que não podem ser interrompidos em caso de queda de energia elétrica (companhias telefônicas, hospitais etc.). Já as seladas, de menor tamanho, são usadas para alimentar computadores, luzes de emergência etc., em caso de queda de energia. As baterias automotivas e industriais requerem adição periódica de água no eletrólito. Isso ocorre porque, no processo de carga da bateria chumbo/ácido, parte da água é decomposta nos gases hidrogênio e oxigênio. As baterias automotivas de baixa manutenção, além de serem projetadas para consumir menos água, contêm um volume de eletrólito em excesso, calculado de maneira a compensar a perda de água ao longo de sua vida útil (2 a 5 anos).

Como visto, as baterias chumbo/ácido funcionam à base de chumbo, um metal pesado e tóxico e, portanto, representam sério risco ao meio ambiente. Na realidade, a grande maioria das baterias exauridas já é recolhida pelos fabricantes nacionais para recuperar o chumbo nelas contido, uma vez que o Brasil não dispõe de minas desse metal e o seu preço é relativamente alto no mercado internacional. O maior problema está no método de recuperação usado pelas empresas, já que é, quase sempre, inadequado. O método mais usado ainda é o pirometalúrgico, em vez do eletrodrometalúrgico, o que termina contaminando a atmosfera com óxidos de enxofre (SO_x) e com chumbo particulado.

Bateria cádmio/óxido de níquel (níquel/cádmio)

Foi primeiramente proposta pelo sueco Waldemar Jungner em 1899. Consiste de um anodo formado por uma liga de cádmio e ferro e um catodo de hidróxido(óxido) de níquel(III) imersos em uma solução aquosa de hidróxido de potássio com concentração entre 20% e 28% em massa. Durante o processo de descarga, o cádmio metálico é oxidado a hidróxido de cádmio no anodo:

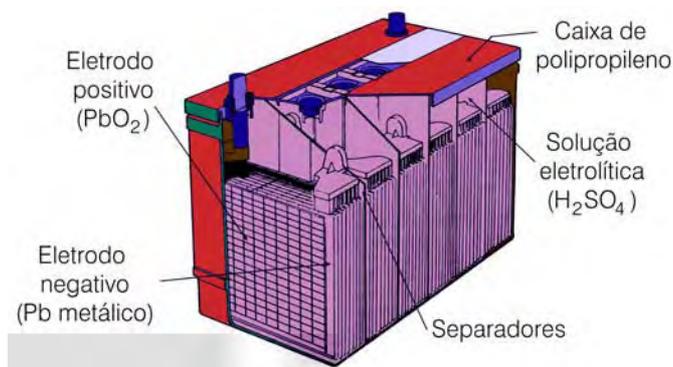


Figura 4 – Bateria chumbo/óxido de chumbo (chumbo/ácido).

e o hidróxido(óxido) de níquel(III) é reduzido a hidróxido de níquel(II) hidratado no catodo:

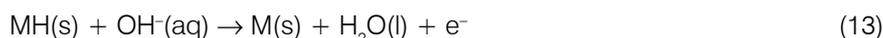


resultando na seguinte reação global:

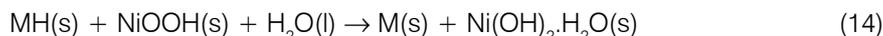


Um único par de eletrodos das baterias níquel/cádmio, que podem ser arrançados como os das baterias alcalina (Figura 2) ou chumbo/ácido (Figura 4), fornece um potencial de circuito aberto de aproximadamente 1,15 V, a temperatura ambiente. Essas baterias podem ser produzidas numa grande variedade de tamanhos, usando-se, em geral, chapa de aço inoxidável como material do recipiente externo. Da mesma forma que as baterias alcalinas, as baterias níquel/cádmio são, na maioria dos casos, seladas para evitar vazamento de eletrólito cáustico; quando não são completamente seladas, dispõem de válvulas de segurança para descompressão.

As baterias níquel/cádmio caracterizam-se por apresentar correntes elétricas relativamente altas, potencial quase constante, capacidade de operar a baixas temperaturas e vida útil longa. Entretanto, o custo de sua produção é bem maior do que o das baterias chumbo/ácido. Pelo fato de empregarem cádmio em sua composição, essas baterias são consideradas as de maior impacto ambiental. Devido a isso e ao recente avanço tecnológico em armazenamento de hidrogênio, há uma tendência mundial em substituí-las pelas *baterias hidreto metálico/óxido de níquel*, cujas características operacionais são muito semelhantes às da níquel/cádmio. A principal diferença é que as baterias hidreto metálico/óxido de níquel usam como material ativo do anodo o hidrogênio absorvido na forma de hidreto metálico, em vez de cádmio. Com isso, a reação de descarga desse eletrodo é a oxidação do hidreto metálico, regenerando o metal, que na realidade é uma liga metálica:



Essa última equação, combinada com a eq. 10 dividida por dois, fornece a reação global de descarga da bateria hidreto metálico/óxido de níquel:



Um par de eletrodos fornece um potencial de circuito aberto de aproximadamente 1,20 V, a temperatura ambiente. Essas baterias apresentam desempenho superior ao das de níquel/cádmio, mas ainda são produzidas a um custo um pouco superior.

Bateria de íons lítio

Assim denominada, porque usa, em vez de lítio metálico, apenas íons lítio, presentes no eletrólito na forma de sais de lítio dissolvidos em solventes não aquosos. Durante o processo de descarga, os íons lítio migram desde o interior do material que compõe o anodo até dentro do material do catodo e os elétrons movem-se através do circuito externo, como ilustrado na Figura 5. Portanto, os materiais de eletrodos são formados geralmente por compostos de estrutura aberta (denominados compostos de intercalação), que permitem a entrada e saída de íons lítio. No anodo, o grafite é o

As baterias níquel/cádmio são consideradas as de maior impacto ambiental. Devido a isso e ao recente avanço tecnológico em armazenamento de hidrogênio, há uma tendência mundial em substituí-las pelas baterias hidreto metálico/óxido de níquel

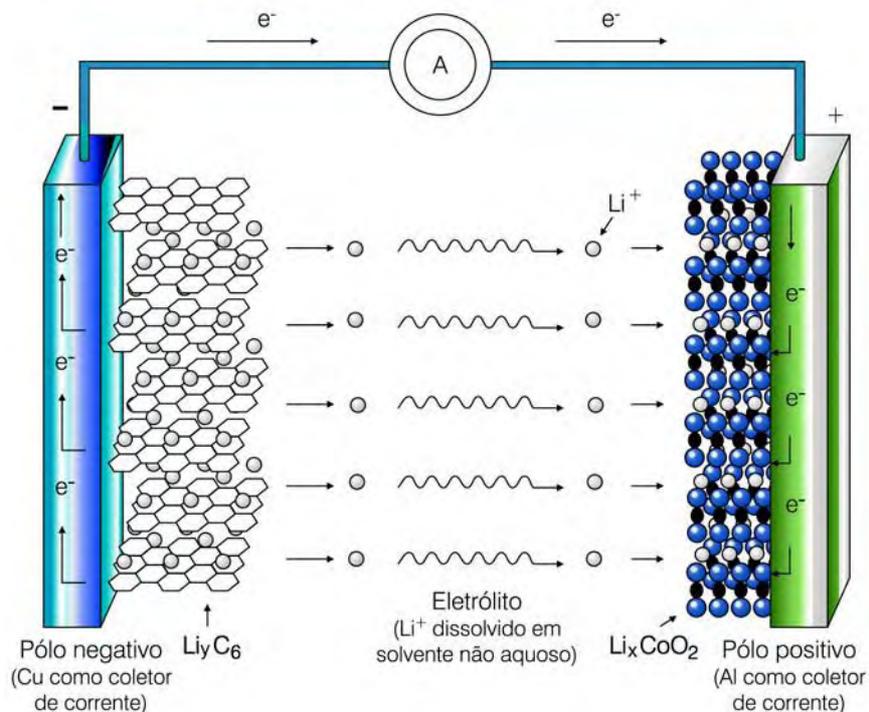


Figura 5 – Ilustração esquemática dos processos eletroquímicos que ocorrem nas baterias de íons lítio.

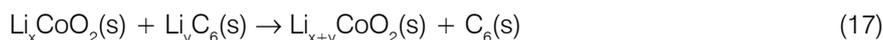
material mais comumente usado porque, além de apresentar estrutura lamelar, é capaz de intercalar reversivelmente os íons lítio entre suas camadas de carbono sem alterar significativamente sua estrutura. O cátodo contém, geralmente, um óxido de estrutura lamelar (LiCoO_2 , LiNiO_2 etc.) ou espinel (LiMnO_2), sendo o óxido de cobalto litiado o material mais freqüentemente usado pelos fabricantes de baterias de íons lítio. Dessa forma, durante a descarga da bateria a reação que ocorre no ânodo é a oxidação do carbono e a conseqüente liberação de íons lítio a fim de manter a eletroneutralidade do material:



No cátodo, o cobalto se reduz na estrutura do óxido, provocando a entrada de íons lítio em sua estrutura:



Conseqüentemente, a reação global de descarga é:



sendo que um par de eletrodos fornece um potencial de circuito aberto no intervalo de 3,0 V a 3,5 V, a temperatura ambiente. As principais características das baterias de íons lítio são bom desempenho e segurança aos usuários. Além disso, o fato de empregarem materiais de baixa densidade permite que sejam projetadas para terem menor massa, tamanho e custo.

Tanto as baterias hidreto metálico/óxido de níquel como as de íons lítio representam riscos ambientais muito menores do que as de níquel/cádmio. Apesar disso, uma estimativa da Secretaria do Meio Ambiente mostra que, em 1999, das 5 milhões de baterias de telefones celulares existentes no Brasil, 80% ainda eram de níquel/cádmio e apenas 18% de hidreto metálico/óxido de níquel e 2% de íons lítio.

Considerações finais

Como visto acima, algumas das baterias primárias e secundárias comercializadas no país ainda podem conter em sua composição metais pesados altamente tóxicos, como mercúrio, cádmio ou chumbo, e representam, conseqüentemente, sérios riscos ao meio ambiente. Uma delas é a pilha zinco/dióxido de manganês, que pode conter uma ou mais dessas substâncias tóxicas com teores acima do limite estabelecido pela Resolução nº 257 do CONAMA, a saber: 0,010% de mercúrio, 0,015% de cádmio e 0,200% de chumbo. As outras duas são as baterias chumbo/ácido e níquel/cádmio, uma vez que os metais chumbo e cádmio são usados como eletrodos dessas respectivas baterias. Em conformidade com a Resolução citada acima, essas pilhas e baterias usadas jamais devem ser: a) lançadas *in natura* a céu aberto, tanto em áreas urbanas como rurais; b) queimadas a céu aberto ou em recipientes, instalações ou equipamentos não adequados; c) lançadas em corpos d'água, praias, manguezais, terrenos baldios, peças ou cacimbas, cavidades subterrâneas, em redes de drenagem de águas pluviais, esgotos, eletricidade ou telefone, mesmo que abandonadas, ou em áreas sujeitas à inundação. A destinação final mais apropriada para essas pilhas e baterias usadas são os estabelecimentos que as comercializam, bem como a rede de assistência técnica autorizada pelos fabricantes e importadores desses produtos. Esses serão responsáveis pelos procedimentos de reutilização, reciclagem, tratamento ou disposição final ambientalmente adequada para as pilhas e baterias coletadas.

Baterias de hidreto metálico/óxido de níquel e as de íons lítio representam um risco ambiental muito menor do que as de níquel/cádmio. Apesar disso, das 5 milhões de baterias de telefones celulares existentes no Brasil em 1999, 80% ainda eram de níquel/cádmio; apenas 18% eram de hidreto metálico/óxido de níquel e 2% de íons lítio

Para saber mais

- BENNET, P.D.; BULLOCHK, K.R. e FIORINO, M.E. Aqueous rechargeable batteries. *The Electrochemical Society Interface*, v. 4, n. 4, p. 26-30, 1995.
- BRO, P. Primary batteries. *The Electrochemical Society Interface*, v. 4, n. 4, p. 42-45, 1995.
- BRODD, R.J. Recent developments in batteries for portable consumer electronics applications. *The Electrochemical Society Interface*, v. 8, n. 3, p. 20-23, 1999.
- LINDEN, D. (Editor). *Handbook of batteries and fuel cells*. 2ª ed. Nova Iorque: McGraw-Hill, 1995.
- MEGAHED, S. e SCROSATI, B. Rechargeable nonaqueous batteries. *The Electrochemical Society Interface*, v. 4, n. 4, p. 34-37, 1995.
- MELLO, S. Pilhas e baterias: indústria terá de oferecer opções para descarte. *Saneamento Ambiental*, v. 10, n. 61, p. 26-29, 1999.
- VINCENT, C.A.; BONINO, F.; LAZZARI, M. e SCROSATI, B. *Modern batteries: an introduction to electrochemical power sources*. Londres: Edward Arnold, 1984.

Na internet

- <http://www.batterydirectory.com/>
- <http://encarta.msn.com/find/Concise.asp?z=1&pg=2&ti=0669C000>
- <http://www.howstuffworks.com/battery.htm>

Garimpo Metal pesado Floresta Contaminação por Mercúrio e o Caso da Amazônia Veneno Contaminação Rios

Jurandir Rodrigues de Souza

Instituto de Química da Universidade de Brasília, Brasília - DF

Antonio Carneiro Barbosa

Técnico do IBAMA em Brasília - DF

Nos últimos anos a problemática da contaminação por mercúrio no Brasil, principalmente na Amazônia, tem sido bastante discutida. A partir do momento em que os dados reais sobre essa contaminação foram aparecendo como resultado de inúmeros projetos de pesquisadores nacionais e estrangeiros, algumas dúvidas foram esclarecidas e novas informações foram colocadas na mesa de discussão. Dentro dessa nova ótica alguns preconceitos foram quebrados, outros foram surgindo e propostas para a remediação da contaminação de mercúrio foram expostas. Este artigo apresenta uma breve exposição do problema do mercúrio no Brasil, com ênfase para a Amazônia, com o objetivo de enriquecer as discussões sobre a situação atual dessa contaminação, os seus riscos e as alternativas para o seu controle.

*contaminação por mercúrio, ribeirinhos,
Região Amazônica*

Este artigo foi publicado originalmente na revista *Química Nova na Escola* n. 12, 2000.

A produção mundial de mercúrio é estimada em 10 mil toneladas por ano para uso nas mais diversas áreas, como indústrias, mineração e odontologia, sendo os principais produtores o Canadá, a Rússia e a Espanha. A emissão *natural* de mercúrio é devida à gaseificação da crosta terrestre, emissões vulcânicas e evaporação natural de corpos d'água. A mineração de ouro e prata, a extração de mercúrio, a queima de combustíveis fósseis e a fabricação de cimento são exemplos de fontes *antropogênicas* de mercúrio.

A utilização do mercúrio no processo de amalgamação do ouro já era conhecida pelos fenícios e cartagineses em 2.700 a.C. Caius Plinius, em sua "História Natural" (50 d.C.) descrevia a técnica de mineração do ouro e prata com um processo de amalgamação similar ao utilizado hoje nas minas de ouro.

Na América do Sul, o processo de extração de ouro utilizando o mercúrio é usado em países como o Brasil, Venezuela, Colômbia, Bolívia, Guiana Francesa, Guiana, Equador e Peru desde os anos 80.

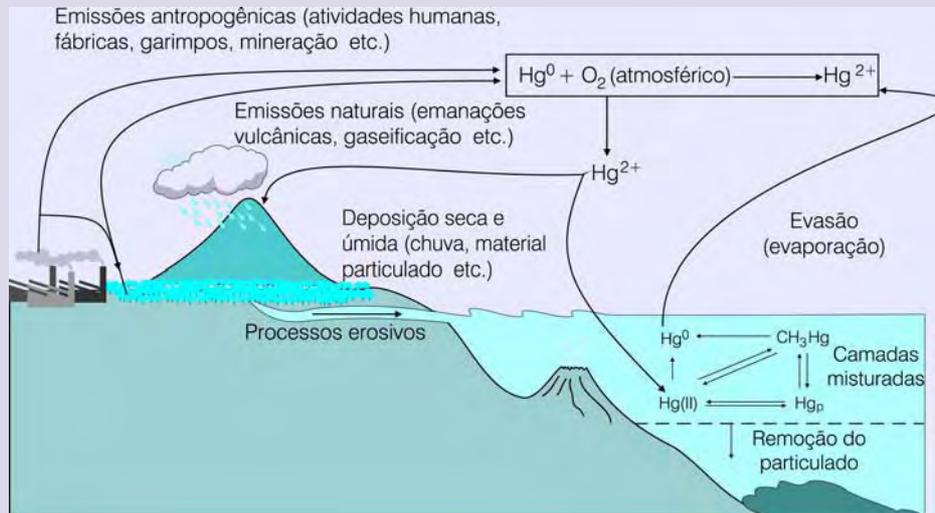
O mercúrio na natureza

Átomos desse elemento ocorrem naturalmente em três estados de oxidação: Hg^0 , que é a substância simples, e duas formas oxidadas, Hg_2^+ (mercuroso) e Hg^{2+} (mercúrico).

A substância simples é um metal líquido prateado, à temperatura ambiente. Na natureza o mercúrio se apresenta como o minério cinábrio, que contém sulfeto de mercúrio (HgS). As transformações do mercúrio no meio ambiente envolvem uma série de reações químicas complexas denominadas de ciclo do mercúrio, que é mostrado de forma simplificada na Quadro 1.

A substância simples e os compostos orgânicos de mercúrio (alquilmercuriais) são solúveis em solventes não polares. O vapor de mercúrio é mais solúvel em sangue do que em água, onde é ligeiramente solúvel. A solubili-

Quadro 1 - O ciclo global do mercúrio



- Mercúrio de origem antropogênica (originário de atividades humanas, fábricas, garimpos, mineração etc.) e o natural (devido a emanações vulcânicas, gaseificação da crosta terrestre etc.) são lançados no meio ambiente (atmosfera, corpos d'água e solos).
- Principalmente em ambientes aquáticos, sob determinadas condições físico-químicas, ou pela ação de microorganismos, os íons de mercúrio dos compostos inorgânicos podem se ligar a grupos orgânicos, transformando-se em compostos orgânicos de mercúrio (como por exemplo o metilmercúrio e dimetilmercúrio). Os íons de mercúrio também podem ser reduzidos a Hg^0 .
- Parte dos átomos de mercúrio, sob determinadas condições climáticas, pode evaporar, quer pela ação da queima de florestas e de amálgamas com ouro, quer por emanações vulcânicas.
- Na atmosfera o mercúrio na forma metálica pode ser oxidado pelo oxigênio do ar.
- Por meio de um processo denominado deposição seca e úmida o mercúrio precipita com as chuvas e materiais particulados, depositando-se nos solos e corpos d'água.

dade em água de alguns compostos de mercúrio segue a seguinte ordem crescente: $Hg(0)$, Hg_2Cl_2 , $Hg(CH_3)_2$ e $HgCl_2$.

Legislação brasileira sobre o mercúrio

O Brasil não produz mercúrio. A sua importação e comercialização são controladas pelo IBAMA por meio da portaria n. 32 de 12/05/95 e decreto n. 97.634/89, que estabelece a obrigatoriedade do cadastramento no IBAMA das pessoas físicas e jurídicas que "importem, produzam ou comercializem a substância mercúrio metálico".

O uso do mercúrio metálico na extração do ouro é também regulamentado. O decreto 97.507/89 proíbe o uso de mercúrio na atividade de extração de ouro, "exceto em atividades licenciadas pelo órgão ambiental competente". Por outro lado, a obrigatoriedade de recuperação das áreas degradadas pela atividade garimpeira é igualmente regulamentada pelo decreto 97.632/89.

Toxicologia

Os efeitos tóxicos causados pelo mercúrio metálico são produzidos depois de sua oxidação no

organismo e por causa de sua grande afinidade pelos grupos sulfidrilas das proteínas e, em menor grau, por grupos fosforilas, carboxílicos, amidas e aminas. Nas células, o mercúrio é um potente desnaturador de proteínas e inibidor de aminoácidos, interferindo nas funções metabólicas celulares. Ele causa também sérios danos à membrana celular ao interferir em suas funções e no transporte através da membrana, especialmente nos neurotransmissores cerebrais.

Por outro lado, estudos citogenéticos já realizados em pessoas contaminadas por Hg, em níveis considerados toleráveis pela Organização Mundial de Saúde (OMS), revelaram aumento significativo de quebras cromatídicas, com a possível interferência nos mecanismos de reparo do DNA. Esse efeito pode resultar em quebras cromossômicas e em morte celular, o que justificaria o quadro progressivo de deterioração mental nos indivíduos mais altamente contaminados.

Doenças causadas pelo mercúrio

O mercúrio penetra no organismo humano e se deposita nos tecidos, causando lesões graves, principalmente nos rins, fígado, aparelho digestivo e sistema nervoso central.

A exposição aguda, por inalação de vapores de mercúrio, pode acarretar em fraqueza, fadiga, anorexia, perda de peso e perturbações gastrointestinais.

A ingestão de compostos mercuriais, em particular cloreto mercúrico, provoca úlcera gastrointestinal e necrose tubular aguda.

A exposição excessiva ao Hg dá origem a reações psicóticas, como por exemplo delírio, alucinação e tendência suicida.

Os efeitos sobre a saúde humana, relacionados com a bioacumulação, a transformação e o transporte mundial do mercúrio inorgânico, se devem quase exclusivamente à conversão dos compostos de mercúrio em metilmercúrio (CH_3Hg).

Como o mercúrio chega ao homem

Existem duas maneiras de o mercúrio chegar até o homem: ocupacional e ambiental. A primeira é mais conhecida e está ligada ao ambiente de trabalho, como mineração e indústrias, geralmente associada aos garimpos de ouro ou às fábricas de cloro-soda e de lâmpadas fluorescentes. Trata-se de uma contaminação pelas vias respiratórias, que atinge o pulmão e o trato-respiratório, podendo ser identificada e quantificada pela dosimetria do mercúrio na urina.

A contaminação ambiental, por sua vez, é provocada pela dieta alimentar, comumente pela ingestão de peixes de água doce ou salgada, e afeta diretamente a corrente sanguínea, provocando problemas no sistema nervoso central. Sua comprovação é feita facilmente pela determinação do mercúrio no cabelo ou no sangue.

A substância simples e os sais de mercúrio são os principais responsáveis pela contaminação ocupacional, enquanto os compostos orgânicos de mercúrio, predominantemente o metilmercúrio, são responsáveis pela contaminação ambiental. Uma característica comum às duas formas de mercúrio é que ambas podem atravessar a barreira placentária afetando seriamente o feto.

O mercúrio e os peixes

Fala-se muito em nível trófico e cadeia trófica. O termo trófico vem da raiz grega *τροφη* que significa alimento. A cadeia trófica, isto é, a cadeia alimentar, é formada em sua base inferior por microrganismos e peixes de espécies mais simples (de nível trófico baixo), terminando por peixes predadores (de nível trófico elevado) e, finalmente, o homem, que se alimenta de peixes. As populações ribeirinhas da Bacia Amazônica são dependentes do consumo de peixe para o seu sustento, chegando a consumir em média 200 gramas por dia. Os peixes são concentradores naturais de mercúrio

e a sua quantidade nesses animais depende do alimento, bem como da idade e do tamanho. Como consequência, a contaminação humana por mercúrio depende não somente da quantidade de peixe consumida como também da espécie escolhida.

Simplificando, há os peixes de nível trófico baixo, que são os herbívoros e detritívoros, os de nível trófico intermediário, os omnívoros, e finalmente os de nível trófico elevado, os piscívoros, também chamados de carnívoros ou predadores. Os herbívoros (tambaqui, jatuarana, pirapitinga, pacu) se alimentam basicamente de sementes e de frutos, os detritívoros (bodo, jaraqui, curimatã, branquinha) se alimentam de matéria orgânica em decomposição e microrganismos associados à lama do fundo de lagos e margens de rios. Os detritos provindos da mata alagada, ninfas de insetos e zooplâncton são a base da alimentação dos omnívoros (aruanã, pirarara, cará, mandi, matrinhã, cuiu-cuiu). Os piscívoros se alimentam de outros peixes e por isso bioacumulam o mercúrio (dourada, filhote, piranha, tucunaré, surubim, pescada e pintado).

A contaminação por mercúrio na Amazônia

Após a sua utilização no processo de extração do ouro, o mercúrio residual é descartado nas margens e nos leitos dos rios, no solo, ou é lançado na atmosfera durante o processo de queima do amálgama¹ (Figura 1). Estando disponível no meio ambiente, esse mercúrio pode transformar-se no metilmercúrio (ciclo do mercúrio, Quadro 1). A metilação do mercúrio é o passo mais importante para a sua entrada na cadeia alimentar de organismos aquáticos, maiores bioconcentradores desse metal.

Hoje sabe-se que a velocidade de metilação realizada pelas bactérias é função de vários fatores, como o baixo pH da água, alta concentração de matéria orgânica dissolvida e baixo teor de material particulado, situação fácil de ser encontrada nos rios amazônicos. O pH do Rio Negro, por exemplo, é particularmente baixo, chegando a 3,8.

Cerca de 3 mil toneladas de mercúrio utilizadas nos garimpos de ouro da Amazônia, ao longo dos últimos 20 anos, vêm sofrendo oxidação e metilação nas condições propícias das águas e sedimentos dos rios, contaminando as populações ribeirinhas, através da ingestão de peixes.

Existem diversas pesquisas realizadas na Amazônia abordando a contaminação da população ribeirinha por mercúrio, mencionadas em sua maioria no artigo de Barbosa *et al.* (1997).

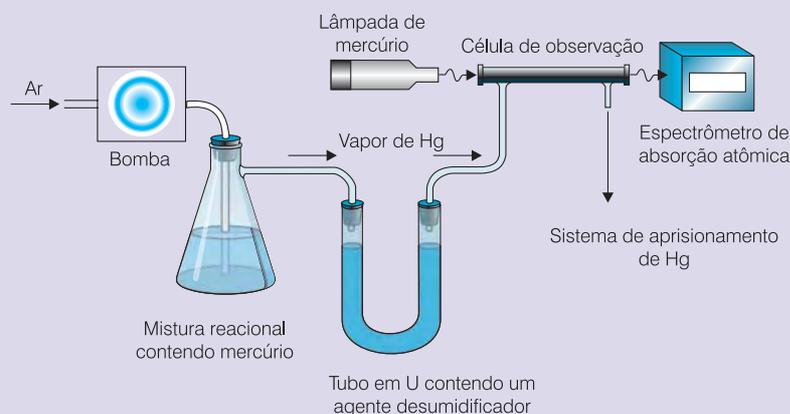
Em um período compreendido entre 1991 e 1993 foram analisadas amostras de cabelo de 270 ribeirinhos do rio Madeira, utilizando a espectrometria de absorção atômica com vapor frio (Quadro 2). O teor médio de mercúrio no cabelo desses indivíduos foi 17,2 microgramas de mercúrio por grama de cabelo ($\mu\text{g/g}$), com valor máximo obtido de 303 $\mu\text{g/g}$. Foram analisados também cabelos de 51 pessoas da região, mas com baixo consumo de peixe (controles). Para essas pessoas, o teor médio foi de 4,1 $\mu\text{g/g}$, nível que pode ser considerado normal.

Estudos semelhantes foram realizados em populações ribeirinhas dos rios Tapajós (1986-1994 e 1993) e Negro (1998-1999). Os teores médios obtidos foram, respectivamente, 18,6 $\mu\text{g/g}$, 16,3 $\mu\text{g/g}$ e 20,3 $\mu\text{g/g}$, e os valores máximos obtidos para

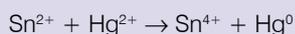


Figura 1 – Queima de amálgama em mercado de Jacareacanga - Pará. Foto de Antonio C. Barbosa.

Quadro 2 – Como determinamos o mercúrio em amostras de cabelo, urina, peixe e sangue?



A amostra contendo íons de mercúrio é colocada no frasco reacional. A seguir, adiciona-se ácido sulfúrico e cloreto de estanho(II). Nesse momento os íons de mercúrio são transformados em mercúrio metálico:



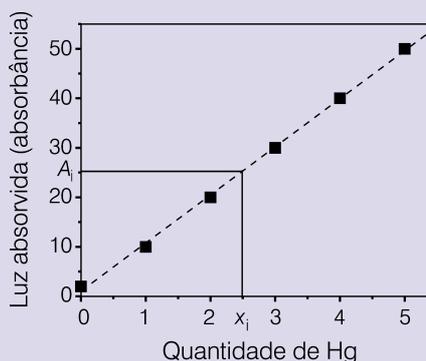
Utilizando o ar como gás de arraste, o vapor de mercúrio é conduzido até o sistema de detecção (célula de observação e espectrômetro de absorção atômica).

Após a interação do vapor com a luz de comprimento de onda específico do mercúrio, no interior da célula de detecção, o vapor é conduzido para um sistema de aprisionamento do mercúrio.

Quanto maior a quantidade de mercúrio no vapor, maior será a interação com a luz. É possível

montar um gráfico de quantidade de luz absorvida (absorbância) em função da quantidade de mercúrio.

Para uma leitura feita no espectrômetro (absorbância, A) obtém-se a correspondente quantidade de mercúrio contida na amostra (x_i), como mostrado abaixo.



essas populações foram 176 $\mu\text{g/g}$, 151 $\mu\text{g/g}$ e 59 $\mu\text{g/g}$.

O teor médio de mercúrio em cabelo obtido em vários projetos para populações da Amazônia foi de 19,1 $\mu\text{g/g}$, considerado elevado, merecendo atenção especial dos órgãos do governo responsáveis pelo meio ambiente e saúde da população brasileira. A Tabela 1 mostra a situação dos teores de mercúrio dos peixes piscívoros da Amazônia, de nível trófico elevado. Os resultados são transcritos principalmente do trabalho publicado por Malm (1998). O teor médio obtido para os piscívoros, 669 ng/g , está acima dos limites estipulados pela OMS. O consumo diário de peixes, durante um longo período, correspondente a 200 microgramas de mercúrio (isto é, consumo de 500 gramas de peixe contendo 400 ng/g de mercúrio), acarreta o acúmulo de 50 $\mu\text{g/g}$ de Hg no cabelo (OMS, 1990).

A Tabela 2 mostra a correspondência entre o consumo diário de mercúrio e o teor no cabelo, e respectivos indicadores. São apresentados também, para efeito de comparação, os teores médios de mercúrio encontrados em algumas populações ribeirinhas da Amazônia (Figura 2).

Tabela 1 – Teores médios de mercúrio (τ) em peixes piscívoros da Amazônia.

Local	N	τ / (ng/g)
Rio Madeira	370	850
Rio Madeira	154	665
Rio Madeira	251	634
Rio Tapajós	118	498
Rio Tapajós	212	499
Rio Tapajós	73	511
Rio Tapajós	85	723
Rio Negro	113	780
Rio Negro	214	635
Total	1590	669

N = número de amostras analisadas.

Soluções propostas

A eliminação do metilmercúrio e o desenvolvimento de sinais e sintomas de intoxicação dependem de fatores genéticos ainda desconhecidos que, de certa forma, protegem o indivíduo da intoxicação. Esses fatores estão relacionados com o sexo, a idade, hormônios, a taxa de hemoglobina e a capacidade de indução das metalotioneínas, que podem funcionar como barreiras protetoras do cérebro e sobretudo do cerebelo, onde o acúmulo é mais pronunciado.

Existem algumas propostas relacionadas ao controle e remediação da poluição do mercúrio. No entanto, a questão do mercúrio passa antes por um processo de educação ambiental de todos os agentes envolvidos: garimpeiros, pescadores, índios, ribeirinhos e principalmente pela ação fiscalizadora da sociedade. A recuperação das áreas contaminadas por mercúrio em Minamata foi obtida com medidas drásticas, como pesadas multas

para a empresa poluidora, proibição de pesca, compensação financeira para os pescadores e dragagem.

Enumeramos algumas propostas para o controle e remediação da poluição do mercúrio no Brasil:

- uso de retorta e capelas nas casas de queima do amálgama;
- maior eficiência no processo de garimpagem: calha mais adequada;
- criação de centrais de bateamento;
- reprocessamento dos rejeitos com altas concentrações de mercúrio;
- recuperação das áreas degradadas;
- educação ambiental e recomendação para ingestão de peixes de baixo nível trófico;
- monitoramento da contaminação nos diversos compartimentos ambientais.

Tabela 2 – Indicadores e sintomas em função dos teores de mercúrio.

Indicador	Consumo diário de mercúrio		Teores de Hg em cabelo ($\mu\text{g/g}$)
	$\mu\text{g/kg}$ do indivíduo	$\mu\text{g/indivíduo}$ de 55 kg	
Dose de referência (EPA/OMS)	0,3	16,5	4
Máximo permitido (FAO/OMS)	0,5	27,5	7
Desenvolvimento anormal de crianças	0,7-1,5	38,5-82,5	10-20
Sintomas sub-clínicos	1,5-2,1	82,5-115,5	> 20
Sintomas clínicos - parestesia (OMS 1976)	2,4-5,5	132-302,5	> 50
Ribeirinhos da Amazônia	1,4	77,0	19,1

EPA = Agência para Proteção do Meio Ambiente – EUA

FAO = Organização para Alimento e Agricultura – Nações Unidas



Figura 2: Criança Kaypó da aldeia Gorotire, uma das populações ribeirinhas sob risco de contaminação por mercúrio. Foto de Iara Brasileiro.

Considerações finais

O mercúrio é um metal altamente tóxico e encontra-se disseminado em rios e solos da Amazônia, em grande parte devido à sua utilização na recuperação do ouro em garimpos de forma indiscriminada e sem qualquer controle. Publicações recentes, no entanto, comprovam também a presença natural do mercúrio em algumas regiões, sem histórico de atividade garimpeira, como é o caso do Rio Negro.

No Brasil, especialmente na Amazônia, o mercúrio metálico, sob a forma de vapor, é lançado na atmosfera pela queima do amálgama, enquanto no Japão o mercúrio despejado diretamente na Baía de Minamata foi o metilmercúrio. As condições dos rios da Amazônia, favorecendo a metilação do mercúrio, sugerem um cenário de contaminação contínua e crescente.

Os resultados de pesquisas na Amazônia apontam para teores de mercúrio preocupantes nos peixes piscívoros, com média de 669 ng/g, acima, portanto, dos 500 ng/g considerados pela OMS como limite máximo permitido para consumo. Como consequência desse resultado, é também elevado o teor de Hg em amostras de cabelo da população ribeirinha da Amazônia (média de 19,1 µg/g), em cuja dieta o consumo do peixe é predominante.

Embora existam algumas propostas isoladas na tentativa de solucionar o extenso e grave problema da contaminação por mercúrio no Brasil, especialmente na Amazônia, entendemos que o pontapé inicial deveria ser uma grande campanha de conscientização ambiental, a começar pelos principais agentes poluidores, os garimpeiros.

Alguns cuidados deveriam ser tomados no processo de recuperação do ouro, evitando-se deixar resíduos de mercúrio no solo e no leito dos rios, procurando sempre queimar o amálgama¹ mercúrio-ouro em retortas, para que o vapor de mercúrio não vá para a atmosfera, assim evitando a degradação do meio ambiente na área de garimpo.

Nota

¹O termo “queima do amálgama” refere-se ao processo de separação do mercúrio metálico do amálgama mercúrio-ouro, por aquecimento usando um maçarico a gás.

Referências bibliográficas

BARBOSA, A.C.; GARCIA, A.M. e SOUZA, J.R. Mercury contamination in hair of riverine populations of Apicás Reserve in the Brazilian Amazon. *Water, Air and Soil Pollution*, v. 97, n. 1-2, p. 1-8, 1997.

MALM, O. Gold mining as a source of mercury exposure in the Brazilian Amazon. *Environmental Research*, seção A, v. 77, p. 73-78, 1998.

OMS. *Environmental Health Criteria 101 - Methylmercury*. Geneva: Organização Mundial de Saúde, 1990.

Para saber mais

BARBOSA, A.C. Mercury in Brazil: present or future risks? *Ciência e Cultura - Journal of the Brazilian Association for the Advancement of Science*, v. 49, n. 1-2, p. 111-115, 1997.

LIMAVERDE FILHO, A.M. e CAMPOS, R.C. Redução seletiva aplicada à especiação de mercúrio em peixes: uma adaptação do método de “Magos”. *Química Nova*, v. 22, n. 4, p. 477-482, 1999.

MICARONI, R.C.C.M.; BUENO, M.I.M.S. e JARDIM, W.F. Compostos de mercúrio. Revisão de métodos de determinação, tratamento e descarte. *Química Nova*, v. 23, n. 4, p. 487-495, 2000.

MOREIRA, J.C.; PIVETTA, F.R.; KURIYAMA, G.S.; BARROCAS, P.R.; NICOLA, F.L.G.; ROSA, F.C.G. e JACOB, S.C. A presença de mercúrio em casa constitui um risco de contaminação humana e/ou ambiental? Um relato de caso. *Química Nova*, v. 20, n. 4, p. 420-422, 1997.



A Química e a Conservação dos Dentes

Um pouco de história

A preocupação em cuidar dos dentes remonta às mais antigas civilizações, a exemplo dos gregos, romanos, árabes, maias e chineses. Celso (25 aC - 50 dC), que viveu em Roma, preconizava a extração de dentes de leite para facilitar a erupção do dente permanente no lugar certo na arcada dentária.

As atividades relacionadas aos tratamentos dentários eram, inicialmente, exercidas por pessoas não qualificadas (ambulantes, ciganos, barbeiros, caixeiros-viajantes) e, posteriormente, já no século II da nossa era, por profissionais ligados à medicina. O aprendizado das práticas odontológicas seguiu os moldes das corporações medievais. O indivíduo que almejava aprender um ofício associava-se a um mestre que lhe ensinava os segredos desse ofício. Essa situação permaneceu inalterada por muito tempo, pois a primeira escola de odontologia do mundo foi criada nos Estados Unidos em 1840.

Entre as práticas usadas para a conservação dos dentes, os dentífricos ocupam um papel importante. O primeiro creme dental surgiu no Egito há cerca de quatro mil anos. Era um material à base de pedra-pomes pulverizada e vinagre, que era esfregado nos dentes com pequenos ramos de arbustos. No século I da nossa era, os romanos acrescentaram a essa pasta mel, sangue, carvão, olhos de caranguejos, ossos moídos da cabeça de coelhos e urina humana, todos com a finalidade de deixar os dentes mais brancos.

O primeiro dentífrico comercial foi desenvolvido em 1850, nos Estados Unidos. Inicialmente na forma de um pó, foi modificado posteriormente para a forma de pasta, com o nome comercial de “Creme Dentífrico do Dr. Sheffield”. Um aumento da comercialização das pastas de

Roberto R. da Silva, Geraldo A. Luzes Ferreira e Joice de A. Baptista

Instituto de Química da Universidade de Brasília, Brasília - DF

Francisco Viana Diniz

Faculdade de Ciências da Saúde da Universidade de Brasília, Brasília - DF

Neste artigo são abordados alguns aspectos da química dos dentífricos, destacando sua composição variada, bem como sua função na limpeza e prevenção das cáries dentárias. Também é feita uma pequena discussão sobre as restaurações acrílicas e com amálgamas.

dentífricos, higiene bucal, amálgamas

Este artigo foi publicado originalmente na revista *Química Nova na Escola* n. 13, 2001.

dente ocorreu quando elas começaram a ser embaladas em tubos metálicos flexíveis.

Hoje, os dentífricos podem ser encontrados na forma de pó, de pasta (creme dental) e de líquido, embora os dentífricos líquidos não sejam muito comuns em nosso país.

A função primordial dos dentífricos é atuar como agente auxiliar na escovação, visando à limpeza dos dentes. A relação entre alimentação, higiene bucal e prevenção das cáries é o que veremos a seguir.

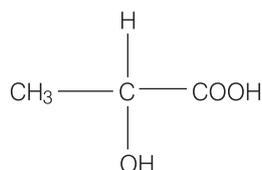
As cáries dentárias e a alimentação

Na nossa boca existem milhares de microrganismos. Por causa de sua temperatura amena e constante de 36 °C, de sua umidade permanente e pelo fluxo de nutrientes (alimentos) durante alguns períodos do dia, a boca pode ser considerada como um ambiente ideal para a proliferação de microrganismos.

Qual é a relação entre esses microrganismos, como por exemplo, as bactérias e as cáries dentárias?

A teoria que relaciona o aparecimento de cáries com o desenvolvimento de colônias de bactérias na boca foi formulada, em 1890, por um cientista americano chamado W.D. Miller. A experiência que mostrou o elo entre bactérias e cáries foi a seguinte: Miller colocou um dente extraído em um tubo, adicionou um pouco de saliva e um pedaço de pão. Com o passar do tempo observou que o dente se corroía. Quando ele aquecia a saliva, causando, portanto, a morte das bactérias, o dente não se corroía. A partir dessas e de outras observações, Miller formulou a hipótese de que a cárie resultava da produção de ácidos orgânicos pelas bactérias orais a partir de um alimento fermentável, como, por exemplo, o pão.

Hoje sabe-se que as bactérias vão lentamente formando um biofilme que se deposita sobre a superfície do dente. Alimentando-se do açúcar contido nos alimentos (ou formado pela ação da saliva sobre outras substâncias), as bactérias vão se multiplicando rapidamente, dando origem ao que se denomina placa bacteriana. O açúcar, ao ser metabolizado pelas bactérias, é transformado em ácidos orgânicos. Um deles é o ácido láctico. Os outros ácidos, em quantidades pequenas, são o acético, o fórmico e o succínico. Deve ser observado que mesmo em dietas pobres em açúcares constata-se também a formação de placas bacterianas.



Ácido láctico

Os ácidos produzidos na fermentação (metabolismo) do açúcar pelas bactérias são os responsáveis pelas cáries. Mas como isso ocorre?

O esmalte do dente (Figura 1) é constituído de um material muito pouco solúvel em água e cujo principal componente é a hidroxiapatita - $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$, um composto iônico formado por íons Ca^{2+} , PO_4^{3-} e OH^- . Em um processo chamado desmineralização, uma quantidade muito pequena de hidroxiapatita pode se dissolver, em processo descrito pela equação:



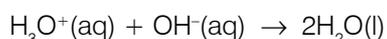
Esse processo é normal e ocorre naturalmente. O processo inverso, a mineralização, também é normal.

A mineralização e a desmineralização podem acontecer com rapidez diferentes. Durante a formação do dente (dentro do osso), ocorre somente a mineralização. Quando o dente é exposto ao meio bucal, a desmineralização passa a ocorrer. Nos adultos, por sua vez, os dois processos podem ocorrer com a mesma rapidez, isto é, atingem um equilíbrio. Uma condição de equilíbrio acontece quando duas reações opostas entre si ocorrem com a mesma rapidez. No entanto, em crianças ou em adultos, se a concentração de ácidos torna-se muito elevada em um determinado ponto sobre a superfície do esmalte, a rapidez da desmineralização pode ser maior que a da mineralização, conduzindo à formação de uma cárie dentária.

Os principais fatores que determinam a estabilidade da apatita na presença da saliva são o pH e as concentrações dos íons cálcio, fosfato e flúor em solução. A concentração dos íons $H_3O^+(aq)$, que altera o pH da saliva, é uma das principais responsáveis pela deterioração dos dentes. À medida que a placa bacteriana cresce, a concentração dos ácidos orgânicos produzidos pelas bactérias cresce, aumentando a concentração dos íons $H_3O^+(aq)$, segundo a equação:



Os íons $H_3O^+(aq)$ podem reagir com os íons $OH^-(aq)$, produzidos na desmineralização, levando à formação de água:



Os íons $OH^-(aq)$ são essenciais no processo de mineralização; sua neutralização por íons $H_3O^+(aq)$ reduz consideravelmente este processo. Se a desmineralização se processa com uma dada rapidez e a mineralização em uma rapidez muito menor, o resultado é uma perda de material do dente.

O pH normal da boca é em torno de 6,8; a desmineralização torna-se predominante a um pH abaixo de 5,5. A diminuição do pH na boca pode ser causada diretamente pelo consumo de frutas ácidas e bebidas, ou indiretamente pela ingestão de alimentos contendo carboidratos fermentáveis que permitem produção de ácidos pelas bactérias. No caso da ingestão de um refrigerante contendo açúcar, o pH da boca pode atingir um valor abaixo de 5,5 após 10 minutos. Ele retorna ao seu valor normal após uma hora, quando o açúcar é removido (ou consumido).

O que pode ser feito para prevenir o aparecimento de cáries? As pastas de dente desempenham um papel importante nesse processo preventivo, como veremos a seguir.

Os efeitos dos dentífricos sobre os dentes

Há um ditado que diz: “Em dentes limpos não se formam cáries”. A limpeza dos dentes envolve a escovação com uso de dentífricos. Mas, do ponto de vista da química, o que é um dentífrico?

A principal função do dentífrico é auxiliar na limpeza de superfícies acessíveis dos dentes, retirando manchas e detritos e dificultando a formação da placa bacteriana.

A composição básica de dentífrico em pasta geralmente envolve substâncias que desempenham as funções de abrasivo ou agente de polimento, corante, espumante, umectante, aglutinante, edulcorante,

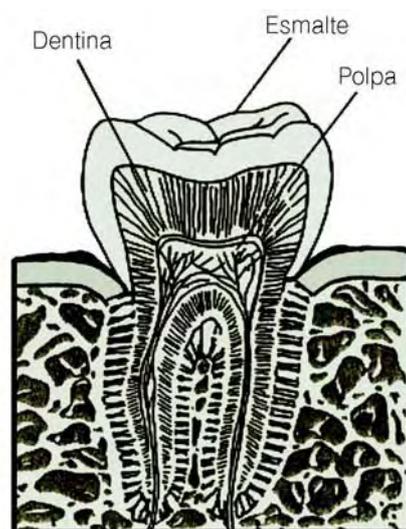


Figura 1 – O esmalte do dente é constituído de hidroxiapatita. Logo abaixo do esmalte está a dentina. Os nervos e os vasos sanguíneos estão localizados na polpa.

Tabela 1 – Composição típica de dentífrícios (porcentagens em massa).

Componente	%
Abrasivo	20-55
Solvente (água)	15-25
Umectante	20-35
Espumante	1-2
Aglutinante	1-3
Corante e edulcorante	1-2
Agente terapêutico	0-1

solvente e agente terapêutico. A composição típica dos dentífrícios é ilustrada na Tabela 1.

Além das substâncias com essas funções, outras podem ser adicionadas: flavorizantes, espessantes, conservantes e aromatizantes.

Do ponto de vista da função do dentífrício, os abrasivos são os ingredientes mais importantes, por serem essenciais para a limpeza adequada. Os abrasivos são pós insolúveis em água, geralmente sintetizados em laboratório para manter a uniformidade e tamanho das partículas. Os abrasivos mais comumente usados são: monoidrogenofosfato de cálcio (CaHPO_4), carbonato de cálcio (CaCO_3), pirofosfato de cálcio ($\text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$), dióxido de silício (SiO_2), óxido de magnésio (MgO), metafosfato de sódio (NaPO_3) e óxido de alumínio (Al_2O_3). Um dentífrício pode conter um ou mais tipos de abrasivos.

A pasta de dente deve ser suficientemente abrasiva para remover manchas, mas não para desgastar demais o esmalte; sua ação deve proporcionar uma superfície limpa e polida. Diferentes abrasivos promovem diferentes graus de polimento nos dentes.

O espumante é um detergente. Sua função é diminuir a tensão superficial da pasta, permitindo a penetração nas fissuras, e auxiliar na remoção dos detritos da superfície do esmalte. O espumante mais comum empregado em pastas é o sulfato de sódio e laurila - $\text{H}_3\text{C}[\text{CH}_2]_{10}\text{CH}_2\text{OSO}_3\text{Na}$.

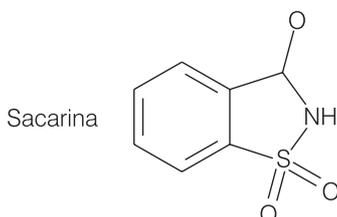
Os flavorizantes são óleos com sabor que promovem um efeito refrescante (óleo de hortelã, por exemplo).

O solvente usado é a água. Ela proporciona a consistência desejada, mantendo o dentífrício fluido; ao mesmo tempo solubiliza outros constituintes, como os corantes e os fluoretos.

O umectante é adicionado para impedir a secagem do dentífrício (tal como acontece quando a tampa não é recolocada no tubo, após o uso) e melhora o aspecto e a consistência do produto. Os umectantes mais comumente usados são a glicerina - $\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3$, o sorbitol - $\text{C}_6\text{H}_8(\text{OH})_6$ e o polietilenoglicol - $\text{HOCH}_2\text{CH}_2-[\text{OCH}_2\text{CH}_2]_n-\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$.

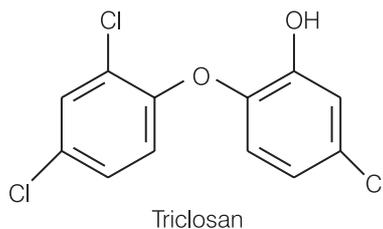
O aglutinante é incluído para impedir a separação dos componentes líquidos e sólidos e auxiliar na manutenção da consistência do dentífrício. No passado, gomas naturais eram usadas para este fim. Atualmente, são substituídas por materiais sintéticos. Um exemplo é a carboximetilcelulose.

Os edulcorantes são substâncias que conferem ao dentífrício o sabor doce. Sacarose (açúcar comum) e outros carboidratos não podem ser usados como edulcorantes porque são metabolizados por bactérias, originando ácidos. Os edulcorantes mais comumente usados são o sorbitol $\text{C}_6\text{H}_8(\text{OH})_6$ e a sacarina.



Os agentes terapêuticos têm funções específicas nos dentífrícios. Alguns são bactericidas (formol e triclosan). Outros são antiácidos, como o bicarbonato de sódio - NaHCO_3 . Alguns dentífrícios

contêm ingredientes que auxiliam na remoção das manchas causadas nos dentes pelo cigarro. Algumas pessoas possuem dentes hipersensíveis (sensação de dor causada por alimentos quentes, frios ou azedos); nesses casos, os dentistas recomendam o uso de dentífrícios contendo nitrato de potássio (KNO₃), ou citrato de sódio (C₆H₅O₇Na₃) ou cloreto de estrôncio (SrCl₂). O agente terapêutico mais importante é um composto fluorado. Testes têm demonstrado que o flúor ajuda a proteger os dentes contra as cáries, como será visto adiante.



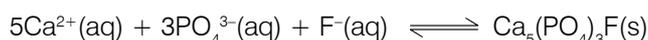
O flúor e a prevenção da cárie

O fato de que compostos contendo flúor têm efeitos sobre o esmalte dos dentes é conhecido desde 1874. Naquela ocasião, um médico na Alemanha observou mudanças nos dentes de cães quando compostos fluorados eram adicionados à alimentação. Em 1902, um farmacêutico holandês anunciou a venda de um composto fluorado para fortalecer os dentes. Em 1908, dentistas norte-americanos observaram a presença de manchas nos dentes de crianças da cidade de Colorado Springs. Essas manchas foram atribuídas à presença de grandes quantidades de compostos fluorados na água que abastecia a cidade.

Daquela época até os dias de hoje, muito se avançou na compreensão do efeito dos compostos fluorados sobre a prevenção da cárie. O princípio ativo nesse processo é o íon fluoreto, F⁻. Este íon interfere no equilíbrio mineralização/desmineralização visto anteriormente:



Na presença dos íons F⁻, um outro equilíbrio se estabelece, a saber:



Nesse processo uma nova substância é formada, a fluorapatita - Ca₅(PO₄)₃F. O esmalte passa a ser, então, um material modificado. Os íons fluoreto não substituem todos os íons OH⁻. Uma pequena incorporação de íons F⁻ é suficiente para alterar as propriedades do esmalte, tornando-o menos suscetível ao ataque por ácidos. Esse novo material, contendo uma mistura de hidroxiapatita - Ca₅(PO₄)₃OH e fluorapatita - Ca₅(PO₄)₃F, é denominado fluorohidroxiapatita.

Os compostos de flúor mais usados são o fluoreto de sódio (NaF), o fluoreto de estanho II (SnF₂) e o monofluorofostato de sódio (Na₂PO₄F). A presença desse último composto nos rótulos dos dentífrícios é identificada pela sigla MFP (do inglês, *meta fluor phosphate*).

A quantidade de flúor presente nas pastas é geralmente indicada em partes por milhão (ppm). Assim, 1500 ppm de flúor significam 1,500 mg de composto fluorado por grama de pasta (1,500 mg/g).

Os dentífrícios, agindo em colaboração com a escova, auxiliam na limpeza dos dentes e possibilitam a incorporação de íons fluoreto ao esmalte. Essas duas ações têm contribuído fortemente para a prevenção das cáries.

A Tabela 2 contém exemplos de alguns dentífrícios comerciais, indicando suas respectivas composições.

Tabela 2: Composição qualitativa de alguns dentífricos comerciais.

Produto	Aglutinante	Agente terapêutico	Aromatizante	Conservante		
Colgate (herbal)	carboximetil celulose	monofluorofosfato de sódio; eugenol	extrato de <i>Eucalyptus globulus</i> ; extrato de mirra; extrato de manzanila; extrato de melaleuca; extrato de salvia	metilparabeno		
Sensodine (original)	cellosize	cloreto de estrôncio; carbonato de cálcio	aromas (não especificado)	—		
Gessy (cristal)	carboximetil celulose (sal de sódio)	monofluorofosfato de sódio	óleo de hortelã	formaldeído		
Sorriso (ação total)	carboximetil celulose	bicarbonato de sódio; triclosan; monofluorofosfato de sódio	presente e não especificado	metilparabeno; triclosan		

Produto	Abrasivo	Espumante	Corante e edulcorante	Solvente	Umectante	Espessante
Colgate (herbal)	silicato de sódio	lauril sulfato de sódio	sacarina; sorbitol; verde 7	água	polietileno-glicol	carragenato; goma celulosa
Sensodine (original)	óxido de titânio; óxido de silício	igpon	sacarina sódica; sorbitol; corante vermelho	água	glicerina	—
Gessy (cristal)	carbonato de cálcio; dióxido de silício; fosfato trisódico; silicato de sódio	lauril sulfato de sódio e extrato de juá	sorbitol; sacarina	água	—	—
Sorriso (ação total)	carbonato de cálcio; silicato de sódio	lauril sulfato de sódio	xilitol; sorbitol; sacarina sódica	álcool etílico; água	—	—

Mesmo nos casos em que a cárie acaba se formando, a química ainda tem propostas para atuar em prol do conforto humano, como visto a seguir.

Restauração dos dentes: amálgamas e polímeros

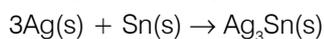
Uma vez formada a cárie, nosso organismo não é capaz de restaurar o tecido lesado. Assim sendo, os dentistas têm que retirar o tecido lesado, preparar e desinfetar bem a cavidade e, então, tapá-la com um material que tenha propriedades tais como: boa resistência física a atritos, boa resistência química a ácidos, pouca expansibilidade, cor próxima da cor natural dos dentes, bom acabamento, preço acessível, etc. As restaurações de dentes são feitas usando basicamente dois tipos de materiais: os amálgamas e as resinas poliméricas.

Define-se como amálgama toda combinação do mercúrio metálico com metais e/ou com ligas metálicas. Os amálgamas possuem excelentes propriedades físicas e químicas (resistência ao atrito, pouca expansibilidade, reatividade lenta com ácidos); quanto à cor, eles deixam muito a desejar, por essa ser muito diferente da cor natural dos dentes. Os químicos desenvolveram e colocaram à disposição dos dentistas dezenas de ligas, cujos componentes principais estão indicados na Tabela 3.

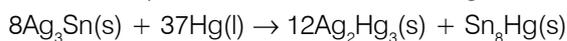
Tabela 3 – Ligas metálicas mais comumente usadas em odontologia e suas respectivas composições (porcentagens em massa).

Metais	%
Prata	66,7 a 74,5
Estanho	25,3 a 27,0
Cobre	0,0 a 6,0
Zinco	0,0 a 1,9

Nessas ligas, a prata reage com o estanho, formando o composto Ag_3Sn , segundo a reação:



A liga de prata-estanho (contendo o composto Ag_3Sn) é muito quebradiça. Essa propriedade é alterada adicionando-se quantidades variáveis dos metais cobre e zinco. Ao se misturar a liga prata-estanho com o mercúrio, no momento de tapar a cavidade, ocorre a seguinte reação:



Curiosidades

- Uma lenda dos assírios (século sétimo antes de Cristo) dizia que uma cárie era causada por uma minhoca que bebia o sangue contido nos dentes e que retirava seu alimento pela raízes encrustadas no osso da mandíbula.
- O homem de Neanderthal usava palitos obtidos de gravetos.
- Os romanos desenvolveram palitos refinados feitos de ouro e prata.
- Marco Polo, em sua viagem à China em 1270, observou o hábito de homens e mulheres cobrirem os dentes com ouro, moldado no formato dos dentes. Não se sabe se a função era terapêutica ou apenas cosmética.
- O óxido nitroso (N_2O) foi usado como anestésico pela primeira vez em 1844 na extração de um dente.
- O éter etílico ($CH_3-CH_2-O-CH_2-CH_3$) foi usado como anestésico pela primeira vez também na extração de dentes em 1846.
- Se dermos uma mordida em um pedaço de papel alumínio colocado em cima de uma obturação de amálgama em um dente nosso, sentiremos uma forte dor causada por uma corrente galvânica que pode chegar a até $30 \mu A$.

O composto Ag_3Sn é usado em excesso. Assim, o amálgama é um material complexo contendo os compostos metálicos Ag_3Sn (que não reagiu por estar em excesso), Ag_2Hg_3 , Sn_8Hg , além dos metais cobre e zinco.

A despeito da discussão sobre os efeitos tóxicos causados aos seres vivos pelo mercúrio (vide *Química Nova na Escola*, n. 12, novembro de 2000), pesquisas revelam que a contaminação proveniente de amálgamas é relativamente baixa. O amálgama propicia mais vantagens do que desvantagens, principalmente no que diz respeito ao preço e à durabilidade. Isso faz do amálgama um material de amplo uso na odontologia atualmente.

O segundo tipo de material usado nas restaurações é designado pelo nome de resinas poliméricas ou simplesmente polímeros. O que são polímeros? Polímeros (do grego *poli* = muitos, *meros* = partes) são compostos de cadeias muito longas formados pela repetição de unidades moleculares pequenas, chamadas de monômeros. Um polímero muito usado em odontologia é o polimetacrilato de metila, obtido pela polimerização do metacrilato de metila e/ou de outros monômeros derivados do metacrilato (Figura 2).

Essa reação de polimerização ocorre na presença de catalisadores. Há dois tipos de catalisadores usados: a luz ultravioleta e o peróxido de benzoila. O monômero é um líquido viscoso e o polímero um sólido resistente. Para modificar as propriedades do polímero, são misturados ao monômero, antes da colocação do catalisador, os chamados agentes de carga. Estes são substâncias finamente pulverizadas, que servem para melhorar a resistência física e química, a cor, evitar expansão durante a polimerização, e facilitar o acabamento final após ser colocado na cavidade do dente. Os agentes de carga mais comuns são o vidro, a sílica, outros polímeros etc., todos finamente pulverizados. As partículas têm forma definida e medem de $1 \mu m$ a $20 \mu m$ de diâmetro ($1 \mu m = 10^{-6} m$).

Pesquisas revelam que a contaminação proveniente de amálgamas é relativamente baixa. O amálgama propicia mais vantagens do que desvantagens, principalmente no que diz respeito ao preço e à durabilidade

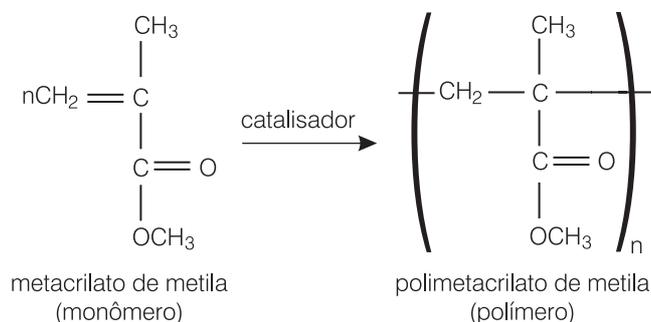


Figura 2 – Reação de polimerização do metacrilato de metila.

As resinas poliméricas têm muitas vantagens sobre o amálgama. A principal delas é a cor, que chega a ser idêntica à dos dentes, pois o dentista pode alterar esta propriedade pela adição de diferentes cargas. As principais desvantagens são o preço alto e sua menor durabilidade.

Além de serem usadas para a restauração de cáries dentárias, as resinas poliméricas são empregadas na fabricação de dentes artificiais e de dentaduras.

Concluindo

A compreensão sobre o mecanismo de formação das cáries permitiu o desenvolvimento de procedimentos para evitá-las, incluindo-se aí o uso de dentifícios como auxiliar na escovação dos dentes.

A variedade de pastas de dentes é muito grande. Qual pasta devemos usar? É impossível uma única pasta atender a todas as necessidades das pessoas. No entanto, entender um pouco sobre sua composição e função pode nos auxiliar em algumas decisões. Por exemplo, certas pessoas têm dentes com exposição da dentina, que é muito mais macia e sensível que o esmalte. Para essas pessoas é recomendável o uso de dentifícios sem abrasivos. Entretanto, é importante ressaltar que os dentifícios não são agentes milagrosos que resolverão todos os problemas da saúde bucal. Por outro lado, o fato deles conterem determinadas substâncias com funções específicas não os torna produtos de consumo indispensáveis. De fato, para alguns dentistas o uso de dentifícios é perfeitamente dispensável. Entendem que uma boa escovação após a ingestão de alimentos é suficiente para a prevenção das cáries.

Enfim, os dentifícios são um material complexo, contendo substâncias compatíveis (que não reagem entre si, ou que reagem muito lentamente) com a finalidade de auxiliar a higiene bucal, com conseqüente redução das cáries e também produzindo um hálito com odor agradável.

Para saber mais

DUARTE, M. *O livro das invenções*. São Paulo: Cia das Letras, 1997. p. 81-82.

LARA, E.H.G.; PANZERI, H.; OGASAWARA, M.S.; DEL CIAMPO, J.O. e MORAES, J.T. Avaliação laboratorial dos dentifícios comerciais. *Revista da Associação Brasileira de Odontologia*, v. 4, n. 3, p. 176-183, 1996.

SOUZA, J.R. e BARBOSA, A.C. Contaminação por mercúrio e o caso da Amazônia. *Química Nova na Escola*, n. 12, p. 3-7, 2000.

RING, M.E. *História ilustrada da odontologia*. Trad. de F.G. do Nascimento. São Paulo: Manole, 1998.

REPENSANDO A QUÍMICA

A Formação de Equipes de Professores/ Pesquisadores como Forma Eficaz de Mudança da Sala de Aula de Química

Temos conhecimento, tanto por experiência própria como por relatos de outros educadores químicos, de propostas de ensino que propiciam boa aprendizagem química já no ensino médio. Entretanto, quando se escreve ou se discute sobre ensino/aprendizagem em química (dissertações de mestrado, teses de doutorado, encontros de ensino de química, análise de desempenho dos vestibulandos em química etc.), há uma ênfase na baixa qualidade tanto das propostas de ensino (livros didáticos mais usados) como da compreensão da ciência química, em particular por alunos do ensino médio.

É propósito deste artigo relatar o efeito positivo de uma nova postura dos professores frente à química que se ensina nas escolas, rompendo, em especial no primeiro ano do ensino médio, com os esquemas tradicionais. A experiência foi realizada em escola pública de Campinas, a Escola Estadual de Primeiro e Segundo Graus Professor Aníbal de Freitas, por um grupo de professores pesquisadores da própria escola coordenado por educador ligado à pós-graduação em metodologia de ensino na Faculdade de Ensino da Universidade Estadual de Campinas (FE-UNICAMP).

Repensando o ensino de química

Há muitas razões para desejarmos uma boa aprendizagem química por parte das pessoas em geral. Chassot (1993), por exemplo, chama a atenção para a diferente leitura do mundo possibilitada às pessoas pelo conhecimento químico. Essa visão mais ampla permite que os indivíduos integrem-se à sociedade de forma mais ativa e consciente. Com o conhecimento científico a sua disposição, cada indivíduo atua de forma específica sobre a natureza, modificando-a e modificando-se, segundo as teses do pensamento dialético. Graças às interações e

Otávio Aloisio Maldaner

Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí - RS

Maria do Carmo Tocci Piedade

EEPSG Aníbal de Freitas, Campinas - SP

A seção "Relatos em sala de aula" constitui-se num espaço a ser privilegiadamente ocupado por professores e professoras que atuam no ensino médio e que — socializando suas práticas, aprendizados e construções — se empenham em tornar o ensino-aprendizagem em química cada vez mais significativo para as pessoas, para os grupos e para a sociedade.

Este primeiro artigo trata de uma experiência vivenciada em uma escola pública de nível médio, enfocando o tema "Combustão como transformação química", centrada no desenvolvimento do pensamento químico e na perspectiva da formação para a vida na sociedade. O artigo sugere uma metodologia e uma estrutura em sala de aula que, mais que proporcionar um contato superficial com a química, procura romper com os esquemas tradicionais de ensino, por meio do desenvolvimento e interação ativa dos alunos nos processos de construção do conhecimento químico.

ensino/aprendizagem em química, ensino médio, interação, mediação, linguagem química, aprendizagem e desenvolvimento, ensino e pesquisa, educação química

Este artigo foi publicado originalmente na revista *Química Nova na Escola* n. 1, 1995.

desenvolvimentos tornados possíveis pelo conhecimento químico, a natureza hoje se apresenta ao homem com feições muito diferentes. O próprio homem também já não é o mesmo, depois do contato com sensações e possibilidades antes impossíveis.

A partir da idéia de que o pensamento do indivíduo é constituído na interação social, mediado simbolicamente (Vygotski, 1978, 1988), elaboramos uma proposta de ensino de química adequada ao primeiro ano de ensino médio e implementada na escola citada no decorrer de 1994. Trabalhamos conceitos pertinentes à compreensão do fenômeno químico em nosso meio, buscando um contexto diretamente relacionado à vivência das pessoas. Isso permitiria a concretização dos conceitos que desejávamos ensinar e, ao mesmo tempo, possibilitaria reinterpretar/recriar as vivências e o contexto já à luz dos conceitos químicos. Assim, estaríamos possibilitando o desenvolvimento do pensamento dos alunos, preparando-os para aprender a ciência química.

Há um razoável consenso, entre os químicos, de que o cerne da ciência química é perceber, saber falar sobre e interpretar as transformações químicas da matéria (ou das substâncias) causadas pelo favorecimento de novas interações entre as partículas constituintes da matéria, nas mais diversas situações.

Como poderemos chegar a esse nível de compreensão do fenômeno químico? Muitos educadores/professores, através de suas aulas, ou autores, através de seus livros, pensam poder 'transmitir' ou 'transferir' seus próprios conceitos de química para seus alunos, por meio de definições do que seja matéria, energia, substância, reação química, fenômeno químico, fenômeno físico. O resultado dessa proposta de ensino de química é bem conhecido!

Nosso problema era como iniciar o ensino de química para que proporcionasse a possibilidade de aprender de fato a química. Não nos satisfazia, de modo algum, que o aluno repetisse nossas

**Queríamos que a palavra
ou o conceito que o aluno
usasse fosse dele, ou
constituisse o seu
pensamento**

definições ou nossos exemplos, usando apenas fórmulas ou palavras vazias de significados. Queríamos que as palavras ou conceitos usados pelo aluno fossem dele ou constituíssem seu modo de pensar. Para conseguir isso, as palavras destinadas a se tornar conceitos deveriam ser usadas normalmente pela professora, com a consciência de que o significado apreendido pelo aluno a princípio seria muito diferente do significado que o professor lhe atribuía, ou do verdadeiro conceito químico. As

palavras seriam usadas e exerceriam a função de conceitos, segundo Vygotski, até que esses se estabelecessem como tal:

"As palavras exercem a função de conceitos e podem servir como meio de comunicação muito antes de atingirem o nível de conceitos, característico do pensamento plenamente desenvolvido." (1978)

Os significados das palavras seriam negociados com os alunos enquanto eles estivessem em contato com o fenômeno em questão e/ou com o material sensorial. Esses significados se modificariam no decorrer das aulas até se tornarem conceitos químicos com algum significado mais estável, embora devessem receber muitos outros significados ainda, durante a formação química. O mesmo valeria para as fórmulas químicas.

Pensando a aprendizagem possível: química como transformação

A noção de química

Nossa percepção era de que o mundo físico natural e o mundo tecnológico poderiam proporcionar

bons momentos de reflexão/interação com os alunos, possibilitando assim atribuírem-se os primeiros significados à ciência química ou à 'química'. Se fôssemos professores tradicionais daríamos uma definição para a química, e se fôssemos professores tradicionais ingênuos acreditaríamos que o aluno saberia o que é química a partir dessa nossa definição, principalmente se ele respondesse 'certo' na prova. Nós desejávamos dar também uma significação para a química, e sabíamos que essa significação mudaria muito no decorrer dos anos de formação em química. A estratégia usada foi conversar com os alunos sobre os materiais a nossa volta, em termos de serem materiais naturais, ou artificiais (Bonadiman, 1987). Os alunos listaram, conforme suas percepções, materiais que tivessem características naturais, como o ar, a água, a madeira, vegetais, terra etc., e materiais cuja natureza ou composição achassem ser artificial, como o giz, tintas, fôrmica, plásticos em geral, papel etc. A lista dos materiais artificiais foi muito maior que a lista dos materiais naturais.

A lista de materiais artificiais e naturais permitiu discussões interessantes, como por exemplo a posição em que deveria ficar o ferro, a borracha, o vidro e outros. O mais importante é que os primeiros significados para a química – o conhecimento químico, ou o que se faz com o conhecimento químico – começaram a se formar quando a professora intermediou a discussão e começou a ressaltar que na produção de tintas, plásticos, ferro, vidro etc. havia um conhecimento específico e um modo próprio de pensar sobre a matéria: a química. Ao mesmo tempo, foi possível discutir algo sobre a função social e cultural desse conhecimento humano, bem como o que significaria para cada um dos alunos saber coisas fundamentais em química.

(...) foi possível discutir algo sobre a função social e cultural desse conhecimento humano, bem como o que significaria para cada um dos alunos saber coisas fundamentais em química

A transformação química

Constituída a primeira noção sobre química, iniciou-se um estudo mais sistemático da transformação química. Isso foi feito a partir do estudo detalhado da combustão como reação química. Além de ser uma transformação química de grande importância social e cultural, o fenômeno da combustão é bastante presente na vivência das pessoas, e sobre ele os alunos tinham muitas idéias ou conceitos do cotidiano. A reação de combustão permitiria discutir facilmente algumas questões cruciais para se entender a reação química, como por exemplo: as condições para uma reação química ser iniciada, manutenção da transformação, consumo de substâncias na reação enquanto se formam novas substâncias, término da reação química com o consumo de uma das substâncias reagentes. Desde o início, havia a preocupação de não se proporcionar a falsa idéia de reagente principal, muito freqüente entre os estudantes. Queríamos ressaltar a transformação química como resultado de algum tipo de interação que, no caso, envolvia o combustível, o gás oxigênio e a energia.

Para que a interação pudesse ser entendida de acordo com os modelos propostos pelo conhecimento químico, iniciamos de imediato a apresentação da fórmula química das substâncias envolvidas, ao lado das palavras com as quais se costuma designá-las. Havia uma preocupação apenas com o sentido representacional das substâncias reais pelas suas fórmulas químicas, e os alunos as usariam se achassem conveniente. Assim, o gás oxigênio passou a ser representado também pela fórmula química $O_2(g)$ e o etanol ou álcool comum por $C_2H_6O(l)$. Essas fórmulas significam muito para quem sabe química, mas para os iniciantes na matéria representavam apenas as substâncias. As palavras gás oxigênio e etanol são signos verdadeiros, mesmo para os alunos iniciantes, porque possuem muitos significados, mas $O_2(g)$ e $C_2H_6O(l)$ eram signos ainda muito

pobres de significado para esses alunos. Muitos outros significados desses símbolos precisam ser 'negociados' pelo professor, no decorrer da formação química, permitindo constituir um modo de pensar específico da química.

A condução das atividades relativas à combustão foi realizada conforme roteiro de trabalho descrito em livro didático alternativo (Maldaner, 1992). Essas atividades permitiram que os alunos pensassem a combustão do etanol, da parafina e de outros combustíveis como uma transformação química

Na formação do pensamento químico usaram-se esses conceitos cotidianos para avançar em direção à abstração necessária na formação dos conceitos químicos

envolvendo também o gás oxigênio presente no ar. Logo entenderam que a reação terminava se faltasse qualquer um dos reagentes (ou o combustível ou o gás oxigênio presente no ar), e que os reagentes eram efetivamente consumidos, deixavam de existir. O consumo do combustível foi aceito com facilidade, porque faz parte da experiência dos alunos (o gás de cozinha, o álcool combustível, a gasolina etc. são sempre consumidos no dia-a-dia das pessoas). Na formação do pensamento químico, esses conceitos cotidianos foram usados para avançar em direção à abstração necessária na formação dos conceitos

químicos. É fundamental que em química se pense nos reagentes que deixam de existir nas transformações enquanto outras substâncias são formadas.

A mediação permite um novo pensamento

No início da discussão, os alunos previram o término da reação apenas com o consumo total do etanol: a reação ou a combustão termina quando acaba o álcool. Essa é sem dúvida uma idéia esperável, porque o pensamento está sendo conduzido pelos conceitos do cotidiano. A mediação da professora, levando os alunos a refletirem sobre a necessidade de participação do gás oxigênio na manutenção da combustão, permitiu uma nova reflexão sobre a reação e a formação de um novo conceito sobre a combustão. Dessa forma, permitimos um novo entendimento sobre um fenômeno muito comum e, ao mesmo tempo, o muito abstrato conceito de reação química adquiriu um significado mais concreto.

As primeiras idéias relacionadas a quantidades 'certas' com que participam as substâncias reagentes foram assim introduzidas, variando-se a quantidade de gás oxigênio disponível para a combustão. Para isso, cobriu-se o sistema em reação com frascos de vidro de diferentes tamanhos. O tempo em que a combustão ainda se mantinha dependia da quantidade de ar encerrada no frasco que cobria a chama.

Essa atividade simples, possível de ser realizada em qualquer sala de aula com o uso de materiais como álcool comum, tampinhas de garrafa, pedaços de vela, frascos de vidro comum e fósforo, permitiu a introdução de idéias-chave para a compreensão do fenômeno químico no dia a dia dos alunos. Para isso, foi fundamental a intencionalidade da professora em analisar o fenômeno da combustão sob o ponto de vista da ciência química. Foi através da negociação de uma nova linguagem para se falar sobre esse fenômeno tão comum na vida das pessoas e, ao mesmo tempo, através da criação de um sistema representacional ou de um código de sinais próprio da química que o novo pensamento começou a se formar. É fundamental que um sistema de signos químicos e o próprio pensamento químico se constituam para que possa ocorrer verdadeira aprendizagem química. Era essa a nossa preocupação central.

A contribuição nova que desejamos trazer para o ensino de química é justamente divulgar a eficácia do uso da linguagem química – fórmulas químicas, equações químicas, o uso dos símbolos 'g' para gás, 'l' para líquido, 's' para sólido, 'aq' para substâncias em solução aquosa, fórmulas que

representam substâncias etc. – na organização do pensamento químico. Isso é em geral relegado a um plano secundário no ensino tradicional, introduzido no estudo das ligações químicas, no estudo sistemático das equações químicas ou nas classificações das reações químicas. Nós colocamos a linguagem química como preocupação central para a formação do pensamento químico.

O papel do concreto na constituição do pensamento inicial em química

Ao introduzirmos a química no ensino médio, tivemos também a preocupação de nos referir a situações concretas, de modo que a fórmula química apresentada se referisse à substância também presente, e o fenômeno representado se estivesse também realizando. É assim que falamos da combustão do álcool comum (etanol), na presença do gás oxigênio do ar, e em tais condições a reação deve ser iniciada com chama de fósforo, mesmo que os reagentes estejam em contato, na temperatura ambiente.

Representamos então:

Etanol e gás oxigênio
e/ou
 $C_2H_6O(l)$ e $O_2(g)$

Essas substâncias estavam em contato e era visível que a reação não se processava. Discutiuse, então, a condição para que uma reação se processasse. No caso, era necessário iniciar a reação através de chama, por exemplo.

Ao se processar a reação química – a combustão do etanol –, é crucial o entendimento de que as substâncias originais deixam de existir e há produção de novas substâncias. Isso é muito diferente da idéia de transformação do senso comum, em que a mesma essência toma outra forma. O uso da seta (\rightarrow) indicando a transformação química pode estar na verdade reforçando uma idéia de transformação no sentido físico, não químico. Por isso, seu significado, na linguagem química, deve ser muito bem definido. A seta indica, por um lado, uma situação antes da reação e uma situação depois, ou melhor, as substâncias existentes antes da transformação química deixam de existir (ao menos parte delas) para dar lugar a novas substâncias. Por outro lado, indica também o processo de produção de novas substâncias (os produtos) à custa do consumo das substâncias reagentes. Os produtos não surgem do nada, mas das substâncias reagentes, portanto têm algo a ver com elas. Reforça-se, assim, a idéia de que algo permanece no decorrer da transformação química: os átomos.

Toda essa complexidade de entendimento do que seja realmente uma transformação química implica constituir um pensamento novo, só possível pelo uso dos verdadeiros conceitos químicos. Mas pensamento e conceito se constituem mutuamente no sujeito, conforme Vygotski (1978). No início, as palavras e os símbolos ainda não são verdadeiros conceitos, mas exercem a função de conceitos para o pensamento poder se constituir, diz Vygotski. Isso foi possível conjugar no estudo da equação química que representava a combustão do álcool.

Foi relativamente fácil perceber o consumo do álcool e do gás oxigênio na reação, devido à discussão sempre mediada pela professora e aos conhecimentos anteriores dos alunos. Os dois principais produtos, água e gás carbônico (combustão completa), também foram detectados facilmente, em atividades simples (uso de água de cal e papel indicador com cloreto de cobalto).

A representação do fenômeno da combustão do álcool foi feita para facilitar a constituição do pensamento e dos conceitos químicos junto aos alunos, como vimos. Ela pode ser mais descritiva, como pode ser visto no Quadro 1, expressando uma seqüência mais observável (I) ou mais abstrata, através da simbologia química usual (III).

A representação mais usual da química (III), embora incompleta por não contemplar ainda o

Quadro 1

(I) As substâncias etanol ($C_2H_6O(l)$) e gás oxigênio ($O_2(g)$), em contato, reagem entre si ao se iniciar a combustão com uma chama (fósforo aceso). Essas substâncias são consumidas e a reação continua até que um dos reagentes termina. À medida que os reagentes são consumidos há a formação de água ($H_2O(l)$) e gás carbônico ($CO_2(g)$);

(II) Etanol e gás oxigênio $\xrightarrow{\text{iniciada a reação com chama}}$ água e gás carbônico

(III) $C_2H_6O(l) + O_2(g) \xrightarrow{\text{em certas condições}} H_2O(l) + CO_2(g)$

acerto de coeficientes, permitiu mediar alguns novos significados junto aos alunos, exatamente por adotar uma simbologia própria da química. A professora chamou a atenção para os símbolos (letras) que compõem as fórmulas químicas ('C' para carbono, 'H' para hidrogênio e 'O' para oxigênio), enfatizando que os mesmos símbolos que aparecem nos reagentes aparecem nos produtos, embora em arranjos diferentes. O principal é: não apareciam símbolos novos! A preocupação foi apenas com o tipo de símbolo, não com o número de vezes que este aparecia. Esses símbolos (letras), que representam estruturas mais fundamentais e que não se modificam na transformação química, passaram a ser chamados átomos.

A participação do aluno na condução da aula

Após essa primeira atribuição de significados à representação da transformação química, a professora solicitou que os alunos listassem combustíveis mais comuns aos quais ela daria uma fórmula química que pudesse representá-los. Os alunos listaram gás de cozinha, gasolina, óleo diesel, querosene, madeira, metanol, gás natural, vela etc.

Antes de mostrar uma possível fórmula química para representar esses combustíveis, a professora informou aos alunos que os combustíveis por eles listados eram na verdade misturas complexas de várias substâncias combustíveis e que, portanto, não haveria uma fórmula única para representá-los. O gás de cozinha, por exemplo, é uma mistura constituída principalmente por gás propano ($C_3H_8(g)$), gás butano ($C_4H_{10}(g)$) e uma pequena quantidade de monóxido de carbono ($CO(g)$). Nos outros combustíveis também havia várias substâncias, e decidiu-se que ela os representaria por um dos componentes mais significativos. Isso permitiria avançar um pouco mais na compreensão da reação química de combustão (Quadro 2).

Logo os alunos perceberam que o símbolo C e H eram comuns às diversas substâncias representativas dos combustíveis mais comuns. Tornava-se então possível mediar a atribuição pelos alunos de novos significados às reações de combustão.

Voltando à representação (III) da combustão do etanol, a professora mostrou que o gás oxigênio, em sua reação com os combustíveis, possibilitara a formação das substâncias novas $CO_2(g)$ e $H_2O(l)$. Isso podia acontecer sempre, desde que houvesse gás oxigênio suficiente nas reações de combustão, ou seja, desde que essas reações fossem completas. A condição era que houvesse C e H nos combustíveis.

A partir daí, ficou muito fácil aos alunos perceber que os combustíveis comuns, quando queimam, produzem $CO_2(g)$ e $H_2O(l)$, desde que tenham em suas fórmulas C e H (símbolos ou átomos). Um teste confirmatório dessa previsão foi realizada através da combustão da vela ($C_{25}H_{52}(s)$). Foi possível

detectar $\text{CO}_2(\text{g})$ e $\text{H}_2\text{O}(\ell)$. Ou seja, após duas semanas de aula (seis horas) os alunos conseguiram falar da reação de combustão usando perfeitamente a linguagem química inicial, falando em reagentes, produtos, condições para ocorrer a combustão, consumo de reagentes (deixavam de existir), produção de substâncias novas, permanência dos símbolos ou conservação deles no decorrer da reação, escrita das equações de combustão de substâncias que possuíssem apenas C, H e O em suas fórmulas.

A seguir, a professora sugeriu a existência de outros combustíveis, como o carvão (essencialmente carbono ou $\text{C}(\text{s})$) e o gás hidrogênio ($\text{H}_2(\text{g})$). Os alunos foram capazes de representar, por equação química usual, a combustão dessas substâncias.

Na discussão sobre problemas ambientais causados por combustão dos combustíveis fósseis (petróleo e seus derivados, carvão mineral etc.), logo apareceu a questão do enxofre e o efeito de gases do enxofre no meio ambiente (chuva ácida). A professora possibilitou a primeira análise desse efeito utilizando conceitos químicos já em formação. Informou que o símbolo do enxofre é S e que o produto lançado na atmosfera, causador da chuva ácida, era o $\text{SO}_2(\text{g})$. Como seria isso possível?

Logo os alunos foram capazes de prever que o enxofre devia fazer parte, de alguma forma, dos combustíveis mais usuais, do contrário o $\text{SO}_2(\text{g})$ não poderia se formar. Constatamos que os alunos começaram a usar perfeitamente o pensamento químico, mediado pela linguagem química e por alguns conceitos em fase ainda muito inicial de desenvolvimento. Este é, em nossa opinião, o ponto chave para uma verdadeira aprendizagem química.

Um episódio muito interessante veio corroborar nossa assertiva de que os alunos já estavam constituindo seu pensamento químico: após uma notícia/reportagem na TV sobre o desenvolvimento de uma técnica para produzir diamantes artificiais a partir do álcool comum (etanol), um aluno usou o modelo de transformação química, sem ser a combustão, para comentar como entendera a notícia. Segundo ele, a produção do diamante só seria possível porque havia carbono (C) na composição do etanol. O problema seria isolar esse carbono (C) do H e do O e depois produzir, de uma forma ou outra, o diamante.

Vemos que o aluno usou uma informação a partir de seu cotidiano ou da escolarização do primeiro grau: o diamante é carbono. Com o desenvolvimento do pensamento químico mediante o uso da simbologia e dos conceitos químicos em formação, conseguiu constituir o raciocínio, e é isso que importa! Outras informações – como 'isolar' o carbono no álcool, ou produzir o diamante a partir do

Constatamos que os alunos começaram a usar perfeitamente o pensamento químico, mediado pela linguagem química e por alguns conceitos em fase ainda muito inicial de formação

Quadro 2

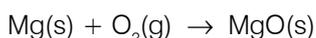
gás de cozinha	propano/butano/mon. de C	$\text{C}_3\text{H}_8 / \text{C}_4\text{H}_{10} / \text{CO}$
gasolina	octano	$\text{C}_8\text{H}_{18} (\text{l})$
querosene	dodecano	$\text{C}_{12}\text{H}_{26} (\text{l})$
óleo diesel	pentadecano	$\text{C}_{15}\text{H}_{32} (\text{l})$
madeira	celulose	$\text{C}_6\text{H}_{10} (\text{s})$
vela	parafina	$\text{C}_{25}\text{H}_{52} (\text{s})$

carbono – estão disponíveis na literatura. A fala do aluno mostrou que o raciocínio químico estava se constituindo. Era o que buscávamos com nossa proposta.

Como prosseguir com nosso programa?

Sem a preocupação de relatar com minúcias a seqüência de um programa que aborde conceitos fundamentais em química, passaremos a registrar alguns itens desenvolvidos nas aulas do primeiro semestre de 1994, conforme programa decidido pelo grupo de professores, sempre com a preocupação de superar o ensino tradicional de química, comprovadamente ineficiente para a maioria dos estudantes do ensino médio.

Devido à formação constante de compostos binários do elemento oxigênio com outros elementos (C, H, S, N, Fe, Mg etc.), conforme observado nas combustões, passou-se a estudar esses compostos, genericamente denominados óxidos. Esses compostos são muito abundantes, e muitos deles têm grande importância no dia-a-dia das pessoas. Ao mesmo tempo, os significados para os conceitos como 'elemento', 'substância elementar', 'composto químico' etc. passaram a ser percebidos. Os alunos passaram a representar todas as substâncias elementares, ao menos as mais importantes, com base na tabela periódica e nas informações da professora. Esta intermediou a fórmula química e o estado físico mais comum das substâncias elementares. Isso foi fundamental para a distinção, importante em química, entre elemento e substância elementar. Dada a fórmula do óxido — óxido de magnésio (MgO(s)), por exemplo –, os alunos conseguiam escrever a equação química da possível reação de síntese desse composto a partir das substâncias elementares:



Como essas equações de síntese de óxidos são muito simples, já foi possível introduzir o acerto de coeficientes.

Partindo da reação de combustão e da equação química que a representa, bem como das equações de síntese dos óxidos, discutiu-se a conservação de massa nas reações químicas e a proporção em massa com a qual participam os elementos em uma fórmula química. Esses assuntos são em geral estudados na química do ensino médio como 'Leis de combinação química'. Analisando-se a conservação dos átomos na transformação química, tornou-se fácil discutir a conservação de massa (lei de Lavoisier). Com dados da análise elementar em massa dos elementos em um composto, estudou-se a lei das proporções definidas (lei de Proust). Isso já permitiu a introdução da primeira teoria atômica (Dalton). O átomo de Dalton foi suficiente para interpretar as reações químicas em termos de conservação de massa e em termos da proporção com a qual os elementos participam na formação de um composto. Em todos esses estudos a equação química foi referência constante para as transformações, adquirindo assim novos e importantes significados.

A introdução de outras teorias e modelos de explicação do fenômeno químico será discutida em outro artigo que esperamos poder publicar em breve.

Referências bibliográficas

- BONADIMAN, H.; MALDANER, O.A.; ZANON, L. *Ciências 8ª Série, proposta alternativa de ensino*. Ijuí, Ed. Unijuí, 1987, 3ª edição.
- CHASSOT, A.I. *Catalisando transformações na educação*. Ijuí, Ed. Unijuí, 1993.
- MALDANER, O.A. *Química 1 - Construção de conceitos fundamentais*. Ijuí, Ed. Unijuí, 1992.
- VYGOTSKI, L.S. *Pensamento e linguagem*. São Paulo, Martins Fontes, 1978.
- VYGOTSKI, L.S. *A Formação Social da mente*. São Paulo, Martins Fontes, 1988.



Velocidade de Reação

A Contextualização

Catalisadores

no Ensino de Cinética Química

O ensino de química, muitas vezes, tem-se resumido a cálculos matemáticos e memorização de fórmulas e nomenclaturas de compostos, sem valorizar os aspectos conceituais. Observa-se a ausência quase total de experimentos que, quando realizados, limitam-se a demonstrações que não envolvem a participação ativa do aluno, ou apenas os convidam a seguir um roteiro, sem levar em consideração o caráter investigativo e a possibilidade de relação entre o experimento e os conceitos. Não se pode, entretanto, colocar, única e exclusivamente, a culpa dos problemas do ensino de química nos professores. Há um conjunto complexo de causas, já analisado na literatura pertinente. Dentre eles, é possível citar os cursos de formação deficientes, que reforçam a aprendizagem passiva pelo formato expositivo das aulas de modo que “os futuros professores tornam-se mais habituados à recepção de conhecimentos que ajudar a gerá-los” (Carvalho e Gil-Pérez, 1995, p. 69).

A não-contextualização da química pode ser responsável pelo alto nível de rejeição do estudo desta ciência pelos alunos, dificultando o processo de ensino-aprendizagem. Fechando um círculo, terrivelmente pernicioso para a aprendizagem dos conteúdos químicos, temos uma formação ineficiente que não prepara os professores para a contextualização dos conteúdos (Zanon e Palharini, 1995). A contextualização do ensino, por outro lado, não impede que o aluno resolva “questões clássicas de química, principalmente se elas forem elaboradas buscando avaliar não a evocação de fatos, fórmulas ou dados, mas a capacidade de trabalhar o conhecimento” (Chassot, 1993, p. 39).

Considerando especificamente o ensino de cinética química, constatamos que as atividades didáticas, mui-

Jozária de Fátima Lemos de Lima
e **Maria do Socorro Lopes Pina**

Secretaria de Educação do Estado de Pernambuco, Recife - PE

Rejane Martins Novais Barbosa e
Zélia Maria Soares Jófili

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife - PE

A contextualização no ensino busca trazer o cotidiano para a sala de aula, ao mesmo tempo em que procura aproximar o dia-a-dia dos alunos do conhecimento científico. Tais ações, em disciplinas complexas como a química, são extremamente importantes. Este artigo exemplifica a utilização da conservação dos alimentos no ensino de cinética química por duas professoras do ensino médio.

*cinética química, contextualização,
conservação de alimentos*

Este artigo foi publicado originalmente na revista *Química Nova na Escola* n. 11, 2000.

tas vezes, são baseadas em aulas expositivas, que não levam em conta nem os conhecimentos prévios nem o cotidiano dos alunos. Isso torna o ensino desse tópico desmotivante e o discurso do professor é tomado como “dogma de fé”. Os livros didáticos, por sua vez, não vêm trazendo contribuições relevantes para mudar esse quadro.

A proposta central deste trabalho é apresentar alternativas dinâmicas para a construção de conceitos de cinética química, a partir de experimentos sobre conservação de alimentos.

Descrição do experimento

O trabalho foi desenvolvido com duas turmas de 3ª série do ensino médio de duas escolas da rede estadual. Inicialmente participaram 50 alunos, sendo 22 da Escola A e 28 da Escola B. Para a análise dos resultados foram considerados apenas os alunos que participaram de todos os momentos do trabalho (20 de cada escola).

No primeiro momento foi utilizado um questionário para o levantamento dos conhecimentos prévios dos alunos contendo as seguintes questões: *Por que os alimentos se estragam? Que processos podem ser utilizados para evitar que se deteriorem? Como esses processos atuam? Na sua casa são utilizadas técnicas de conservação de alimentos? Quais? Você conhece algum aditivo alimentar? Cite-o? Você acha importante o uso de aditivos alimentares? Por quê?* Em seguida, os alunos foram distribuídos em grupos de quatro componentes, para realização da intervenção-didática, que constou de três etapas.

Na primeira etapa, buscou-se investigar a influência dos aditivos na conservação dos alimentos. Os alunos fizeram previsões a respeito do que acontece com uma polpa de tomate e com o fígado bovino, após três dias nas condições descritas nos Quadros 1 e 2.

Em seguida os grupos prepararam amostras para a realização do experimento, de acordo com o roteiro a seguir.

Roteiro

Material necessário

- fígado cru
- polpa de tomate
- 12 copinhos descartáveis por grupo

Quadro 1

Polpa de tomate	Recipiente aberto	Recipiente fechado
1. puro		
2. com açúcar		
3. com ácido benzóico		

Quadro 2

Fígado cru	Recipiente aberto	Recipiente fechado
1. sem aditivo		
2. com sal		
3. mergulhado no óleo		

Quadro 2

Recipientes abertos (ímpares)	Recipientes fechados (pares)
1. uma medida de polpa de tomate puro	2. uma medida de polpa de tomate puro
3. uma medida de polpa de tomate com meia medida de açúcar	4. uma medida de polpa de tomate com meia medida de açúcar
5. uma medida de polpa de tomate com uma pitada de ácido benzóico	6. uma medida de polpa de tomate com uma pitada de ácido benzóico
7. uma porção de fígado cru	8. uma porção de fígado cru
9. uma porção de fígado cru com meia medida de sal	10. uma porção de fígado cru com meia medida de sal
11. uma porção de fígado cru com duas medidas de óleo	12. uma porção de fígado cru com duas medidas de óleo

- sal
- açúcar
- óleo
- ácido benzóico
- papel alumínio (para fechar os recipientes. **Atenção:** os recipientes não ficam completamente fechados, mas essa forma de fechamento já é suficiente para garantir a possibilidade de observação)
- lápis de cor
- 4 colheres-medida (5 mL) por grupo

Procedimento

1. Numerar cada copinho de 1 a 12.
2. Em cada copinho, colocar as amostras de acordo com a tabela abaixo.
3. Fazer anotações referentes a cor, cheiro, consistência etc. durante três dias.
4. Em seguida, discutir com o grupo os resultados obtidos levando em conta as anotações anteriores.

As observações dos alunos sobre o experimento foram registradas numa tabela na qual descreveram as mudanças ocorridas nas amostras tais como: cor, consistência e cheiro. Foram também solicitados a ilustrar as observações, desenhando e pintando de acordo com o que estava sendo observado.

Após os três dias de observação, os alunos, em grupo, fizeram uma comparação entre as suas previsões sobre o experimento e o que realmente aconteceu. Os grupos discutiram os resultados e escreveram suas conclusões. Logo após a discussão nos pequenos grupos, iniciou-se a discussão no grande grupo (professoras e alunos) para sistematizar os conteúdos trabalhados. No início, os alunos apresentaram certa dificuldade para expressarem suas conclusões mas, aos poucos, a discussão foi ficando mais rica com o aumento do número de alunos participantes.

Nas duas turmas as discussões giraram em torno de quais aditivos eram melhores para a conservação dos alimentos, visto que nenhuma das substâncias utilizadas como aditivos conservava os alimentos indefinidamente. Por essa razão, na terceira etapa foi rediscutida a eficiência dos aditivos.

Na segunda etapa, pretendeu-se verificar a influência da temperatura na atividade enzimática e solicitou-se aos alunos que citassem alguns aditivos relacionando-os às suas funções, vantagens e desvantagens. Os alunos, nos mesmos grupos da primeira etapa, receberam o roteiro para realização

do experimento proposto por Silva e Silva (1997, p. 53); utilizaram fígado bovino, batata e água oxigenada, para evidenciar a velocidade da reação de decomposição da água oxigenada, acelerada pela enzima catalase em diferentes temperaturas, através da saída do gás oxigênio.

Após o término do experimento, os alunos permaneceram nos grupos para encontrarem justificativas para o observado. Sobre o papel do fígado e da batata na reação, alguns perguntavam: *Por que não estão saindo mais bolhas? Será que a superfície do fígado queimou? Será que todo o oxigênio já saiu?*

Para responderem a essas perguntas, as professoras prepararam outra amostra de água oxigenada e adicionaram um pedaço de fígado cru, retirado da amostra na qual não se observava mais a saída de bolhas. Os alunos observaram a reação e disseram que a catalase ainda estava presente no pedaço do fígado, confirmando o papel da catalase na aceleração da velocidade de reação. Para que os alunos percebessem bem a diferença na velocidade de reação, foi necessário bastante cuidado com os congelados devido à temperatura ambiente (oscilando entre 25 °C e 30 °C). A superfície da batata e do fígado congelados rapidamente descongelava, dificultando, em alguns casos, a visualização. É possível evitar esse problema mantendo a água oxigenada em banho de gelo antes e durante o experimento, de maneira que os alunos possam perceber a influência da temperatura na velocidade da reação. Isso também evita que eles associem o resultado somente à diferença de temperatura do catalisador, excluindo a importância da diferença de temperatura do meio reacional. Assim, alertamos os alunos sobre a influência da temperatura na velocidade de reação catalisada por enzimas, retardando ou acelerando a deterioração dos alimentos.

Finalmente, na terceira etapa, foi feita a sistematização dos conceitos vivenciados. Foram então distribuídos aos grupos alguns rótulos de produtos alimentares, para que identificassem os aditivos contidos naqueles alimentos. Os alunos sentiram dificuldade em identificar os aditivos, por serem escritos em códigos. Com o auxílio das professoras, os alunos relacionaram os aditivos encontrados e escreveram-nos no quadro. Receberam uma tabela com o Código de Rotulagem - D.O.U. 17/02/1976 - e foram orientados a identificar os aditivos por meio da leitura dos rótulos. A leitura descodificada dos rótulos dos alimentos permitiu uma reflexão crítica sobre os diversos alimentos consumidos.

Em seguida, foi conduzida uma discussão no grande grupo (professoras e alunos), tendo como objetivo a sistematização de todos os conteúdos trabalhados na intervenção didática. O trabalho foi concluído com a leitura de um texto elaborado pelas professoras sobre conservação de alimentos, seguida de discussões e explicações.

Foi aplicado um questionário contendo questões, semelhantes às da sondagem inicial, acrescido de mais duas envolvendo um maior grau de complexidade, visando a avaliar a compreensão dos alunos sobre os conceitos abordados após a intervenção-pedagógica.

Por que os alimentos se estragam?

Muitos alunos, no início, só relacionavam a deterioração dos alimentos com armazenamento, temperatura e tempo cronológico.

“Manter em local adequado, não colocá-los em pilhas altas, etc.”

“Cuidar bem dos alimentos, e colocar no *freezer* ou congelador para que se conservem por mais tempo.”

Após a intervenção didática, observou-se um enriquecimento nas respostas dos alunos que passaram a considerar como fatores preponderantes para a deterioração dos alimentos a ação dos microorganismos, e a não utilização de aditivos.

“Porque, com o tempo, os alimentos adquirem fungos e bactérias destruindo o alimento.”

“Porque alguns não possuem aditivos ou estão submetidos a temperaturas elevadas. Em temperaturas baixas os alimentos se conservam melhor.”

Como evitar a deterioração dos alimentos?

Na análise das respostas ao primeiro questionário, observamos que apenas cerca de 30% dos alunos citaram processos para conservar os alimentos baseados em suas experiências cotidianas, entretanto não conseguiram explicitar a atuação dos processos.

“Colocam-se os alimentos no congelador; sal e óleo também.”

“Deixar frutas e verduras na geladeira, salgar a carne para durar mais tempo etc. ”

Após a intervenção didática, quando os alunos foram questionados sobre os processos para evitar a deterioração, foi observada uma evolução nas suas respostas, caracterizada pela diminuição do percentual de alunos que não responderam. Com relação à atuação dos aditivos, a evolução não foi tão acentuada, mas, podemos considerar significativa em virtude da complexidade do assunto, pois, para explicar a atuação dos processos de deterioração dos alimentos, faz-se necessária uma visão microscópica dos processos que interferem na multiplicação e morte de microorganismos, como também o controle das reações enzimáticas.

“Colocar o alimento no *freezer* retarda a ação dos microrganismos; usar conservantes diminui a velocidade da reação, ou seja, o alimento irá se conservar por mais tempo.”

Interessante ressaltar que as respostas da Escola A (classe mista) foram dadas pelas alunas. Os alunos (rapazes) acharam que este assunto só dizia respeito às “mulheres”. Dos sete alunos (rapazes) da Escola A, apenas dois responderam. Na Escola B, formada apenas por alunas, não foi observado esse problema.

Técnicas de conservação de alimentos

Inicialmente, quando os alunos foram questionados sobre as possíveis técnicas de conservação de alimentos utilizadas em suas casas, grande parte respondeu: refrigeração, congelamento e armazenamento em locais secos e arejados. Apenas uma minoria (5%) não respondeu a questão. Após a intervenção didática, as respostas foram mais ricas, considerando-se que, além da temperatura (refrigeração e congelamento) e armazenamento, os alunos citaram também os aditivos.

Função e importância dos aditivos

Inicialmente, a maioria dos alunos (95% da Escola A e 60% da Escola B) não soube responder a questão sobre aditivos. Os poucos alunos que responderam citaram como aditivos apenas os temperos caseiros, por exemplo:

“Sal para salgar a carne e dar sabor; colorau para dar cor aos alimentos; tempero e alho para dar gosto à comida.”

Após a intervenção didática, foi verificada uma evolução conceitual significativa, no que diz respeito às funções e à importância dos aditivos.

“Os aditivos atuam protegendo os alimentos dos microrganismos e deixando inalterados a cor, o aroma, a consistência, a umidade etc.”

“Demora mais tempo... pode ser transportado sem medo de se estragar o alimento. O uso em excesso pode causar câncer no estômago.”

Como acelerar e/ou retardar as reações?

Logo após a intervenção didática, foi observada uma evolução significativa nas respostas dos alunos, que atribuíram a aceleração ou retardamento da deterioração dos alimentos à influência da temperatura ou ao uso de aditivos.

“Se os alimentos não tiverem um conservante estragarão mais rapidamente; caso contrário o conservante retardará a velocidade com que o alimento se estragará”

Um mês após a terceira etapa, tendo o conteúdo sido concluído pelas professoras, cerca de 60% dos alunos passaram a considerar que não somente as reações de deterioração dos alimentos podem ser controladas como também outras reações químicas (enferrujamento, digestão, ação da água oxigenada nos fermentos etc).

A análise final da pesquisa revelou que é possível a contextualização de conceitos científicos valorizando os conhecimentos prévios, a experimentação, as interações entre aluno-aluno e aluno-professor. Foi verificado que a compreensão dos conteúdos se fez de maneira mais efetiva e extremamente gratificante, observando-se um crescente nível de participação dos alunos nas aulas, e demonstração de maior prazer.

Apesar de algumas dificuldades enfrentadas, como tempo disponível para as aulas e alunos, que inicialmente não acreditavam que estavam estudando química, confirmamos a importância de os alunos terem um papel ativo no processo de ensino-aprendizagem, permitindo assim uma evolução conceitual. Outro aspecto observado foi a possibilidade de instrumentalizar os alunos para a tomada de decisões baseadas nos conhecimentos adquiridos nas aulas de química. No caso do estudo de aditivos alimentares, os novos conhecimentos facilitaram a compreensão das implicações do uso de aditivos para a comercialização dos produtos e para a saúde e possibilitaram decisões sobre a escolha de alimentos. Chassot (1995) e Santos e Schnetzler (1996) concordam que é papel da escola desenvolver a capacidade de tomada de decisão, formando cidadãos mais críticos.

Numa avaliação realizada pelos alunos após a intervenção, eles reconheceram a utilidade da cinética química na vida prática e também a eficácia da metodologia aplicada, ao afirmarem que:

“Nós tivemos mais liberdade de aprender formulando nossas próprias opiniões.”

“Gostei de estudar cinética química simplesmente porque foi ensinada de uma forma diferente.”

“A maneira como aprendemos conservação de alimentos, em aulas práticas, foi bastante agradável.”

“Gostei de estudar cinética, porque aprendi como acelerar e retardar uma reação.”

Conclusões

Podemos concluir que os resultados dessa intervenção didática indicam que a contextualização de atividades experimentais pode ser uma boa forma de contribuir para a melhoria do ensino de química. Entretanto, gostaríamos de salientar que isso não deve implicar a separação da atividade experimental do processo de desenvolvimento dos conceitos químicos pertinentes ao tema abordado.

Referências bibliográficas

- CARVALHO, A.M.P. e GIL-PÉREZ, D. *Formação de professores de ciências*. 2ª ed. São Paulo: Cortez, 1995.
- CHASSOT, A.I. *A ciência através dos tempos*. São Paulo: Moderna, 1995.
- CHASSOT, A.I. *Catalisando transformações na educação*. Ijuí: Unijuí, 1993.
- SANTOS, W.L.P. e SCHNETZLER, R.P. Ensino de química e cidadania. *Química Nova na Escola*, n. 4, p. 28-34, 1996.
- SILVA, E.R. e SILVA, R.R.H. *Conservação de alimentos*. São Paulo: Scipione, 1997.
- ZANON, I.B. e PALHARINI, E.M.A. Química no ensino fundamental de ciências. *Química Nova na Escola*, n. 2, p. 15-18, 1995.

Para saber mais

- BOBBIO, F.O. e BOBBIO, P.A. *Introdução à química dos alimentos*. 2ª ed. São Paulo: Livraria Varela, 1995.
- SANTOS, W.L.P. e SCHNETZLER, R.P. *Educação em química: compromisso com a cidadania*. Ijuí: Unijuí, 1997.
- TRAMBAIOLLI NETO, E. *Alimentos em pratos limpos*. São Paulo: Atual, 1994.



Explorando a Existência de
CARGAS ELÉTRICAS
na Matéria

Eva Teresinha de Oliveira Boff

Departamento de Biologia e Química da
UNIJUÍ, Ijuí - RS

Marli Dallagnol Frison

Escola Estadual de 2º Grau Rui Barbosa e
Departamento de Biologia e Química da
UNIJUÍ, Ijuí - RS

O contato e convivência com diversos materiais e transformações estão presente desde os primeiros momentos de nossa vida. Fazem parte de nosso cotidiano, constituindo e transformando tudo o que existe. Nosso corpo, por exemplo, é um conjunto de substâncias que interagem de modo peculiar. Nossas atitudes, estímulos e sensações são resultado de interações químicas que nos passam despercebidas.

São inúmeras as possibilidades de se estabelecer inferências como essa, no entanto é lamentável que muitas vezes a química seja abordada sem inserção, como algo tão separado e distante de situações reais presentes no mundo onde se vive.

Quando as crianças começam a freqüentar a escola, é importante que elas sejam levadas a perceber a existência de muitos materiais diferentes, tanto os naturais como aqueles que só existem graças à evolução da química, como os plásticos, vidros, aços, corantes, medicamentos, borrachas, papéis. Entendemos que certas aprendizagens relacionadas à química devem estar presentes de forma visível ao longo das diversas séries do ensino fundamental, servindo de instrumento para os educandos crescerem na capacidade de compreender e de se relacionar com o que existe e acontece no mundo, conforme já referido em QNE, 1995, n. 2, p. 15-18. Contudo, na grande maioria das escolas, a aprendizagem em química é vista de forma fragmentada, desconhecendo-se as relações amplas dessa ciência no currículo como um todo. Pensamos que devemos, desde o início, inserir nossos alunos numa certa abordagem de temáticas químicas, respeitando seus limites de compreensão. À medida que as crianças sistematizam e ampliam seus conhecimentos sobre o meio e suas interações, diversas idéias e linguagens acerca dos materiais, das

○ presente relato refere-se a uma experiência desenvolvida junto a uma escola do nível médio, com enfoque na introdução ao estudo da estrutura da matéria.

*transformação química, estrutura da matéria,
ensino-aprendizagem, interação*

Este artigo foi publicado originalmente na revista *Química Nova na Escola* n. 3, 1996.

substâncias e das transformações podem ir sendo desenvolvidas.

Especificamente em relação às idéias e aprendizagens sobre a *estrutura da matéria*, entendemos que a organização do currículo praticado na escola precisa desafiar mais os alunos a elaborar conceitos a partir da problematização de situações vivenciadas e da reflexão sobre tais situações, evitando-se que o ensino de química se restrinja a conhecimentos fragmentados e abstratos. Privilegia-se assim um ensino mais centrado em contextos de interação e que possa se traduzir em avanços na interpretação e compreensão da realidade.

No presente relato de sala de aula, trazemos um pouco da experiência que estamos desenvolvendo há mais de dez anos, numa escola estadual que tem aproximadamente 1 500 alunos cursando o ensino médio. Daremos atenção especial ao modo como introduzimos nossos alunos no estudo sobre a *estrutura da matéria*. Em relação à modalidade de ensino que desenvolvemos em nossa escola, trazemos o relato de algumas situações/momentos — dentre tantos outros — em que trabalhamos com idéias/conceitos dos alunos, relacionados à existência de cargas elétricas na matéria.

Explorando formas de existência de elementos químicos

Muitos de nossos alunos e alunas que ingressam no nível médio procedem de escolas, de nossa região de abrangência, que vêm desenvolvendo metodologias alternativas de ensino de ciências. Centradas na atividade do aluno, essas metodologias levam-no a questionar, argumentar e buscar respostas a partir de investigações e experimentos diversos realizados (Bonadiman e cols., 1986). Temos observado que tais alunos, chegando ao nível médio, mostram-se mais confiantes, críticos e observadores e têm maior capacidade de relacionar e extrapolar as situações de sala de aula para outras situações do dia-a-dia. Nossa proposta de ensino de química no nível médio procura dar continuidade a tal abordagem curricular, conforme descrito por Maldaner (1992) e Maldaner e Zambiasi (1993).

Iniciamos o ensino de química pelo envolvimento dos alunos na execução de atividades experimentais sobre reações químicas. Numa dessas atividades iniciais, o aluno mistura uma porção de óxido de cobre sólido e duas porções de carvão sólido. Após homogeneizar bem a mistura, solicitamos que separe uma pequena quantidade para posterior comparação.

O restante é colocado em um tubo de ensaio fechado com uma rolha perfurada por um tubo de vidro recurvado. A extremidade desse tubo é mergulhada em água de cal, contida num béquer. Aquecendo a mistura durante cerca de 20 minutos o aluno percebe que do tubo de ensaio sai um gás que deixa a água de cal esbranquiçada. Após essa observação, solicita-se ao aluno que observe e descreva as características da mistura, comparando-a com a que não foi aquecida. Ele percebe que ocorreu uma transformação, referindo-se ao aparecimento de pedrinhas avermelhadas, “cor de cobre”. São retomadas idéias sobre as transformações químicas, registrando o fato de que as substâncias, quando em condições adequadas, podem transformar-se em outras diferentes (propriedades diferentes). Com base nisso, parte-se para outras investigações, envolvendo as substâncias produzidas na reação.

Como a maioria dos alunos já desenvolveu investigações relacionadas a essa reação na 8ª série, conseguem identificar as “pedrinhas avermelhadas” como sendo o cobre sólido. Fazem

Temos observado que estudantes submetidos a metodologias de ensino de ciências centradas na atividade do aluno mostram-se mais confiantes, críticos e observadores e têm maior capacidade de relacionar e extrapolar as situações de sala de aula para outras situações do dia-a-dia

referência às propriedades características (incluindo a cor) e à presença dos elementos nas fórmulas das substâncias usadas como reagentes. Com o objetivo de investigar qual o gás que turvou a água de cal, inicialmente o aluno sopra na água de cal e percebe o mesmo resultado observado na atividade anterior, portanto o gás desprendido na reação do óxido de cobre está presente na expiração. O educando passa a investigar diversos gases, com a finalidade de identificar qual dos gases expirados turva a água de cal: água, pelo aquecimento da água líquida; oxigênio gasoso, pela reação catalisada pela enzima catalase, com a água oxigenada; nitrogênio gasoso, pela reação entre nitrito de sódio sólido e cloreto de amônio; gás carbônico, pela reação entre carbonato de sódio sólido (poderia ser outro carbonato) e solução diluída de ácido ou vinagre. Todas essas atividades são realizadas em tubo de ensaio fechado, como na reação de óxido de cobre com carvão. Em cada experimento, o gás produzido é colocado em contato com a água de cal, buscando-se verificar qual o gás que, nesse processo, torna-a turva, como no caso da reação entre o óxido de cobre e o carvão.

Ao longo do envolvimento com as atividades, à medida que vamos representando as reações pelas equações, vamos introduzindo linguagens e conceitos específicos da química, como substância, elemento, transformação, mas ainda não temos a preocupação de explorar idéias relacionadas a átomos/moléculas, elétrons, prótons, íons. Nosso objetivo inicial é fazer o aluno prestar atenção às substâncias e às transformações envolvendo substâncias. Ao longo do desenvolvimento das atividades, surgem

Ao longo do desenvolvimento das atividades, o aluno adquire, amplia e aprofunda conhecimentos e habilidades. Percebe que a química estuda as transformações dos materiais e que estes, ao serem transformados, preservam os elementos originais presentes nas substâncias reagentes, mesmo que sob formas químicas diferentes

diversos questionamentos relacionados às propriedades das substâncias usadas como reagentes e das produzidas na reação: o que aconteceu com a água de cal; os 'elementos' envolvidos na reação, a forma das substâncias reagentes e produtos; o sistema em que houve liberação e absorção de energia.

O aluno vai adquirindo, ampliando e aprofundando conhecimentos e habilidades, seja nas reflexões ou no manuseio do material de laboratório, aguçando seu senso de observação, a capacidade de raciocínio, a aptidão para discutir, refletir, concluir e comparar fatos. Percebe, assim, que a química estuda as transformações dos materiais e que estes, ao serem transformados, preservam os elementos originais presentes nas substâncias reagentes, mesmo que sob formas químicas diferentes.

Trabalhamos com experimentos que mostram diferenças visíveis nas reações envolvendo um mesmo elemento presente em substâncias diferentes, de modo que o aluno perceba as

transformações químicas – passando a usar a linguagem e as equações químicas e a identificar reagentes e produtos envolvidos, de forma progressiva e mediada pelo professor.

Ao se realizar outra atividade, na qual os alunos mergulham uma placa de zinco em uma solução aquosa de sulfato de cobre, as observações são também centradas na mudança das propriedades características (cor, textura, brilho etc.). Eles percebem que a placa de zinco vai se desgastando aos poucos, enquanto na solução aquosa vai aparecendo um depósito sólido “avermelhado” (cor de cobre metálico) à medida que a solução passa lentamente da cor azul para incolor. Ao se discutir o que aconteceu com o zinco, predomina entre os alunos a idéia de que ele não deve ter evaporado ou simplesmente se dissolvido (na forma metálica), mas sim que deve estar presente na solução na forma de uma nova substância, com características diferentes do zinco original. Outrossim, discutem que a substância de “cor avermelhada” poderia ser cobre metálico, oriundo da solução azul inicial, de sulfato de cobre. Observando-se com atenção a simbologia química nas fórmulas das substâncias, as reflexões

abrangem a idéia de que o zinco e o cobre, assim como outros elementos, podem se apresentar sob diversas formas químicas, constituindo substâncias diferentes. Faz-se referência à existência do zinco metálico e do zinco aquoso, assim como à existência do cobre aquoso e do cobre metálico.

Explorando a condução de corrente elétrica

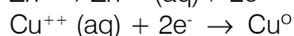
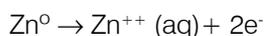
Utilizando um sistema adequado, os alunos testam a condutibilidade elétrica de diversos materiais/substâncias, como por exemplo cloreto de sódio sólido e aquoso, sacarose sólida e em solução aquosa, sulfato de cobre sólido e em solução aquosa, metais diversos, plásticos, vidros, madeira, grafita e outros. A partir das observações e registros, são discutidas questões como: Por que algumas substâncias não conduzem corrente elétrica no estado sólido mas são bons condutores em solução aquosa? Por que algumas substâncias não conduzem corrente elétrica no estado sólido nem em solução aquosa? Por que os metais conduzem corrente elétrica enquanto outros sólidos não conduzem? Quais as partículas responsáveis pela condução da corrente elétrica, em cada caso?

As observações, reflexões e estudos motivam o aluno a elaborar idéias e a se pronunciar a respeito da possível existência de partículas dotadas de cargas elétricas na matéria, ao tentar explicar a condução da eletricidade pelos materiais testados. Nesse contexto, inserimos e exploramos o uso dos conceitos de *íon* e *elétron*, referindo-nos às partículas responsáveis pela condução da eletricidade respectivamente nas soluções e nos metais. O aluno observa, por exemplo, que o cobre metálico conduz corrente elétrica no estado sólido, enquanto o sulfato de cobre sólido necessita estar no estado aquoso para que conduza a corrente elétrica. Explora-se a idéia de que tanto nas soluções aquosas como nos metais existem cargas elétricas que podem se movimentar. Nas soluções aquosas essas cargas são íons, enquanto nos metais são elétrons, sendo essas partículas responsáveis pela condução da corrente elétrica em cada caso.

Outras observações são retomadas, como a de que a sacarose não conduz corrente elétrica nem no estado sólido nem em solução aquosa, desafiando o aluno a refletir e entender outras questões.

Explorando a geração de energia elétrica pela transformação química

Outra atividade explorada é a construção da pilha. Para isso são utilizadas: duas lâminas de zinco e duas de cobre; solução 1 mol/L de sulfato de zinco e de sulfato de cobre; uma lâmpada de 1,5 V; quatro tiras de papel-filtro (duas embebidas em solução de sulfato de cobre e duas em solução de sulfato de zinco). A montagem da pilha é feita de forma adequada e conveniente. Os alunos observam e discutem a geração da eletricidade com base no dispositivo químico construído, no desgaste da lâmina de zinco e no depósito do cobre. A partir das observações e discussões, trabalha-se a hipótese de que houve conversão do zinco, da forma metálica para a forma aquosa, e do cobre, da forma aquosa para a forma metálica. São feitas referências à idéia de que o metal zinco perde elétrons na reação, transformando-se numa substância com carga elétrica positiva (cátion), enquanto o cobre em solução recebe elétrons, tornando-se neutro (forma metálica).



Discutindo-se as observações, trabalha-se a idéia de que o cobre em solução atrai elétrons (carga negativa), devendo por isso ser o pólo positivo, e de que os elétrons 'saem' da placa de zinco, sendo essa o pólo negativo da pilha construída. Utiliza-se um galvanômetro confeccionado pelos alunos para testar essas idéias.

Outras atividades são desenvolvidas, dentre as quais a eletrólise. Identificam-se as substâncias resultantes da eletrólise em cada pólo da pilha, observando-se que os íons de carga negativa se dirigem ao pólo positivo e vice-versa.

Construindo um modelo teórico para a estrutura da matéria

A partir de seu envolvimento em um conjunto de atividades, os alunos mostram-se propensos a ampliar e reforçar suas idéias sobre a existência de cargas elétricas na matéria e sobre a própria estrutura da matéria, explorando-se o uso de termos e explicitando-se idéias sobre átomos, elétrons, íons, cátions e ânions. À medida que os estudos evoluem, são retomadas diversas questões recorrentes: quais as partículas responsáveis pela condução da corrente elétrica nos sólidos e nas soluções testadas? Como são e como se encontram tais partículas nos materiais? Como e por que o elemento neutro (forma metálica) se transforma em íons (forma aquosa) e vice-versa? Por que certas substâncias testadas não apresentam cargas elétricas capazes de conduzir a corrente elétrica, como é o caso da sacarose sólida e em solução aquosa? Por que alguns átomos perdem elétrons enquanto outros os ganham, transformando-se em íons positivos ou negativos? Como se deu a geração de corrente elétrica na pilha construída? Como se encontram os elétrons no fio utilizado na pilha ou nos demais metais que conduzem a corrente elétrica? Como se dão as reações envolvendo transferência de elétrons nas diversas soluções usadas na eletrólise? etc.

Nesse contexto, os estudos passam a abordar aspectos relacionados a modelos teóricos mais elaborados sobre a estrutura da matéria, incluindo representações de átomo, partículas subatômicas, ligações químicas, moléculas. De forma semelhante, a estrutura da matéria vai sendo progressivamente abordada ao longo das séries, à medida que novos assuntos vão sendo trabalhados, especialmente ao longo de estudos como soluções, equilíbrio químico, eletroquímica, reações de oxirredução, interpretação de propriedades físicas etc.

Concluindo

Com este relato de nossa experiência, pretendemos expressar nossa preocupação em envolver os alunos na execução de atividades problematizadoras e de não perder de vista a globalidade do processo do conhecimento. Consideramos importante cuidar para que o aluno esteja em contato permanente com as aprendizagens em química ao longo de todo o currículo escolar, pois acreditamos que dessa forma ele aprende química de forma significativa, estabelecendo relações com cada tema abordado e relacionando a teoria com situações vivenciadas, independentemente da série em que se trabalha. É importante que se privilegie a aquisição de conhecimentos não fragmentados e não isolados de contextos, buscando-se relacionar os conhecimentos de química com os de âmbito geral. Proporciona-se ao aluno, assim, condições de refletir sobre o meio em que vive, para que possa exercer a cidadania de forma consciente e responsável.

Para saber mais

AMBROGI, A., VERSOLATO, E.F., LISBOA, J.C.F. Unidades modulares de Química. São Paulo: Hamburg, 1987.

Referências bibliográficas

BONADIMAN, H. e col. Ciências 8ª Série: Proposta Alternativa de Ensino. 3. ed. Ijuí: UNIJUÍ, 1986.

MALDANER, O.A. Química 1 - Construção de Conceitos Fundamentais. Ijuí: UNIJUÍ, 1992.

MALDANER, O.A., ZAMBIAZI, R. *Química 2 - Consolidação de Conceitos Fundamentais*. Ijuí: UNIJUÍ, 1993.

ZANON, L.B., PALHARINI, E.M. A Química no Ensino Fundamental de Ciências. *Química Nova na Escola*, São Paulo, n. 2, p. 15-18, 1995.

As **Aulas de Química** como Espaço de **Investigação** e **Reflexão**

Sabe-se que a formação profissional do professor não se inicia no curso de licenciatura nem se limita a ele, mas se constrói ao longo de toda a vida. Usualmente a rotina cotidiana do trabalho docente condiciona ações repetitivas e aparentemente iguais que pouco contribuem para o desenvolvimento profissional. Por isso, é muito importante a participação e o engajamento dos professores em ações de formação continuada como, por exemplo, a que experienciamos ao realizar um curso de especialização em ensino de ciências, modalidade química, com base no qual desenvolvemos e estamos socializando a presente reflexão.

Quando começamos a dar aulas de química no ensino médio, não tínhamos a percepção e a consciência de que a prática de sala de aula e o material didático utilizado são resultado de nossas concepções de ensino, de aprendizagem, de conhecimento, de ciência, de linguagem. Por nunca termos tido oportunidade de discutir nossa prática pedagógica (nem na universidade, nem em nossos ambientes de trabalho), nosso dia-a-dia na sala de aula tinha como 'fonte de inspiração' nossas vivências como alunas e outras (raras) experiências relacionadas a nossa atuação como professoras.

Nos primeiros tempos, assumíamos uma atitude essencialmente radical com nossos alunos e alunas. Acreditávamos que o mais importante era manter uma postura autoritária, de donas do saber; era aplicar provas difíceis, impondo a nossos alunos o empenho e a seriedade no estudo dos conteúdos que lhes transmitíamos. Pensávamos assim porque tivemos professores que, ao agirem dessa maneira, conseguiam tais resultados conosco. Achávamos que proceder de maneira semelhante bastaria para sermos boas profissionais, mesmo que nossos alunos não se interessassem pelos estudos e/ou não obtivessem boas notas. Contudo, com o tempo, fomos percebendo que, apesar do medo e da quantidade de

Dalva Lúcia Castilho

Professora da rede municipal de Belo Horizonte - MG

Katia Pedroso Silveira

Sistema de Ensino Arquidiocesano em Belo Horizonte - MG

Andréa Horta Machado

Professora do Colégio Técnico da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte - MG

○ presente artigo apresenta reflexões de três professoras sobre algumas de suas ações docentes no ensino médio.

*aulas de química, investigação/reflexão,
práticas pedagógicas*

Este artigo foi publicado originalmente na revista *Química Nova na Escola* n. 7, 1999.

estudo, nossos alunos e alunas não estavam necessariamente *aprendendo* química. Muitas vezes eles resolviam os exercícios e até conseguiam boas notas, porém demonstravam dificuldades quando precisavam aplicar os conceitos em novas situações. Algumas lembranças de aulas vivenciadas com nossos antigos professores reportavam-nos a experiências desagradáveis e, de maneira mais ou menos consciente, procurávamos evitar repeti-las em nossa prática. Por exemplo, em um de nossos encontros, uma de nós assim se pronunciou:

“Quando estava no colegial, tive uma professora que para nos ensinar química nos mandava ler, em voz alta, o texto do livro didático que abordava o assunto a ser ensinado. Cada aluno, seguindo a seqüência das carteiras na sala de aula, lia um parágrafo. Eventualmente ela se levantava e explicava em poucas palavras, com auxílio do giz e do quadro, o tal conteúdo. Eu, que sempre fui muito tímida diante de meus professores e morria de medo de não conseguir fazer uma boa leitura, contava desesperadamente quantos alunos estavam na minha frente, tentando descobrir qual seria o parágrafo que eu deveria ler em voz alta. Ficava então lendo-o várias vezes para que, quando chegasse a minha vez, eu não fizesse um ‘papelão’ diante da classe. E que alívio me dava quando o sinal tocava antes de chegar a minha vez.”

Era evidente para nós que em condições como essas a gente não aprendia e, a partir da reflexão sobre lembranças como essas, tentávamos planejar atividades mais adequadas para nossa prática,

Tudo era atrelado ao livro didático. Quando os alunos apresentavam baixo aproveitamento, pensávamos logo que a causa estava neles, na falta de estudo. Não tinha nada a ver conosco. No entanto, aos poucos passamos a nos questionar sobre para que serviria resolver determinados exercícios tão complexos

que pudessem melhorar nossas aulas. Tentávamos, então, lembrar e tentar seguir exemplos de outros professores que haviam marcado mais positivamente nossas vidas escolares, que organizavam o ensino de modo a nos sentirmos parte ativa na aula, não apenas ouvintes. Procurávamos implementar em nossas aulas atividades mais interessantes e diversificadas, usando recursos didáticos variados como, por exemplo, demonstrações experimentais, vídeos, aulas mais dialogadas, trabalhos em grupos menores etc.

O livro didático sempre era o grande direcionador do ensino que desenvolvíamos, desde o planejamento, os exercícios, as atividades, definindo até mesmo a profundidade com que abordávamos cada conteúdo. Tudo era atrelado ao livro didático. Quando os alunos apresentavam baixo aproveitamento, pensávamos logo que a causa estava neles, na falta de estudo.

Não tinha nada a ver conosco. No entanto, aos poucos passamos a nos questionar sobre para que serviria resolver determinados exercícios tão complexos ou discutir certos tópicos tão avançados de conteúdo. Percebíamos que mesmo os alunos mais dedicados muitas vezes não conseguiam atingir os níveis de entendimento que esperávamos (ou o que o autor do livro esperava!).

Quando tivemos um primeiro contato com materiais didáticos alternativos¹, utilizávamos esses materiais como fontes de pesquisa. Eventualmente levávamos algumas de suas atividades para a sala de aula, ainda que o livro didático comercial continuasse a determinar nosso ensino. Mais tarde, quando decidimos adotar os materiais alternativos, acreditávamos que seria a grande solução. Contudo, muitas dificuldades surgiram, porque nunca tínhamos vivenciado nenhum trabalho desse tipo. Tínhamos insegurança e medo de compartilhar nossas dúvidas pedagógicas e conceituais com os colegas. Apesar de nos sentirmos sozinhas e inseguras, não conseguíamos mais voltar às antigas práticas. Continuávamos buscando, nas experiências do dia-a-dia, melhores caminhos para nossos trabalhos.

Uma tentativa de investigação em nossa sala de aula

Participamos, muitas vezes, de discussões sobre diferenças entre *sensu comum* e *conhecimento científico*, e passamos a valorizar idéias que os alunos trazem de suas vivências acerca dos fenômenos químicos que ocorrem a sua volta. As diferenças entre essas idéias e as noções científicas ensinadas em sala de aula podem gerar dificuldades na aprendizagem de novos conceitos por parte dos alunos. Em função disso, começamos a perceber e discutir por que os alunos podem entender os objetivos, as atividades e a linguagem do processo de ensino diferentemente da maneira como o professor as entende (Schnetzler e Aragão, 1995).

Nesse contexto, propusemo-nos a desenvolver uma investigação com nossos alunos e alunas, com o objetivo de experienciar um 'olhar' mais sistemático e mais distanciado de nosso ensino, investigando como tem sido a organização da sala de aula e sua repercussão nas concepções dos alunos sobre alguns temas de química. Essa investigação que desenvolvemos baseou-se no estudo sobre algumas concepções de nossos alunos da terceira série do ensino médio a respeito de equilíbrio químico.

A partir da leitura de alguns trabalhos (Machado, 1992; Hackling e Garnett, 1985; Pereira, 1986; Maskill e Cachapuz, 1989), verificamos que os levantamentos realizados por esses autores revelaram várias idéias prévias dos alunos, diferentes daquelas cientificamente aceitas, sobre equilíbrio químico. Dentre elas, por nos parecerem mais relevantes em nossa experiência de sala de aula, escolhemos investigar as concepções sobre dois aspectos referentes ao estado de equilíbrio:

- coexistência de reagentes e produtos;
- constância das concentrações.

Sobre a *coexistência de reagentes e produtos*, percebemos que freqüentemente os alunos apresentam dificuldades em conceber a idéia de que, no estado de equilíbrio, o sistema é formado pelas substâncias reagentes e produtos ao mesmo tempo (Machado, 1992). Os alunos tendem a acreditar que, no estado de equilíbrio, apenas os produtos estão presentes no sistema.

Com relação à *constância das concentrações*, foi significativo o percentual de alunos que sugeriu que no equilíbrio as concentrações de reagentes e produtos são *iguais*. Para eles, a idéia de que 'algo' é igual no estado de equilíbrio do sistema é muito presente. Os alunos parecem entender a expressão 'constância das concentrações de reagentes e produtos' como igualdade. Essa concepção também foi identificada por outros autores, como Hackling e Garnett (1985) e Machado (1992).

O primeiro sentimento que nos veio ao analisar os dados foi o de frustração, por nos mostrar que nossa abordagem sobre o assunto não tinha sido satisfatória. Essa frustração foi se transformando em um grande desafio que nos levou a rever e a reconsiderar nossos discursos e sua coerência com nossas práticas em sala de aula.

Tentando buscar, na bibliografia, explicações para as concepções apontadas pelos alunos, encontramos dois fatores importantes que são muitas vezes desconsiderados por nós, professores de química: a representação e a linguagem (Hackling e Garnett, 1985; Pereira, 1986; Machado, 1992; Schnetzler e Aragão, 1995).

Em nossas aulas, muitas vezes não nos preocupamos em esclarecer para nossos alunos a diferença entre o fenômeno propriamente dito e a maneira como ele é representado quimicamente. Em alguns casos, essa confusão pode gerar concepções errôneas para eles. Talvez seja esse fator que os leve a não acreditar que reagentes e produtos possam existir ao mesmo tempo, já que, ao representarmos o fenômeno por meio da equação química, eles aparecem separados por setas.

**Passamos a valorizar
idéias que os alunos
trazem de suas vivências
acerca dos fenômenos
químicos que ocorrem a
sua volta**

Apesar de sabermos, e até enfatizarmos, que essas setas indicam a presença concomitante dessas substâncias, os alunos se deparam sempre com reagentes à esquerda e produtos à direita. Isso, aliado à falta de contato com o fenômeno, pode levá-los a reafirmar a idéia de que a reação inversa só ocorrerá depois que todo o reagente se transformou em produto.

Discutimos que a linguagem usada é um fator essencial, uma vez que ela pode representar e desenvolver concepções diversas, e quem sabe reforçar concepções distorcidas. Ao discutirmos o tema equilíbrio químico com nossos alunos, muitas vezes utilizamos expressões que, apesar de absolutamente claras para nós, não têm o mesmo significado para eles. Esse é o caso, por exemplo, da palavra 'constante'. Para os químicos, ela significa que a concentração de reagentes e produtos se mantém a mesma, não variando, a partir do equilíbrio; porém, para os alunos essa palavra pode adquirir um sentido de igualdade, ou seja, acreditam que, no equilíbrio, as concentrações de reagentes e produtos tornam-se iguais.

Outro exemplo desse tipo de distorção aparece quando tratamos do tema 'deslocamento de equilíbrio químico'. A insistência em usarmos a expressão "desloca-se para a direita" ou "desloca-se para a esquerda" pode reafirmar a idéia de que reagentes e produtos não existem ao mesmo tempo, e ainda que eles se encontram em compartimentos separados. Talvez se utilizássemos expressões como: "no sentido de favorecer a formação dos reagentes (ou produtos)", enfatizaríamos o conceito de que o fenômeno é dinâmico, isto é, reagentes e produtos se transformam um no outro durante todo o processo.

Reflexão e reconstrução da prática pedagógica

Nossas reflexões e discussões sobre o dia-a-dia na sala de aula muitas vezes suscitavam um sentimento de ansiedade na busca de respostas a tantas questões que sempre nos surgem. À medida que aprofundávamos nossas discussões, percebíamos que crescia a consciência de que essa ansiedade faz parte dos processos de mudança, que as respostas não são imediatas, que para algumas questões chegamos apenas a indícios de possíveis caminhos a seguir, não exatamente a respostas. Fomos percebendo que tínhamos em comum dificuldades, inseguranças, angústias e até 'certezas', certezas que, no processo, iam sendo repensadas, transformando-se ora em incertezas, ora em possíveis caminhos de mudança, ao longo de nossas interações e reflexões.

Um momento formativo marcante que vivenciamos foi quando explicitamos nossas concepções sobre 'ensino' e 'aprendizagem'. Nunca, em anos de trabalho, havíamos realmente parado para pensar nisso. Começamos a perceber como nossa prática se guiava muito mais por *intuição* que por *conhecimentos* sobre o processo de ensino-aprendizagem. Reflexões nos remetiam à idéia de que a aprendizagem só é significativa quando a aluna ou o aluno realmente consegue internalizar o novo conceito de tal modo que ele passe a ser considerado e a fazer parte da sua visão de mundo, ou seja, quando a aluna ou o aluno consegue ver relações entre os conceitos e situações vividas em seu cotidiano (Salvador, 1994).

Passou a se tornar importante considerarmos que cada estudante tem seu ritmo, pois a aprendizagem de determinado conceito não é estanque: acontece em diversos níveis e momentos: a cada novo contexto pode ser ampliada e reelaborada. No entanto, quando seguíamos o padrão determinado pelos livros didáticos, apresentávamos cada conceito em um momento único. Por exemplo, no ensino sobre a teoria atômica e os modelos atômicos (em geral um dos primeiros capítulos dos livros), *todos* os modelos eram apresentados de uma só vez.

Nosso ensino, mesmo que de maneira inconsciente, era calcado em uma visão de ciência como a grande dona da verdade, capaz de responder a qualquer questão e solucionar qualquer problema da realidade. Começamos a considerar e discutir que os modelos científicos são provisórios e evoluem

ao longo da história, ou seja, que a ciência não pode ser ensinada como um produto acabado, que ela é fruto de criações de homens, com determinadas visões de mundo e propensos a erros e acertos (Kuhn, 1975). Passamos a explorar e enfatizar a idéia de provisoriidade dos modelos científicos, de que nem a ciência nem o professor são donos da verdade.

Um exemplo disso é a abordagem sobre a evolução dos modelos atômicos no decorrer do tempo. Para introduzir esse assunto, atualmente, sugerimos aos alunos que observem fenômenos como o comportamento do ar dentro de um tubo com um balão na boca antes e depois de ser aquecido. A partir dessa atividade solicita-se que exponham e explicitem suas idéias sobre o fenômeno por meio de desenhos e explicações escritas. Notamos que vários modelos são sugeridos por eles, o que nos mostra como um único fenômeno pode ser interpretado de diversas maneiras (Mortimer, 1995). Nesse contexto, exploramos potencialidades de uso dos modelos atômicos propostos pelos químicos, em seus contextos e características diversificados.

Uma outra reflexão que fizemos refere-se ao papel dos experimentos em sala de aula. Fomos superando a tendência de usá-los como meio de comprovação das teorias ou apenas como um atrativo que torna a aula mais interessante. Fomos percebendo — e nos convencendo disso — que uma ferramenta que pode ter grande contribuição na explicitação, problematização e discussão dos conceitos com os alunos, criando condições favoráveis à interação e intervenção pedagógica do professor, de modo que eles possam discutir tentativas de explicação relacionadas aos conceitos (Hodson, 1989). Fomos compreendendo que o experimento faz parte do contexto normal de sala de aula, não simplesmente como um momento que isola a teoria da prática.

Os experimentos são uma ferramenta para a explicitação, problematização e discussão dos conceitos com os alunos

Tivemos a oportunidade de discutir que a escola pode se tornar um espaço onde são negociados os significados que a comunidade científica dá aos fenômenos (Mortimer e Carvalho, 1996) e que o experimento não é o único meio possível de se obter tais resultados. Podemos utilizar, por exemplo, fatos trazidos das vivências dos alunos, textos, tabelas de dados, uma questão proposta no início da aula etc., para desenvolver e promover o dinamismo da relação teoria-prática.

Como consequência de nossas vivências e reflexões, o livro didático, seja ele comercial ou alternativo, foi deixando de ser uma ferramenta única em nosso trabalho, tornando-se um instrumento importante, porém auxiliar, no processo. Nessa perspectiva, hoje nos sentimos mais livres, escolhendo os exercícios e textos que nos interessam, alterando a disposição dos conteúdos e selecionando aqueles que irão favorecer uma abordagem de maior qualidade — isso significando, muitas vezes, uma diminuição na quantidade —, com a utilização simultânea de vários tipos de estratégias e de recursos didáticos.

Considerações finais

A vivência desse processo de investigação/reflexão sistemática começou a fazer parte de nosso cotidiano, como nova postura e organização da vida na escola. Passamos a desenvolver o hábito — que não tínhamos — de expor nossas práticas e de dialogar sobre elas, bem como de ler e discutir publicações sobre trabalhos dirigidos à melhoria do ensino de química. Inicialmente, nem imaginávamos que tais trabalhos existiam. Com o tempo, passamos a conhecê-los. Nos primeiros contatos com esses materiais e subsídios, não sabíamos como aproveitá-los, não percebíamos a grande relação que tinham com nossas práticas, concepções e, especialmente, com nosso processo de mudança e a vontade de melhorar nossa prática pedagógica.

Sentimo-nos bastante desafiadas a fazer com que nossas salas de aula sejam, como sugerem

Schnetzler e Aragão (1995), um espaço constante de investigação que nos leva a uma contínua reflexão e revisão de nosso trabalho. Fomos percebendo e entendendo que essa aproximação é viável e enriquecedora, que ela possibilita efetivamente a nossa formação continuada, como professoras de química que apostam na melhoria do ensino e da formação escolar. Estamos convencidas de que qualquer professor pode ser mais do que um mero transmissor de informações, desde que se sinta realmente incomodado a ponto de buscar novos rumos para sua prática profissional.

Notas

¹A Faculdade de Educação da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), através do Centro de Ensino de Ciências e Matemática de Minas Gerais (CECIMIG), oferece cursos de especialização em ensino de ciências para professores das áreas de ciências (ensino fundamental), física, química e biologia (ensino médio).

²AMBROGI, A. e LISBÔA, J.C. *Misturas e substâncias reações químicas*. São Paulo: Gráfica e Editora Hamburg, 1988.

AMBROGI, A.; LISBÔA, J.C. e VERSOLATO, E.F. *Unidades modulares de química*. São Paulo: Gráfica e Editora Hamburg, 1987.

MAZON, A.B.; REZENDE, D.B.; ROMANELLI, L.I.; MARCONDES, M.E.R.; BELTRAN, M.H.R.; BELTRAN, N.O. e SCHNETZLER, R.P. *Projeto de ensino de química para o 2º grau*. Campinas: Unicamp, 1986.

Referências bibliográficas

HACKLING, M.W. e GARNETT, P.J. Misconceptions of chemical equilibrium. *European Journal of Science Education*, v.7, n. 2, p. 205-214, 1985.

HODSON, D. Uma visão crítica em relação ao trabalho prático nas aulas de ciências. In: *School Science Review*, v. 71, n. 256, 1989. (Tradução e adaptação: Andréa Horta Machado.)

KUHN, T. *A estrutura das revoluções científicas*. São Paulo: Perspectiva, 1975.

MACHADO, A.H. *Equilíbrio químico: concepções e distorções no ensino e na aprendizagem*. Dissertação de mestrado. Campinas: Unicamp, 1992.

MASKILL, R. e CACHAPUZ, A.F.C. Learning about the chemistry topic of equilibrium: the use of word association tests to detect developing conceptualizations. *International Journal Science Education* v. 11, n. 1, p. 57-69, 1989.

MORTIMER, E.F. Concepções atomistas dos estudantes. *Química Nova na Escola* n. 1, p. 23-26, mai. 1995.

MORTIMER, E.F. e CARVALHO, A.M.P. de. Referenciais teóricos para análise do processo de ensino de ciências. *Cadernos de Pesquisa*, n. 96, p. 5-15, fev. 1996.

MORTIMER, E.F. Para além das fronteiras da química: relações entre filosofia, psicologia e ensino de química. *Química Nova*, v. 20, n. 2, p. 200-207, mar./abr. 1997.

PEREIRA, M.P.B.A. *Equilíbrio químico - dificuldades de aprendizagem e sugestões didáticas*. Lisboa: Universidade de Lisboa, 1986.

SALVADOR, C.C. Significado e sentido na aprendizagem escolar. Reflexões em torno do conceito de aprendizagem significativa. In: *Aprendizagem escolar e construção do conhecimento*. Porto Alegre: Ed. Artes Médicas, 1994.

SCHNETZLER, R.P. e ARAGÃO, R.M.R. Importância, sentido e contribuições de pesquisas para o ensino de química. *Química Nova na Escola*, n. 1, p. 27-31, mai., 1995.

Para saber mais

MALDANER, O.A. e PIEDADE, M.C.T. Repensando a química, *Química Nova na Escola*, n. 1, p. 15-19, 1995.

CARVALHO, A.P. e GIL-PÉREZ, D. *Formação de professores de ciências*, São Paulo: Cortez, 1993.

CHASSOT, A.I. Para que(m) é útil o ensino da ciência, *Presença Pedagógica*, p. 35-44, jan./fev. 1995.

Tirando as ARGILAS do anonimato

Por habitarmos centros urbanos, não damos atenção e até mesmo nos esquecemos da estreita dependência que temos do solo — essa parte do planeta que, nas cidades, de tão recoberta por concreto e asfalto, nos passa despercebida, exceto no período chuvoso, quando o fluxo das águas nos mostra o quanto está impermeabilizada.

As argilas, parte integrante do solo, permanecem anônimas em nossos currículos, ainda que sejam um dos principais componentes estruturais desse nosso ecossistema urbano: a cidade. São elas que, essencialmente, constituem e dão corpo ao solo ou ao chão que nos sustenta, além de serem utilizadas na construção civil — compondo a paisagem urbana —, e nas artes plásticas e, é claro, de serem a base primordial para a agricultura. Contudo, raramente merecem destaque no ensino de química.

O presente artigo refere-se a uma abordagem do tema 'argilas' no ensino de química, desenvolvida com os alunos do nível médio, no Colégio Técnico da UFMG (Coltec), com a intenção de contribuir para que esse tema esteja mais presente no currículo escolar. O trabalho relaciona-se ao uso do livro paradidático *Argilas: as essências da terra*, escrito pelo professor Aécio Pereira Chagas (1996), e inclui algumas estratégias de ensino-aprendizagem que desenvolvemos e implementamos na escola. Nosso trabalho baseia-se em intenções como:

- considerar as relações entre conhecimento químico, sociedade, tecnologia, cultura, economia, política, ética e ecologia;
- resgatar a ênfase nos princípios químicos e possibilitar uma visão mais coerente das atividades científicas;
- disponibilizar aos professores sugestões para a exploração de um recurso que pode propiciar a contextualização e o aprofundamento do conteúdo abordado, a

Rúbia Lúcia Pereira

Escola Professor Guerino Casassanta da rede estadual de Minas Gerais - MG

Deborah Andrade Munhoz

Consultora em gerenciamento, química e educação ambiental de organizações, em Belo Horizonte - MG

Adalberto Pinheiro Pestana

Professor da Escola Aurélio Pires, na rede municipal de Belo Horizonte - MG

Luciana Augusta Vieira

Professora da Escola Paschoal Comanducci, da rede estadual de Minas Gerais - MG

Andréa Horta Machado

Colégio Técnico da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte - MG

○ presente artigo considera a importância das argilas em nosso ambiente e, em especial, na constituição das cidades. Socializa atividades desenvolvidas com os alunos a partir da análise de um livro paradidático.

argilas, educação ambiental, livros paradidáticos

Este artigo foi publicado originalmente na revista *Química Nova na Escola* n. 10, 1999.

atualização, a visão transdisciplinar da ciência e a inter-relação entre os conceitos apresentados em sala de aula;

- estimular a prática da educação ambiental em sala de aula;
- oferecer aos alunos momentos em que possam desenvolver habilidades de comunicação, cooperação, argumentação, participando assim ativamente de seu processo de aprendizagem;
- estimular a leitura de livros, seguida de consulta a outras fontes de informação correlatas e atualizadas.

O contexto do trabalho

No primeiro ano do ensino médio, no Coltec, os alunos vêm trabalhando com uma abordagem alternativa do ensino de química, centrada no estudo dos materiais e das substâncias. Embora tal abordagem se diferencie do ensino tradicional — conforme já descrito por Romanelli & Justi (1998) —, a relação entre os conceitos químicos abordados e as questões sociais, tecnológicas e ambientais ainda não era satisfatoriamente contemplada.

A partir de 1996 passou-se a buscar tal articulação, sendo que uma das estratégias de ensino-aprendizagem adotadas foi a exploração de livros paradidáticos (Munhoz *et al.*, 1996; Machado *et al.*, 1997). Os bons resultados obtidos junto aos alunos levaram à criação, em 1996, de um projeto apoiado pelo Programa de Apoio à Formação de Professores e à Docência em Ciências e Matemática no Ensino Médio e Fundamental (Capes/MEC). A metodologia do trabalho baseia-se na proposta descrita por Lima (1996), em *Química Nova na Escola*. Considera experiências anteriores das professoras do primeiro ano (Coltec) e também critérios de avaliação de livros didáticos utilizados pela Secretaria de Estado de Educação de Minas Gerais (SEE, 1996).

O livro paradidático explorado

Descrevemos, a seguir, aspectos do livro paradidático que serviu de base para o trabalho



desenvolvido com os alunos na escola. Concordamos que o autor, em sua obra, *tira as argilas do anonimato*, ao explicitar e chamar a atenção para suas características, sua importância, suas funções e outros aspectos. Trata, por exemplo, da afinidade das argilas pela água, correlacionando-a à formação dos cristais de argila e do retículo cristalino e às interações existentes entre a água e as plaquetas de argila na composição da então denominada 'dupla camada'. O autor apresenta e comenta a importância das argilas para a fertilidade do solo e a associação erosão/assoreamento de corpos d'água.

A abordagem de conteúdos como a composição química, a estrutura e as propriedades das argilas facilita sua apresentação ao leitor de maneira contextualizada, o que favorece a articulação entre o mundo dos fenômenos, as teorias e suas representações.

O autor dá visibilidade a temas importantes que podem ser ampliados e enriquecidos quando trabalhados de maneira interdisciplinar, tais como: constituição, conservação e fertilidade do solo; salinização, impermeabilização, intemperismo, erosão, produção de cerâmicas, cimento e catalisadores a partir das argilas. O conteúdo é

apresentado numa tentativa de utilizar diversas formas de abordagem. Há o predomínio de uma abordagem *explicativa*, na qual o leitor é orientado para a compreensão do fenômeno, e *aplicativa*, estimulando o leitor a usar esse conhecimento para interpretar as relações entre o solo, a absorção de nutrientes pelos vegetais e as maneiras como a sociedade usa o solo e os materiais provenientes da terra. Por momentos essa abordagem predominante é mesclada com uma abordagem ambiental que considera o ambiente um espaço de interação social, culturalmente construído, destacando o meio rural e urbano. Nessa abordagem, as modificações no ambiente são focalizadas e localizadas tendo como referência o universo microscópico das argilas.

Ambas as abordagens exploram contextos de uso de conceitos químicos tais como substância, átomos, elementos, geometria molecular, cátions, ânions, complexos, troca iônica, misturas heterogênea e homogênea, partículas, processos de dissolução, solubilidade, reação de neutralização, equilíbrio químico, rapidez de reação, catalisadores, polímeros, partículas hidrófilas e hidrófobas, adsorção e absorção. Chamou-nos a atenção, por exemplo, a reflexão suscitada pelo autor acerca do conceito de modelo científico, pois raramente livros didáticos ou até mesmo paradidáticos enfocam esse assunto, apesar de grande parte do conhecimento químico envolver a utilização de modelos.

Algumas atividades desenvolvidas

Considerando as dificuldades inerentes à elaboração e execução de trabalhos interdisciplinares, optamos por socializar, no presente artigo, algumas atividades desenvolvidas na exploração do tema, que, em nosso entendimento, podem abrir espaço para a prática da educação ambiental num espaço de interlocução com o conhecimento químico, como as que seguem:

a) pesquisa sobre as características da cerâmica encontrada nos principais sítios arqueológicos brasileiros: Onde estão localizados? Como é o processo de exploração de sítios arqueológicos? Como eram produzidos os objetos de cerâmica? Que materiais eram utilizados para pintá-los? Como a ciência oferece meios para determinar a idade de objetos antigos? O que a Constituição Brasileira diz sobre esses locais?

Essa é uma atividade de função ampliadora da abordagem temática em que o aluno, ao buscar informação em fontes variadas (museus, livros, enciclopédias, Internet, entrevistas com especialistas), familiariza-se com a história das terras brasileiras, com a arqueologia e com a utilização do conhecimento químico em técnicas primitivas (manufatura da cerâmica) e modernas (datação por ^{14}C). Possibilita a articulação da química com a história, ao abordar assuntos relacionados à cultura dos povos antigos; possibilita também a articulação da química com a geografia e a geologia durante a exploração de mapas para a localização geográfica da cerâmica e a busca de informações sobre as características do relevo e a constituição geológica dos sítios.

b) elaboração de um modelo para explicar o comportamento da areia movediça — ela é um tipo de argila? Comparar o modelo elaborado com o modelo de argila proposto no livro e discutir com os colegas. Uma atividade como essa pretende desenvolver o lado criativo e abstrato dos alunos na elaboração do modelo para a areia movediça;

c) pesquisa sobre as diferenças entre técnicas de construção de um edifício em solo arenoso e argiloso. Que cuidados devem ser tomados para não haver desabamentos?

Nessa atividade podem ser levantados alguns dos famosos desabamentos ocorridos no Brasil ou na cidade do aluno. A pesquisa envolve fontes que perpassam desde bibliografias afins até

As atividades desenvolvidas na exploração do tema podem abrir espaços para a prática da educação ambiental num espaço de interlocução com o conhecimento químico

visitas/entrevistas junto ao Conselho Regional de Arquitetura e Engenharia e/ou especialistas, consulta às leis, direitos do consumidor etc., contribuindo assim para a formação de cidadãos e cidadãs conscientes;

d) organização de uma exposição de objetos feitos com argila. Os objetos podem ser confeccionados em sala ou em casa pelos próprios alunos. Cada objeto deverá ser acompanhado de um texto descrevendo seu processo de produção e sua importância no ambiente onde é utilizado. A confecção de objetos de argila possibilita resgatar, durante a modelagem do barro, o contato (já tão esquecido) com a terra. Nessa atividade cabe uma reflexão sobre a plasticidade da argila e de sua afinidade com a água. A reflexão sobre essas propriedades proporciona uma compreensão melhor daquilo que os sentidos percebem no nível dos fenômenos, utilizando as teorias e representações para o mundo das partículas. A confecção de texto proporciona ao aluno um momento para explicitar e elaborar sua compreensão sobre as argilas;

e) levantamento e seleção de músicas populares brasileiras que falam sobre terra (no campo, na cidade etc.). Promover um debate sobre a mensagem presente em cada letra e no arranjo (prestar atenção nos instrumentos utilizados e na percussão — como o som ajuda a comunicar a mensagem presente na letra?). Uma das músicas sugeridas é *Segue o seco*, de Carlinhos Brown, cantada por Marisa Monte no CD *Verde anil amarelo cor-de-rosa e carvão*;

f) debates sobre temas correlatos como usos da argila, tipos de solo, aumento da desertificação no Brasil, ação das madeireiras na Malásia e na Amazônia (para onde vai a madeira explorada?). Essa atividade tem como objetivo colocar o aluno em contato com as práticas adotadas pelas madeireiras e as conseqüências imediatas e a longo prazo decorrentes de suas ações, incluindo a desertificação. Proporciona também uma reflexão sobre a destinação do material explorado e sobre seu papel como consumidor de madeira;

g) pesquisas sobre a atuação dos cupins na modificação das propriedades do solo. Os cupins são insetos tidos como indesejados, perigosos e destrutivos. Uma pesquisa sobre a ecologia desses insetos pode problematizar essa verdade aparente. Como eles são capazes de digerir as fibras de papel? Que propriedades do solo eles são capazes de modificar? É possível a plantação em terra modificada por cupins? Uma sugestão de atividade seria recolher um cupinzeiro (termitreiro) e utilizá-lo para plantio. Essa proposta de pesquisa abre espaço para o desenvolvimento de um trabalho interdisciplinar com biologia, aproveitando para tratar a morfologia e fisiologia dos cupins. Um paralelo sobre a organização da sociedade dos cupins e as sociedades humanas pode ser feito em parceria com estudos sociais ou história, uma vez que os cupins são considerados insetos sociais. Aqui fica uma sugestão: debater a frase: “Em algumas espécies primitivas não há operários; em outras, mais evoluídas, não há soldados”. A discussão pode ser promissora.

À guisa de conclusão

Como nos lembra Chagas (1996), as argilas são as essências da terra. Por meio da análise das atividades desenvolvidas, acreditamos ser possível trazer para a sala de aula a percepção de que o conhecimento químico contribui para a compreensão de importantes questões ligadas a nossa vivência cotidiana, como é o caso desse tipo de material (argilas), tão relacionado ao nosso ambiente, seja o rural ou o urbano.

Esperamos que a diversificação das estratégias de ensino-aprendizagem e das temáticas articuladoras da educação em química/ciências possa contribuir para a elaboração de uma nova forma de pensar que articule as aprendizagens de química e de química ambiental. Em especial, esperamos valorizar a prática da educação ambiental que se configure como hábitos culturais, dentro e fora da sala de aula, articuladamente ao propósito de ‘aprender a falar química’ e de ‘educar através da química’.

Referências bibliográficas

- CHAGAS, A.P. *Argilas: as essências da terra*. São Paulo: Moderna, 1996.
- LIMA, M.E.C.C. Uso de livros paradidáticos no ensino de química: uma orientação para o tratamento de problemas autênticos. In: *Anais do XIII Encontro Nacional de Ensino de Química e do XIII Encontro Centro-Oeste de Debates sobre o Ensino de Química e Ciências*. Campo Grande, 1996.
- LIMA, M.E.C.C. Formação continuada de professores de química. *Química Nova na Escola*, n. 4, p. 12-17, 1996.
- MACHADO, A.H.; MUNHOZ, D.E.A. e MINGOTE, R.M. Plásticos: bem supérfluo ou mal necessário? Relatos de uma experiência em educação ambiental com livros paradidáticos. In: *Livro de Resumos da 20ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química*. Poços de Caldas, 1997. Resumo ED-31.
- MUNHOZ, D.E.A.; MACHADO, A.H. e MINGOTE, R.M. Trabalhando com livros paradidáticos: uma contribuição para a educação ambiental em ambientes urbanos. In: *XIII Simpósio Nacional de Educação Ambiental / IV Simpósio Infanto-Juvenil de Educação Ambiental*. Belo Horizonte, 1996.
- ROMANELLI, L.I. e JUSTI, R.S. *Aprendendo química*. Ijuí: Ed. Unijuí, 1998.
- Secretaria de Educação do Estado de Minas Gerais - SEE. *Manual de orientação: avaliação de livros didáticos de ciências*. Belo Horizonte, 1996.

Para saber mais

- LEONARDO, A.M.C. A guerra química dos cupins. *Ciência Hoje*, v. 10, n. 56, p. 26-34, ago. 1989.
- CIÊNCIA HOJE. Os estranhos canais subterrâneos de Tucuruí. São Paulo, v. 2, n. 12, p. 50-56, ago. 1984.
- SCHMIDLIN, R. O processo de desertificação no Brasil. In: DUARTE, R., org. *Ecologia e cultura*. Belo Horizonte: Imprensa Oficial, 1983, p. 99-128.

O Papel do Professor na Produção de Medicamentos Fitoterápicos



Petronildo B. da Silva

Escola Estadual Jarbas Pernambucano,
Recife - PE

Lúcia Helena Aguiar

Departamento de Química da Universidade
Federal Rural de Pernambuco, Recife - PE

Cleide Farias de Medeiros

Departamento de Educação da Universidade
Federal Rural de Pernambuco, Recife - PE

O uso de plantas que apresentam atividades medicinais é conhecido e propagado através da cultura e da tradição popular. No Nordeste do Brasil, grande parte dos habitantes da região usam o conhecimento de gerações para tratar de enfermidades e procurar manter-se saudáveis. Mas esse não é um fenômeno isolado. Calcula-se que 80% da população dos países subdesenvolvidos e em desenvolvimento são quase completamente dependentes da medicina caseira, utilizando plantas para as suas necessidades primárias de saúde (Braz-Filho, 1994).

É no âmbito da medicina popular e no fabrico de medicamentos fitoterápicos desenvolvidos pelo CEMPO —Centro de Educação e Medicina Popular, localizado na comunidade do Córrego do Jenipapo, em Recife - PE, que esse trabalho se insere. Trata-se de uma tentativa de fazer um resgate dos saberes populares em química e, de alguma forma, procurar aprofundar o conhecimento e contribuir para uma melhoria da prática comunitária. Para auxiliar os trabalhos em comunidade, foram tomados como referência alguns pressupostos teóricos da metodologia da pesquisa-ação descritos por Thiollent (1994). Nesse contexto, procurou-se investigar o trabalho de saúde e medicina popular iniciado na comunidade por médicos, enfermeiros e agentes de saúde desde o início da década de 80, principalmente no que diz respeito à produção de medicamentos fitoterápicos tais como tinturas, pomadas, xaropes e outros formulados, buscando-se interagir com os participantes no referido processo, para uma contribuição mútua dentro dos binômios erudito e popular, ciência e cultura, ensino e aprendizagem, expandindo-se dessa forma os horizontes do papel do professor enquanto um educador na comunidade.

Aspectos teóricos-metodológicos

Segundo Thiollent (1994), a pesquisa-ação pode ser

O presente artigo relata uma investigação do trabalho de saúde e medicina popular realizado no CEMPO - Centro de Educação e Medicina Popular, em Recife - PE, usando a metodologia da pesquisa-ação. Buscando-se interagir com os participantes no processo e expandir os horizontes do papel do professor enquanto um educador na comunidade, foi investigada a produção de medicamentos fitoterápicos tais como tinturas, pomadas, xaropes e outros formulados.

*processos extrativos, pesquisa-ação, plantas
medicinais*

Este artigo foi publicado originalmente na revista *Química Nova na Escola* n. 11, 2000.

aplicada a diversas situações e contextos como o da educação, do serviço social, comunicação, práticas políticas, movimento sindical etc., sempre procurando resolver uma ação problemática digna de investigação científica, abrindo ainda um leque de possibilidades de trabalho que podem ser encaminhadas através de uma tomada de consciência e/ou produção coletiva do saber. Mas esse tipo de pesquisa também incorpora o objetivo de busca de conhecimento, cujo resultado é decorrente da prática acima mencionada. Algumas limitações, no entanto, parecem ser inerentes à metodologia empregada e, de acordo com certas posições, o sucesso desse empreendimento está muito mais condicionado às qualidades pessoais do pesquisador do que à própria metodologia em si. O excesso de identificação colocado entre o pesquisador e os pesquisados pode trazer ainda uma carga de subjetividade muito grande, limitar ou até desviar as necessidades reais dos grupos para um mero entendimento psicológico (Azanha, 1992).

Apesar de reconhecermos as críticas feitas por Azanha sobre as limitações da pesquisa-ação, há a crença subjacente nesse presente estudo de que o contato interpessoal entre investigador e investigados, oportunizando a estes últimos a possibilidade de refletirem sobre as suas práticas de vida, pode desencadear, no mínimo, uma troca de visões sobre as culturas erudita e popular e conseqüentemente uma produção coletiva de conhecimento.

Uma outra questão levantada com relação à troca de conhecimento, compartilhada por Chassot (1990), versa sobre o que a pesquisa realizada pode oferecer para a melhoria do conhecimento embutido nas práticas de vida da comunidade pesquisada. Há uma necessidade social de se reverterem os benefícios aos sujeitos que ofereceram a sua contribuição. Ter consciência desse retorno é um marco da ação transformadora. No entanto, essa transformação não deve ser entendida como uma mudança no fazer da comunidade mas como um oferecimento de certas explicações para alguns porquês desse fazer.

O conteúdo metodológico anteriormente descrito, de certa forma, já havia sido experimentado pela comunidade quando, no começo da década de 80, o médico Celerino Carricone, juntamente com o Conselho de Moradores, procurou criar uma consciência de saúde coletiva, tendo como ponto de partida a realidade da comunidade, caracterizada pela falta de saneamento básico, que refletia diretamente na saúde da população. O trabalho prático foi iniciado com um levantamento de como as pessoas usavam as plantas medicinais, registrando as espécies mais usadas e suas respectivas indicações terapêuticas populares. Objetivou-se com isso a valorização da cultura popular, devolvendo-se à comunidade orientações que difundiram o bom uso dos chás, infusos e lambedores; incentivou o cultivo das plantas medicinais nos quintais das casas e principalmente abriu um espaço permanente de discussão política sobre a saúde do povo, espaço esse caracterizado com a criação do CEMPO.

Tendo como referência as concepções teórico-metodológicas já apresentadas e os históricos da medicina popular no bairro, essa pesquisa iniciou-se com entrevistas dos membros do CEMPO, de acordo com o que se entende por inserção participante. Analisou fatores químicos interferentes no processo de fabricação de medicamentos caseiros e buscou ainda elementos de subsídios ao trabalho do professor, enquanto agente educador, na perspectiva holística de que a produção comunitária é uma fonte inesgotável de conhecimento e aprendizagem.

Algumas explicações subjacentes às atividades de fabricação de medicamentos caseiros

Apesar da simplicidade prática envolvida, por exemplo em um chá, lambedor ou mesmo em uma garrafada, diversos mecanismos físico-químicos complexos estão presentes nos processos de extração, tais como difusão, osmose, pressão de vapor, cinética de reação etc. Os processos

envolvidos na fabricação de medicamentos fitoterápicos levam em consideração vários cuidados, recomendados por diversas fontes como Pedretti (1983) e Castellano (1981). Esses cuidados referem-se à identificação, cultivo, colheita e secagem das plantas medicinais aqui apresentadas de forma sequenciada como ocorre na prática comunitária do Córrego do Jenipapo. Porém, antes de apresentá-los, é conveniente que alguns conceitos básicos usados no contexto da fitoterapia sejam esclarecidos.

Planta medicinal e princípios ativos

Uma planta medicinal é um vegetal que produz em seu metabolismo natural substâncias em quantidade e qualidade necessárias e suficientes para provocarem modificações das funções biológicas, os chamados princípios ativos, sendo portanto usada para fins terapêuticos.

Uma planta medicinal é um vegetal que produz em seu metabolismo natural substâncias que provocam modificações das funções biológicas. Essas são os chamados princípios ativos, usados para fins terapêuticos

Alguns princípios ativos, no entanto, apresentam elevada toxicidade, devendo-se ter o cuidado de usá-los em concentrações estritamente indicadas.

Extração de princípios ativos

Extrair princípios ativos de uma planta medicinal significa passá-los do seu estado natural dentro da célula vegetal para um líquido (água ou solvente orgânico). Vários fatores como temperatura e tempo de aquecimento influenciam para que se consiga a máxima concentração de produtos naturais no

líquido extrator e, conseqüentemente, no medicamento a ser preparado.

Droga vegetal

A droga vegetal é o produto resultante do beneficiamento (secagem, limpeza, trituração) de uma planta medicinal qualquer. É a matéria-prima utilizada na preparação dos medicamentos fitoterápicos.

Medicamento fitoterápico

O medicamento fitoterápico é aquele fabricado a partir de uma droga vegetal, manipulado de acordo com técnicas apropriadas e indicado no combate às disfunções orgânicas.

Atividades de fitoterapia realizadas no CEMPO

Identificação

É o passo inicial e de extrema importância para o bom uso das plantas medicinais, que visa a evitar erros de identificação com outras plantas de características semelhantes. Essa identificação pode ser realizada em nível científico e/ou em nível popular. No caso do CEMPO, muitas vezes, relaciona-se com o modo popular de usar as ervas medicinais e com a atividade terapêutica popularmente difundida.

Cultivo

O habitat natural é o local mais indicado para o completo desenvolvimento das plantas medicinais. Segundo Castellano (1981), nessas regiões as plantas concentram boa parte dos metabólitos secundários inerentes a cada espécie. No entanto, um local que pode ser utilizado como alternativa para o cultivo de plantas medicinais é o quintal das casas, surgindo dessa prática as conhecidas hortas comunitárias que, devido às suas condições físicas, são de pequeno porte. Na Figura 1 é mostrada a horta comuni-

tária do CEMPO, feita de pequenos canteiros onde são cultivadas plantas como a erva cidreira, confrei, alcachofra, mastruz, hortelã dentre outras utilizadas no fabrico dos medicamentos.

Colheita

O princípio de preservação deve estar presente sempre que se for coletar as plantas medicinais. A colheita realizada no canteiro das plantas obedece a algumas recomendações referentes às partes coletadas, formas de coleta e bom uso das mesmas, tais como:

- colher folhas, frutos e raízes de plantas mais velhas;
- não retirar todas as folhas;
- escolher raízes superiores e secundárias.

A época da colheita é outro fator muito importante que deve ser levado em consideração para preservar os constituintes químicos, pois nesse caso aspectos como a floração e a maturação das plantas e dos frutos alteram a composição química e, portanto, a qualidade final do fitoterápico.

Secagem

É um processo muito importante e deve ser realizado logo após a colheita das plantas. A Figura 2 mostra o local reservado no CEMPO para essa operação. Apresenta-se seco e arejado, protegido da incidência direta dos raios solares e da presença de insetos pois as janelas são revestidas de redes metálicas. Depois de coletadas, as plantas são colocadas em telas feitas de arame e madeira e são reviradas continuamente para uma secagem mais homogênea. Uma planta no seu habitat natural possui cerca de 75% a 85% de umidade. Após o processo de secagem registra-se um teor em torno de 10% a 12%.

Manipulação de plantas medicinais e produção de extratos empregados pelo CEMPO

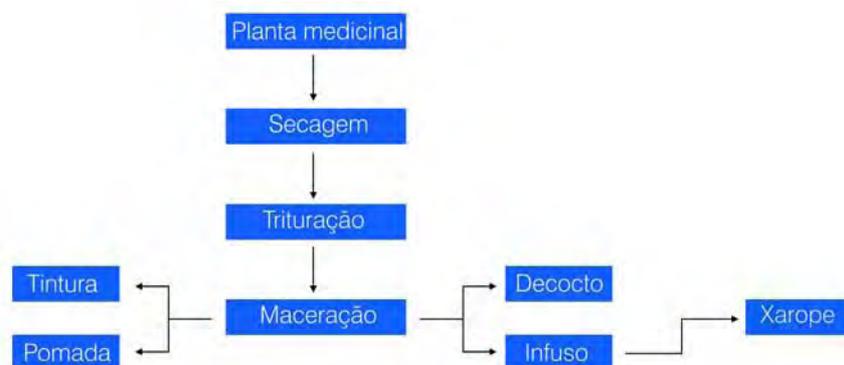
Além dos cuidados com o cultivo em geral das plantas medicinais, é necessário ainda que os medicamentos fitoterápicos, no final do processo, conservem boa parte dos metabólitos secundários, provenientes de suas respectivas plantas. Para tal finalidade, a manipulação correta das plantas medicinais, o modo de preparo e o armazenamento dos extratos são de suma importância, uma vez que os constituintes químicos aí presentes podem degradar-se em um curto espaço de tempo. Sendo assim, o Esquema 1 representa as etapas de produção de fitoterápicos caseiros, comentadas a seguir de acordo com a prática realizada no CEMPO.



Figura 1 – Canteiro de plantas medicinais do CEMPO.



Figura 2 – Secagem de plantas medicinais no CEMPO.



Esquema 1 – Esquema representativo do processo de fabricação de fitoterápicos empregado pelo CEMPO.

As plantas, após a secagem, são trituradas, aumentando a superfície de contato e facilitando a extração dos princípios ativos. Obtido o pó ou as partes trituradas, colocam-se as plantas sob maceração em soluções apropriadas, obtendo-se com isso produtos como tinturas, pomadas e xaropes.

Tem-se tinturas quando as plantas são colocadas em solução hidroalcoólica; as pomadas são originadas da ação da lanolina aquecida, e os xaropes são resultantes da decoção (decocto) ou da infusão (infuso) das plantas medicinais em água, com a adição final de açúcar na proporção de 1:1.

Com relação à conservação dos fitoterápicos, o CEMPO observa cuidados que evitam a mudança da coloração dos medicamentos, a formação de bolores e precipitados. A temperatura e o tempo de armazenagem são próprios para o fabrico de medicamentos caseiros. Todos esses cuidados estão resumidos na Tabela 1.

Discussão sobre o trabalho realizado na comunidade

Participamos, durante seis meses, de todos os aspectos que envolvem o trabalho de saúde, educação e medicina popular na comunidade do Córrego do Jenipapo, cujos esforços resultam na produção de fitoterápicos populares e numa orientação para uma consciência do bom uso das plantas medicinais, acompanhando cada passo de toda a dinâmica cultural enraizada nos participantes do CEMPO, enquanto agentes construtores da sua própria história. Procurou-se, durante esse período, a interação, de forma mais efetiva, com o que é produzido na comunidade. Dentro desse contexto foram revelados vários elementos técnicos, culturais, sociológicos e políticos que ampliam o papel do professor como educador integrado à sua comunidade, resultando daí frutos de transformação ao binômio ensino-aprendizagem.

Acreditando nessa concepção, o professor, partindo de conhecimentos formais, pode melhorar a prática cotidiana nas comunidades. Sendo assim, tomamos por base o trabalho de Xavier e Souza (1994), que, num estudo fitoquímico comparativo dos extratos vegetais comercializados na cidade do Recife, concluíram que muitos desses produtos apresentavam uma pequena quantidade de metabólitos secundários oriundos das respectivas plantas medicinais. Atribuíram a esse fato diversos fatores físico-químicos tais como o mau acondicionamento das tinturas, permitindo a incidência direta dos raios solares, a temperatura de secagem das plantas acima do permitido e o pH da água impróprio para o fabrico desses medicamentos. Investigamos esses mesmos fatores nos processos extrativos de plantas medicinais empregados pelo CEMPO. Alguns problemas foram detectados com relação ao pH da água (em torno de 4,2), proveniente de poços artesianos, usada para as

Tabela 1 – Conservação de fitoterápicos populares do CEMPO.

Material vegetal	Prazo de validade	Recomendações	Sinais de alteração
Planta seca	1 ano	embalagens escuras	ausência de coloração característica, presença de fungos e manchas
Pó	6 meses	embalagens escuras	descoloração, presença de fungos
Tintura	1 ano	vidro âmbar	mudança de coloração, precipitação acentuada
Infuso, decocto	24 horas	guardar na geladeira ou em local fresco	aroma e sabor desagradáveis, bolor
Garrafada	1 ano	vidro âmbar	perda de cor e precipitação do material
Xarope	3 meses	vidro âmbar, baixas temperaturas e boas condições de higiene	presença de fungos e perda de coloração
Pomada	6 meses	embalagens escuras	manchas escuras, fungos

preparações dos extratos. Recomendou-se, então, a utilização de carbonatos e bicarbonatos no eluente das plantas como forma de elevar o pH a valores tolerados e manter os constituintes químicos ativos preservados (Farmacopéia Brasileira, 1959).

A relevância do trabalho desenvolvido na referida comunidade ainda transcende implicações educacionais com relação a conteúdos curriculares para o ensino fundamental e médio. Nesse caso, podem-se indicar algumas abordagens:

1. os processos extrativos de plantas medicinais baseiam-se em diversos mecanismos físico-químicos tais como, difusão, diluição, fatores cinéticos de reação (temperatura, tempo de aquecimento, superfície de contato, natureza do reagente), pressão de vapor, pressão osmótica etc. Esses conceitos podem ser trabalhados em sala de aula, dentro do ensino da química, através de pequenos experimentos comparativos, utilizando-se o pó da planta e a planta macerada. Observa-se, através da intensificação da cor da tintura, em um dado tempo, qual o processo mecânico que dispersa mais os princípios ativos no líquido extrator, verificando-se, assim, a influência da superfície de contato e discutindo-se, ainda, as idéias e os conceitos alternativos trazidos pelos alunos sobre o assunto proposto;

2. um outro enfoque recai sobre o estudo dos vegetais. Tal conteúdo pode ser preenchido pelas plantas medicinais, abordando-se as suas características físicas, partes empregadas para fazer determinado medicamento fitoterápico, indicações terapêuticas, relatos de experiências do uso das ervas medicinais vividas pelos alunos, entre outras estratégias de ensino, com o objetivo de socializar este importante aspecto da cultura popular. Essa proposta é baseada no Projeto de Capacitação dos Professores de Ciências e Biologia da UFPB, compartilhando idéias de Diniz e colaboradores (1995).

Os processos extrativos de plantas medicinais baseiam-se em diversos mecanismos físico-químicos tais como, difusão, diluição, fatores cinéticos de reação, pressão de vapor, pressão osmótica etc. Esses conceitos podem ser trabalhados em sala de aula, dentro do ensino da química, através de pequenos experimentos comparativos

Considerações finais

A comunidade tomou conhecimento de que certos fatores físico-químicos, aqui descritos, podem prejudicar os processos de extração de plantas medicinais e que tais processos no caso são de relevante importância, pois todo o esforço de produção é concentrado na preservação dos princípios ativos. Isso proporcionou uma aprendizagem coletiva significativa e uma certa apreensão do saber científico.

Por constituir-se numa prática fecunda e extremamente dinâmica, dotada de certas peculiaridades, a fitoterapia oferece caminhos alternativos à terapêutica tradicional, dotando seus participantes de um certo “poder”

A fitoterapia, que é a atividade principal do CEMPO, é realizada dentro de um contexto social, histórico e político muito forte, que emergiu da cultura do povo como respostas às precárias condições de saúde do bairro. Por constituir-se numa prática fecunda e extremamente dinâmica, dotada de certas peculiaridades, a fitoterapia oferece caminhos alternativos à terapêutica tradicional, dotando seus participantes de um certo “poder”.

Cabe à participação popular, devidamente organizada, reivindicar esse direito, estendendo assim as suas conquistas, auxiliada e embasada por um compromisso mais orgânico da

ciência com as causas populares.

É nesse sentido que se torna relevante a participação do educador, que, envolvido com todo o contexto social, cultural e político próprio da comunidade, parte da prática cotidiana de seus representantes e procura, em uma abordagem participativa e integrada, construir elementos que ressaltem a cultura popular adaptando-os à sua prática pedagógica.

Referências bibliográficas

- AZANHA, J.M.P. *Uma idéia de pesquisa educacional*. São Paulo: Ed. USP, 1992.
- BRAZ-FILHO, R. Química de produtos naturais: importância, interdisciplinaridade, dificuldades e perspectivas. *Química Nova*, v. 17, n. 5, p. 405-419, 1994.
- CASTELLANO, O. *Introdução à fitoterapia*. São Paulo: Ed. USP, 1981.
- CHASSOT, A.I. *A educação no ensino da química*. Ijuí: Ed. Livraria Unijuí, 1990. p. 103-108.
- DINIZ, M.F.F.M.; OLIVEIRA, R.A.G.; REIS, P.M.C.B. e XAVIER, L.S. *Plantas medicinais como instrumento didático nas escolas públicas*. João Pessoa: UFPB (relatório final de trabalho de iniciação científica realizado dentro do Programa “Plantas medicinais na extensão universitária”), 1995.
- FARMACOPÉIA BRASILEIRA. São Paulo: Ed. I.G. Siqueira, 1959. v. 1, p. 474-476.
- PEDRETTI, M. *Chimica e farmacologia delle piante medicinali*. Milão: Ed. Studio Edizioni, 1983.
- SILVA, P.B. da. *Processos extrativos de plantas medicinais utilizados na fabricação de medicamentos fitoterápicos: uma abordagem interdisciplinar*. Recife: UFRPE (Monografia final para conclusão do curso de licenciatura plena em química), 1996.
- THIOLLENT, M. *Metodologia da pesquisa-ação*. São Paulo: Ed. Cortez, 1994.
- XAVIER, H.S. e SOUZA, L.M.P. *Estudo fitoquímico de plantas comumente usadas na terapêutica tradicional do nordeste brasileiro*. Recife: UFPE (trabalho de iniciação científica), 1994.

Para saber mais

- SERRANO, A.I.O. *O que é medicina popular*. São Paulo: Ed. Brasiliense (Coleção Primeiros Passos), 1985.
- MATOS, F.J.A. *Farmácias vivas*. 2ª ed. Fortaleza: Ed. UFC, 1994.
- SOUZA, M.P.; MATOS, M.E.O.; MATOS, F.J.A.; MACHADO, M.I.L. e CRAVEIRO, A.A. *Constituintes químicos ativos de plantas medicinais brasileiras*. Fortaleza: Ed. UFC, 1991.



100 anos de Nobel –

Jacobus Henricus van't Hoff

Jacobus Henricus van't Hoff foi o primeiro cientista a receber o Prêmio Nobel de Química, há cem anos, “em reconhecimento aos extraordinários serviços prestados pela descoberta das leis de dinâmica química e pressão osmótica em soluções”¹. Foi uma merecida homenagem a um dos químicos mais influentes de seu tempo.

Van't Hoff nasceu em Roterdã, em 30 de agosto de 1852. Dos sete filhos do casal Jacobus Henricus van't Hoff, médico, e Alida Jacoba Kolff, ele era o terceiro. Desde os 15 anos, quando entrou na escola secundária, já se mostrava interessado em ciências, principalmente em química, realizando, às escondidas, experimentos com os colegas na escola ou em casa, preferencialmente aqueles que envolviam substâncias venenosas ou explosivas. Aos 17 anos, entra na Escola Politécnica de Delf, concluindo em dois anos o curso de tecnologia de três anos. Vai então para a Universidade de Leyden (Holanda), onde estuda principalmente matemática e física, e, em seguida, para a Universidade de Bonn (Alemanha), onde estuda química orgânica com A.F. Kekulé. Depois, estuda com A. Wurtz, também professor de química orgânica, em Paris (França). Em 1874, obtém seu título de doutor na Universidade de Utrech (Holanda), sob a orientação de E. Mulder, em um tema convencional de química orgânica. Van't Hoff ficou algum tempo desempregado, mas, em 1876, tornou-se professor assistente na Escola de Veterinária de Utrech. Em 1878, ano em que se casou, é indicado como Professor Titular de Química, Mineralogia e Geologia da recém criada Universidade de Amsterdã, onde permaneceu 18 anos. Em 1896, já ocupando uma vaga na prestigiosa Academia de Ciências da Prússia, vai para a Universidade de Berlim, aí permanecendo até 1911, quando veio a falecer vitimado pela

Aécio Pereira Chagas

Instituto de Química da Unicamp,
Campinas - SP

Esta seção contempla a história da Química como parte da história da ciência, buscando ressaltar como o conhecimento científico é construído.

Este artigo foi escrito no ano em que se comemoraram cem anos dos primeiros prêmios Nobel, nas áreas de física, fisiologia ou medicina, literatura, paz e química (em 1969 foi introduzido o de economia). Esses prêmios foram instituídos em testamento por Alfred Nobel (1833-1896), rico industrial, inventor da dinamite. O primeiro a receber a láurea em química foi Jacobus Henricus van't Hoff, cientista holandês nascido em 1852 que, entre outras coisas, desenvolveu a idéia do átomo de carbono tetraédrico, a termodinâmica química, a teoria das soluções, a cinética química e os fundamentos da petrologia. Van't Hoff foi um dos mais importantes cientistas de seu tempo, falecido em 1911.

Prêmio Nobel, Van't Hoff

Este artigo foi publicado originalmente na revista *Química Nova na Escola* n. 14, 2001.

tuberculose, deixando quatro filhos. Em sua juventude, foi leitor entusiasta das filosofias de Comte e de Taine e da poesia de Byron.

A carreira científica de van't Hoff pode ser dividida em três períodos: o primeiro período é dedicado à química orgânica; o segundo a desenvolver a termodinâmica química e a teoria das soluções; e o terceiro a desenvolver a petrologia (estudo das rochas), por meio da aplicação da físico-química. Cada um desses períodos coincide aproximadamente com as instituições às quais esteve ligado (Utrecht, Amsterdã e Berlim).

Ainda antes de defender sua tese de doutorado, van't Hoff publica uma monografia (*Proposta para o desenvolvimento de fórmulas estruturais químicas a três dimensões*), em holandês, na qual postula a forma tetraédrica do átomo de carbono, sua simetria e explica, por meio desses conceitos, uma série de fatos sobre a atividade ótica dos compostos orgânicos. Logo depois, publica uma versão em francês desse texto (van't Hoff, 1874) Essa publicação, inicialmente, não teve maiores repercussões. Somente após



Alfred Nobel (1833-1896)

Os prêmios Nobel

Os prêmios Nobel foram instituídos para laurear, anualmente, pessoas que se destacam nos seguintes campos: economia, física, literatura, medicina ou fisiologia, paz e química. Consiste em uma importância variável, atualmente em torno de um milhão de dólares, além de diploma e medalha artisticamente elaborados. São entregues em cerimônia solene pelo rei da Suécia, no dia 10 de dezembro, data do falecimento de Alfred Nobel. Os laureados, que podem ser de qualquer país, são escolhidos pela Academia Real de

Ciências da Suécia (prêmios de física, literatura, medicina ou fisiologia e química), por uma comissão indicada pelo parlamento norueguês (prêmio da paz) e pelo Banco da Suécia (prêmio de economia). Organizações de reconhecido prestígio, ou mesmo laureados com o Prêmio Nobel, propõem a essas instituições os nomes que serão escolhidos. Os prêmios foram criados, em testamento, por Alfred Nobel, um rico industrial que, em 1866, inventou a dinamite. Nobel nasceu em 1833 em Estocolmo (Suécia) e faleceu em San Remo (Itália) em 1896.

O Prêmio Nobel foi o primeiro prêmio internacional estabelecido com essa finalidade e, pela sua constância e valor, tem sido considerado um marco, uma referência para, inclusive, balizar o desenvolvimento das atividades premiadas. Os primeiros prêmios foram concedidos em 1901, exceto o de economia, que começou em 1969.

Além de sua presença anual nos noticiários de todo o mundo, muito tem sido falado sobre os prêmios Nobel: laudatórias, questionamentos, dúvidas etc. Isso, de certo modo, é natural, uma vez que os membros das comissões escolhem, por voto, os premiados (e não poderia ser de outra forma). O folclore sobre o tema é muito rico e interessante, valorizando ainda mais a láurea. Uma das discussões levantadas é com relação às injustiças cometidas, se é que se pode falar assim, pois certamente todos os agraciados fizeram jus ao prêmio. O problema são aqueles que deixaram de ganhar: pessoas altamente influentes e notáveis em suas áreas, algumas vezes propostas às respectivas comissões, e que não foram contempladas. Seria isso um erro, uma injustiça? Na química, podem-se citar alguns nomes notáveis e importantes que não foram laureados: Dimitri I. Mendeleiev (classificação periódica), Gilbert N. Lewis (par eletrônico e termodinâmica química) e Christopher K. Ingold (mecanismos de reações orgânicas).



Cultures of Creativity The Centennial Exhibition of the Nobel Prize Nobel Museum

A Fundação Nobel comemora o centenário do Prêmio Nobel com uma Exibição do Centenário, a qual está à mostra na Bolsa de Valores de Estocolmo, até 31/8/2004. Por meio da apresentação de laureados selecionados e marcos da história de 100 anos do Prêmio Nobel, a Exibição do Centenário examina as seguintes questões:

‘O que é criatividade e como se pode melhor encorajar a atividade criativa?’

‘O que é mais importante para o processo criativo: o indivíduo ou o ambiente?’

Uma versão itinerante da exibição estará em Tóquio no primeiro semestre de 2002, em Seul no segundo semestre de 2002, em Houston, Texas, de fevereiro a maio de 2003 e em outros locais ainda a serem definidos, nos Estados Unidos e na Europa, em 2003 e 2004.

Para maiores detalhes, vide o sítio da Fundação Nobel em www.nobel.se/nobel/nobelmuseum/exhibition/index.html

van't Hoff publicar seu livro “*La chimie dans l'espace*”, em 1875, o mundo científico se deu conta da importância da teoria. Na mesma época em que van't Hoff publica sua monografia, J. A. Le Bel (1874) publica as mesmas idéias, de uma forma mais abstrata. Ambos haviam sido colegas no laboratório de Wurtz, mas nunca haviam trocado idéias sobre o assunto.

Em Amsterdã, van't Hoff passa a se interessar por problemas mais gerais, como a afinidade química. Seu livro “*Études de dynamique chimique*”, publicado em 1884, inicialmente também não causou impacto, mas foi depois considerado uma das mais importantes obras de química de todos os tempos. Nele são abordados diversos temas, antes desligados e esparsos, relativos à afinidade e correlacionados com dados experimentais existentes na literatura. Algumas grandezas e conceitos, agora familiares aos químicos, são introduzidas no *Études*: ordem de reação, constante de velocidade, constante de equilíbrio, as duas setas opostas, natureza dinâmica do equilíbrio químico, efeito da temperatura e pressão no equilíbrio, etc. Ainda em Amsterdã, van't Hoff publica seus trabalhos sobre pressão osmótica, construindo seu modelo de solução, em analogia com os gases ideais, e desenvolve a termodinâmica química, em continuidade ao exposto no *Études*. Van't Hoff desconhecia os trabalhos que W. Gibbs havia desenvolvido nos Estados Unidos (1876), haja visto a diferente orientação desses. Nesse período, juntamente com F.W. Ostwald (1853-1932; Prêmio Nobel de Química em 1909) e S.A. Arrhenius (1859-1927; Prêmio Nobel de Química em 1903), também cria uma nova disciplina: a físico-química, com novos conceitos, técnicas e problemas. Esse novo ramo da química se concretizou na revista que ele e Ostwald fundaram em 1887: *Zeitschrift für physikalische Chemie (Revista de físico-química)*. Os três e seus estudantes empenharam-se em divulgar a importância e a utilidade dessa área e criaram laboratórios e outras revistas, por meio dos quais a nova disciplina cresceu e prosperou.

A importância do trabalho de van't Hoff nesses dois primeiros períodos é bastante conhecida, pois ele se encontra nos textos de química que hoje utilizamos; porém, da terceira fase, fala-se menos. Em Berlim, van't Hoff propõe e dirige um amplo projeto de estudos envolvendo a Academia de Ciências da Prússia, a Universidade de Berlim, o Sindicato das Mineradoras e Indústrias do Potássio (*Kali-Syndikat*) e outras instituições, contando também com a colaboração de W. Meyerhoffer (que veio da Universidade de Viena e foi seu orientado em Amsterdã). Esse projeto visava a estudar a formação dos depósitos salinos de Stassfurt (Saxônia, leste da Alemanha) e envolvia também a organização de um museu e de uma biblioteca, além de tedioso trabalho de pesquisa. O grande número de dados e informações obtidos por esse projeto permitiu explicar a origem marinha desses depósitos (por meio de relações de solubilidade e da regra das fases) e o seu processo de formação, além de ter contribuído para o estabe-

lecimento das bases teóricas e experimentais da petrologia, influenciando de forma marcante as ciências da terra. Permitiu também dar à Alemanha um monopólio científico e industrial do potássio (utilizado principalmente como fertilizante) praticamente até a Segunda Guerra Mundial. Esse trabalho de van't Hoff, de organizar e dirigir um amplo programa de pesquisa científica, está entre os primeiros do gênero e marca também uma nova etapa do desenvolvimento da ciência.

Van't Hoff foi homenageado por um grande número de universidades, academias, sociedades científicas, etc., além de pessoas de destaque. Vale transcrever aqui um trecho de um artigo do Prof. Ricardo Ferreira (1978), de Recife:

Recentemente, Walter Mors e Carlos Alberto Filgueiras trouxeram à minha atenção um episódio da visita de D. Pedro II ao grande químico holandês van't Hoff, em 1876, que parece ter passado despercebido pelos historiadores da química. Este, aos 24 anos, era famoso pelos seus trabalhos de estereoquímica publicados dois anos antes, quando introduzira o conceito de átomo de carbono assimétrico. Van't Hoff tinha construído modelos de cartolina para ilustrar suas idéias sobre estrutura molecular. Ernest Cohen, na sua biografia do químico holandês (*Jacobus Henricus van't Hoff, sein Leben und Wirken*, Leipzig, 1912), conta que D. Pedro perguntou a van't Hoff se não seria possível construir modelos baratos, que poderiam ser vendidos juntos com os livros de química, ou em lojas de brinquedos, para facilitar o ensino da estrutura das moléculas aos jovens estudantes. D. Pedro seria assim um precursor no uso de modelos moleculares no ensino das ciências.

Conta-se também que D. Pedro deixou ao químico uma boa soma em dinheiro para seu laboratório.

Sobre van't Hoff, um de seus biógrafos disse: "Sem nenhum grande alcance como matemático ou experimentador, sem nenhum notável talento como professor, van't Hoff todavia influenciou e moldou o atual pensamento, e mesmo muito da prática, da química por décadas". Que característica notável tinha então o ilustre químico holandês para ser assim tão influente e importante, se não era um bom matemático, experimentador ou professor? Imaginação.

Agradecimentos

Agradeço ao Prof. Sebastião F. Fonseca (IQ-Unicamp), pela lembrança do centenário, e ao Prof. Romeu C. Rocha-Filho (DQ-UFSCar), pelas valiosas críticas e sugestões.

Nota

¹www.nobel.se (sítio da Fundação Nobel, Estocolmo, Suécia).

Referências bibliográficas

FERREIRA, R. As origens da atividade científica no Brasil. *Ciência e Cultura*, v. 30, n. 11, p. 1301-1307, 1978.

LE BEL, J.A. Sur les relations que existent entre les formules atomiques des corps organiques, et le pouvoir rotatoire de leurs dissolutions. *Bulletin de la Société Chimique de France*, v. 22, p. 337, 1874.

VAN'T HOFF, J.H. Sur les formules de structure dans l'espace. *Archives Néerlandaises des Sciences Exactes et Naturelles*, v. 9, p. 445, 1874.

WALKER, J. Memorial lecture. *J. Chem. Soc.*, v. 103, p. 1127-1143, 1913.

Para saber mais

BENFEY, O.T. (Ed.). *Classics in the theory of chemical combination*. Nova Iorque: Dover Publications, 1963.

BROCK, W.H. *The Norton history of chemistry*. Nova Iorque: W.W. Norton, 1993.

LIDLER, K.J. *The world of physical chemistry*. Oxford: Oxford University Press, 1993.

MILLAR, D.; MILLAR, I.; MILLAR, J. e MILLAR, M. *The Cambridge dictionary of scientists*. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.

MULTHAUF, R.P. *El Legado de Neptuno*. Trad. M. Caso. México: Fondo de Cultura Económica, 1985.

PARTINGTON, J.R. *A short history of chemistry*. Nova Iorque: Dover, 1989.

SERVOS, J.W. *Physical chemistry from Ostwald to Pauling*. Princeton: Princeton University Press, 1990.



Pasteur

Ciência para ajudar a vida



Louis Pasteur nasceu em Dole, na região do Jura, França, em 27 de dezembro de 1822. Em 1827, seu pai — antigo soldado do exército de Napoleão — instalou um curtume em Arbois, às margens do Cuisance, pequeno rio nos arredores da cidade. É no Colégio de Arbois que Louis cursa o primário e o secundário e onde manifesta seu primeiro interesse científico construindo um relógio solar, em 1839. Nesse mesmo ano parte de Arbois para estudar no Colégio Real de Besançon, obtendo aí o bacharelado em Letras em 1840. Continua seus estudos em Paris, ingressando no Liceu Saint Louis e freqüentando regularmente os cursos livres da Sorbonne. Em 1842, prepara-se intensamente para exames de seleção da École Normale Supérieure de Paris, então conjunta com a École Polytechnique, a mais renomada instituição de ensino da França. No mesmo ano, obtém o bacharelado em ciências matemáticas em Dijon, e no ano seguinte ingressa na École.

Foi ainda nos cursos da Sorbonne que conheceu Jean Baptiste Dumas, um dos cientistas mais influentes da época e notável professor. As cartas de Pasteur nesse período demonstram o seu entusiasmo pelas aulas de química, e são um grande exemplo de como um professor ou uma professora pode influenciar decisivamente o futuro de seus alunos — e, no caso de Pasteur, da humanidade. Assim, nada mais natural que, após obter em 1845 o diploma de licenciatura em ciências — que até hoje, nos países europeus de língua latina, tem um significado bastante diverso dos nossos diplomas de licenciatura —, continuasse na École a partir de 1846 para obter o título de doutor em ciência. Mas como no século XIX não existia a figura do bolsista de pós-graduação, aliás nem mesmo cursos de pós-graduação, foi contratado como *agrégé préparateur*, o responsável por preparar e, eventualmente, ministrar as aulas de laboratório de química.

João Augusto de Mello Gouveia-Matos

Instituto de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro - RJ

○ presente artigo narra a trajetória do químico Louis Pasteur, um nome fundamental para o desenvolvimento da química e de muitas outras disciplinas.

Pasteur, história, germes, microrganismos, imunologia

Este artigo foi publicado originariamente na revista *Química Nova na Escola* n. 6, 1997.

Sua tese de doutorado, defendida em 1847, constava de duas partes: uma em química, sobre a capacidade de saturação do ácido arsenioso, e outra em física, intitulada “Estudo dos fenômenos relativos à polarização rotatória dos líquidos” — sendo esta última, na verdade, segundo o próprio Pasteur, um programa de pesquisa para estudar, a partir de uma sugestão de Biot, a causa do estranho fenômeno dos ácidos tartárico e paratartárico. Os cristais de ambos eram encontrados nos depósitos que se formavam nos tonéis de fermentação do suco de uva e tinham a mesma composição química, mas soluções aquosas do primeiro desviavam o plano da luz polarizada, enquanto as do segundo não. O desenrolar e desfecho do episódio resultou em 1848 na comunicação histórica à Academia de Ciências de Paris sobre o desdobramento do paratartarato duplo de sódio e amônio em seus dois enantiômeros, e são conhecidos de qualquer aluno de segundo grau de nossos dias ao estudar o que ainda é, indevidamente, denominado isomeria óptica, e não enantiomeria. Será para explicar, entre outras coisas, a dissimetria molecular sugerida por Pasteur, que van't Hoff e Le Bel irão propor em 1874 a estrutura tetraédrica do carbono, o que permitirá classificar esse caso de isomeria, assim como os demais, a partir das características da estrutura da molécula, e não de seu comportamento frente a um agente externo, como sugere o nome ‘isomeria óptica’.

Até essa época, porém, a biografia e a produção científica de Pasteur, pequena mas brilhante, não se diferenciava de outros tantos bons químicos do período. Mas então o que tornou a obra de Pasteur tão excepcional que o transformou na décima-primeira — e a primeira com formação em química — das cem pessoas que, segundo Michael Hart, mais influenciaram a humanidade? (Chassot, *Química Nova na Escola*, n. 5, maio de 1997.)

Em meados do século XIX havia duas teorias concorrentes para explicar as doenças. A primeira, proposta desde 1626 pelo médico e filósofo químico J.B. van Helmont (1579-1644), era de que elas eram causadas pela invasão do organismo por seres estranhos ao mesmo (os *arqueus*), os quais utilizavam as forças vitais em seu próprio benefício e produziam resíduos que envenenavam a vítima. A teoria rival, por sua vez, estabelecia que as doenças eram originadas por um mau funcionamento do organismo, o qual intoxicava a si próprio. Nos casos em que condições externas interviam, as causas eram maus fluidos (*mal'aire*), e não organismos hostis.

A implantação das teorias que levaram às atuais concepções sobre as doenças exigiam portanto a superação de três obstáculos para entendê-las e preveni-las: que elas resultavam do ataque de microrganismos; que esses não podiam ser gerados espontaneamente; e que o processo de vacinação — introduzido por Jenner ainda no século XVIII, no caso da varíola — fosse entendido e generalizado. Em todas essas etapas, ao fundar a microbiologia e posteriormente a imunologia, Pasteur exerceu um papel preponderante.

Nos oito anos seguintes à tese de doutorado, Pasteur ocupou-se de pesquisas relacionadas à dissimetria do ácido tartárico, e isso o levou a ampla utilização do microscópio, instrumento fundamental da cristalografia da época, e a debruçar-se sobre o processo responsável pela produção dessas e outras substâncias assimétricas, como o álcool amílico, por exemplo. Além disso, como as teorias químicas de então eram totalmente incipientes (ainda não estavam estabelecidos conceitos como os de molécula, peso molecular, ligações químicas etc.), suas conclusões tinham de se fundamentar em forte rigor lógico-experimental, o que transformou Pasteur num dos maiores experimentalistas de todos os tempos.

Estudar a fermentação foi um desdobramento natural das investigações de Pasteur, como todas as demais atividades científicas que se seguiram. Esses estudos foram iniciados em 1855, quando ele era catedrático de química e deão da recém criada Faculdade de Ciências da Universidade de Lille. O resultado das pesquisas foi a formulação da teoria dos germes como explicação para os

processos de fermentação. Por essa teoria, a fermentação só ocorreria se houvesse a presença de germes (no sentido de sementes) no meio, e Pasteur diz textualmente: “pela palavra germe, eu não estou falando de uma causa vaga e indeterminada em sua natureza, mas de um objeto visível e tangível que já tem todos os caracteres de uma organização completa e se multiplica em profusão, desde que as condições sejam favoráveis”. (*Étude sur le vin*, 1868.) Em suma, um ser vivo. Essa teoria, porém, chocava-se frontalmente com a da geração espontânea, e veio a ser lançada no interior de um debate científico que se arrastava desde o século XVIII.

A teoria da geração espontânea não era uma visão ingênua de nossos antepassados, mas fundamentada em experimentos e técnicas de pesquisa tão rigorosos quanto permitiam as condições e conhecimentos da época em que se iniciaram os debates. Em 1858, quando Pasteur passou a dedicar-se ao assunto, a teoria era formulada por Pouchet, naturalista de Rouen e membro correspondente da Academia de Ciências, em termos da existência de uma força vital, um *primus movem* no ar, responsável pelo surgimento de novas formas de vida no meio fermentativo. O problema com esse postulado era que, não sendo possível provar a existência da força, também era impossível provar a sua não-existência. O próprio Pasteur reconheceu esse argumento em aula proferida na Sociedade Química de Paris em 1861, observando que seu objetivo ao abordar o assunto era mostrar que todos os experimentos que sustentavam a teoria apresentavam conclusões falsas, e não negar a existência da força. Simultaneamente, efetuou uma série de experiências que demonstraram que, existindo ou não uma força, os responsáveis pelas fermentações eram os microrganismos agregados à poeira do ar. O debate que se seguiu com Pouchet levou a Academia de Ciências a constituir uma comissão para estudar o assunto, a qual deu ganho de causa a Pasteur. Foi um dos golpes mortais na teoria da geração espontânea.

**Pasteur, em contraposição
as teorias então existentes
de geração espontânea,
propôs e demonstrou que
os processos de fermentação
eram originados pela
presença de germes**

Os produtos agrícolas tinham em 1863 um peso preponderante na economia francesa, e Pasteur foi convidado — e financiado — pelo imperador Napoleão III a estudar as doenças do vinho. Os resultados encontrados, além de lhe permitirem propor uma série de procedimentos para que diversos microrganismos indesejáveis não ‘florescessem’ no meio, possibilitaram também introduzir uma técnica para conservação do vinho — utilizada hoje em dia em todos os alimentos industrializados e que veio a substantivar seu nome, criando um termo universal na biotecnologia e na vida diária: a pasteurização. Ele descobriu que o aquecimento do vinho por poucos minutos entre 50 e 55 °C, na ausência do ar, permitia sua conservação, e embora há muito se soubesse que o calor inibia a decomposição microbiológica, o desafio foi encontrar condições que não comprometessem o sabor do vinho e a reputação da indústria vinícola francesa.

A associação com o setor agropecuário foi o que veio a estabelecer na obra de Pasteur a relação direta entre doença e microrganismos: em 1865, foi convidado pelo Ministério da Agricultura a resolver os problemas das doenças das criações de bicho-da-seda em Alés, denominadas pebrina e flacheria, ambas transmitidas por contágio entre as larvas. O exame microscópico revelou a presença de microrganismos parasitas, e Pasteur determinou medidas profiláticas contra ambas as doenças. Os resultados finais das pesquisas foram publicados em 1870. Todavia, a maior importância desses trabalhos foi apontar o caminho de suas próximas investigações: as doenças de animais superiores.

Nesse sentido, efetuou então estudos sobre septicemia, gangrena, alteração da urina, febre puerperal e outras. Mas será estudando o antrax, doença fatal de gado, e o cólera em aves — no

caso, de galinhas — que Pasteur irá criar a imunologia, permitindo assim, por meio da vacinação, que a humanidade pudesse erradicar determinados tipos de doenças, como aconteceu com a varíola, por exemplo.

A primeira comunicação sobre suas pesquisas com o cólera em galinhas foi publicada em 1878, e consistia na apresentação do programa de pesquisa e nos resultados iniciais de isolamento do microrganismo identificado por outros pesquisadores como associado à doença, devido à sua ocorrência no sangue de pássaros infectados. Seu objetivo era verificar se caldo de galinha era um meio de cultura apropriado para crescimento, avaliar se não havia perda de virulência entre as gerações sucessivas do microrganismo e provar que este era o agente responsável por meio da injeção dessas culturas em aves saudáveis — uma linha de conduta para resolver o problema semelhante, em linhas gerais, à adotada no caso das doenças do bicho-da-seda. Mas em 1879, quando retornou das férias de verão em Arbois — de julho a setembro, na Europa —, um acaso levou à descoberta da cultura atenuada, princípio básico da vacinação.

Antes de partir de viagem Pasteur havia preparado algumas culturas que resolveu utilizar quando retornou. Todavia, nada aconteceu quando essas foram injetadas em aves saudáveis. Talvez para não desperdiçar galinhas, utilizou-as num lote para testar novas culturas obtidas de aves infectadas. Seu espanto foi que aquelas anteriormente injetadas com a 'cultura velha' permaneceram vivas, enquanto as demais morreram. Seus próximos passos foram estabelecer as condições de atenuação dos microrganismos, tentar explicar o mecanismo dessa atenuação e estender os resultados e procedimentos para o caso do antrax. Em 5 de maio de 1881, na localidade de Pouilly-le-Fort, cercado de toda a publicidade da época, fato aliás de bastante agrado ao longo de toda a carreira de Pasteur, 24 ovelhas, uma cabra e seis vacas foram inoculadas com uma cepa atenuada de antrax, e em 31 de maio, juntamente com outros 29 animais não vacinados, com uma cultura virulenta do mesmo microrganismo. Em 2 de junho, todas as ovelhas desse último lote estavam mortas e as vacas muito doentes e debilitadas, enquanto nada acontecia aos 31 primeiros animais.

Mas restava, ainda, saber se era possível estender aos seres humanos tal procedimento. O problema é que a metodologia utilizada para esses estudos não poderia ser aplicada: inocular pessoas para verificar se um dado microrganismo é o responsável pela doença, ou inoculá-las com uma cepa virulenta para certificar-se de que a atenuada é eficaz envolve uma ética bastante discutível. A solução do problema

Joseph Meister, um garoto de 12 anos de idade, foi mordido por um cão contaminado. No dia 6 de julho de 1881 ele tornou-se o primeiro ser humano a ser diretamente salvo graças a Pasteur e ao novo campo do conhecimento por ele criado, a imunologia

surgiu quando Pasteur estudava a raiva, que ao contrário do antrax e do cólera de aves, também se manifesta na espécie humana. Além disso, era muito propagada por animais domésticos, em especial cães. A grande dificuldade dessa pesquisa foi que, ao contrário dos casos anteriores, ela é provocada por um vírus, e vírus não são visíveis em microscópios ópticos. Assim, toda a manipulação do vírus foi realizada a partir do líquido da medula espinhal de animais raivosos (cães, coelhos) e por inoculações sucessivas em animais saudáveis até obter-se o vírus na atenuação apropriada. Um trabalho longo e exaustivo, mas ao fim do qual, em meados de 1885, Pasteur tinha em mãos uma vacina de comprovada eficiência com animais. Mas e quanto aos seres humanos? A oportunidade veio quando Joseph Meister, um garoto

de 12 anos de idade, foi mordido por um cão contaminado. As opções éticas eram da mesma ordem de grandeza que as possibilidades de sobrevivência, e no dia 6 de julho daquele ano Joseph tornou-se o primeiro ser humano a ser diretamente salvo graças a Pasteur e ao novo campo do conhecimento por ele criado, a imunologia.

O Instituto Pasteur, construído por meio de subscrição popular que arrecadou dois milhões de francos, inaugurado em 1888 e criado com a finalidade de ser um centro de estudos e pesquisas, bem como de fabricação em larga escala de vacinas, foi outra notável contribuição de Pasteur à humanidade. Não tanto pelas pesquisas que aí passaram a ser realizadas, academicamente importantes, mas por ter permitido a criação do conceito de campanha de vacinação preventiva e regular, prática difundida no mundo inteiro desde então. Tal qual aconteceu com a varíola, esperava-se com essa prática permitir a extinção de doenças como a poliomielite, alguns tipos de meningite, sarampo, rubéola etc.

Pasteur morreu em Villeneuve-l'Étang no dia 28 de setembro de 1895.

Para saber mais

Edições menos recentes de livros de microbiologia geral costumam conter uma abordagem histórica introdutória, com a vantagem adicional de podermos continuar a leitura e entendermos ao que Pasteur nos conduziu. Além disso, são facilmente encontráveis em bibliotecas de cursos de medicina e biologia. Três bons exemplos são os que se seguem:

STANIER, R.V.; DOUDOROFF, M. e ADELBER, E. *O mundo dos micróbios*. São Paulo: Edgard Blucher e EDUSP, 1969. Cap. 1

DAVIS, B.D.; DULBECCO, R.; EISEN, H.N., GINSBERG, H.S. e WOOD JR., W.B. *Microbiologia*. São Paulo: Edart-São Paulo Livraria Editora e INL/MEC, 1973.

PELCZAR, M.; REID, R. e CHAN, E.C.S. *Microbiologia*. São Paulo: Mac Graw-Hill, 1985. Diferentemente dos anteriores, em cada capítulo é encontrada uma introdução histórica sobre o assunto tratado.



Outro Marco Zero para uma História da Ciência Latino-Americana

Attico Chassot

Centro de Ciências Humanas da UNISI-
NOS, São Leopoldo - RS

É usual ao nos envolvermos com a história da ciência, e de uma maneira especial com a história da química, nos centrarmos quase exclusivamente no mundo ocidental e o fazermos sob ótica eurocêntrica e alimentada por olhares brancos, masculinos, cristãos... Pouco sabemos de diferentes áreas do Oriente. Mesmo nos dias atuais, o que conhecemos, por exemplo, da educação na China, apenas para ficar no país onde vive cerca de um quinto dos humanos?

Em *A ciência através dos tempos* (Moderna, 1994), quando refiro à revolução galilaica e à copernicana, encimo o capítulo com um título no mínimo tendencioso: *Século 16: nasce a ciência moderna*, em uma leitura que desconhece o que se fez no mundo não europeu. Assim, fui reducionista e simplista. Eu, latino-americano, escrevo apenas um parágrafo, muito pouco elucidativo, ao referir às civilizações que existiram nas Américas antes da chegada dos 'colonizadores'.

Ao buscar escolher um outro marco zero para as leituras de uma história da ciência na América Latina, vale considerar: i) o desenvolvimento em épocas pré-colombianas do que chamamos de arquitetura, engenharia, agronomia, astronomia, hidrologia, matemática, medicina, com a existência de atividades científicas relevantes. Isso enseja possibilidades de outras duas leituras: ii) a influência da relação da ciência e tecnologia no desenvolvimento de altas culturas, e iii) a (re)valorização desses conhecimentos e técnicas, não apenas para fazer um resgate histórico, mas uma tentativa de (re)utilizar conhecimentos (quase) perdidos. Por exemplo, o resgate da cultura dos homens e das mulheres de outras gerações é importante quando da reativação de atividades relacionadas com a agricultura. Assim, se aceitarmos que a ciência possa não ter uma concepção única – como o inculcado pelo ocidente, especialmente por intermédio do positivismo, que desenvolveu a idéia de que

Neste artigo da seção História da Química, como parte mais ampla da história da ciência, procuram-se resgatar omissões na história usual do mundo ocidental. Busca-se remover filtros que impedem leituras menos reducionistas e até mais audaciosas, apresentando um pouco de uma história da ciência de povos andinos, em especial os incas.

*ciência não-ocidental, cultura no incaico,
tecnologias pré-colombianas*

Este artigo foi publicado originalmente na revista *Química Nova na Escola* n. 13, 2001.

a ciência é única –, é válido buscarmos um outro marco zero, diferente daquele definido hegemonicamente pelo mundo europeu.

Limito-me à primeira das leituras antes referidas, mas insisto que essa seja feita mediada pelas duas outras, até porque a terceira dimensão ganha outros significados. Essa dimensão pode ser decisiva para encontrarmos um outro ponto de partida para a nossa história e, assim, não apenas fazermos uma leitura eurocêntrica da ciência.

Ensaio considerações na primeira das três dimensões com objetivo de levantar pistas para necessárias ampliações e conjugações com as duas outras dimensões propostas. Mesmo reconhecendo a importância de culturas que existiram em outras partes da América, onde, por exemplo, datações registraram a presença de civilizações no México 23.800 anos AP (antes do presente), vou buscar restringir meus comentários a povos andinos.

Há inferências de que por volta de 12.000 AP caçadores-coletores tenham povoado a região andina e já praticavam a agricultura em torno de 6.000 AP e, desde 4.000 AP, existiam civilizações avançadas nos Andes. A cordilheira, com sua diversidade de relevos, clima, solo, vegetação, recursos hídricos, flora e fauna, cuja exploração havia começado nos remotos tempos pré-agrícolas, se constituiu no *locus* de desafios e organização de povos, que têm a culminância nos incas.

Mesmo que tenham desconhecido o uso da roda e de animais de tração – e essas duas ausências foram decisivas no confronto com os brancos – e de um sistema formal de escrita (contestável adiante ao referir os *quipus*), os incas constituiriam uma civilização que alcançou um alto desenvolvimento cultural, que pode ser creditado às peculiaridades de sua organização social. O Império Inca se estendia – usando referências atuais – desde o Equador, todo o Peru, porções da Bolívia, até o norte do Chile e noroeste da Argentina.

Tentativas de evidenciar a existência de atividades científicas relevantes

Arquitetura e engenharia

Nada surpreende tanto nas realizações dos incas, ainda nos dias atuais, quanto à arte de criar espaços organizados, buscando soluções urbanas, principalmente através de edificações destinadas a abrigar diferentes tipos de atividades sociais, religiosas e econômicas, originando verdadeiras cidades.

Entre as mais impressionantes realizações arquitetônicas estão amplos templos, palácios, fortalezas, pontes suspensas (com mais de 100 metros de extensão) e praças públicas. Também como obras de engenharia merecem destaques aquelas ligadas à agricultura (canais de irrigação e aquedutos).

Há fortalezas formadas por muralhas de 300 metros de comprimento, construídas com enormes blocos de pedras, trabalhados em ângulos com tal precisão que se encaixam uns aos outros, sem necessidade de qualquer tipo de massa aglutinante ou cimento. Muitos têm mais de 5 metros de altura (há um com 9 metros e 360 toneladas). Há complexos arquitetônicos que podem ser obra de cerca de 25 mil homens, durante 3 ou 4 gerações.

Quando se observam hoje construções que os espanhóis assentaram sobre alicerces ou destroços incas, vê-se uma diferença significativa no acabamento.

Nada surpreende tanto nas realizações dos incas, ainda nos dias atuais, quanto a arte de criar espaços organizados, buscando soluções urbanas, principalmente através de edificações destinadas a abrigar diferentes tipos de atividades sociais, religiosas e econômicas

Agronomia

A agricultura andina é fundamentada em milênios de observação e um extenso processo de

domesticação de plantas, que no século XVI chegou a um desenvolvimento excepcional. A semeadura, a colheita e a armazenagem davam lugar a práticas que introduziam novas aprendizagens e implementavam novas técnicas. Era freqüente que o nicho ecológico, onde se desenvolvia essa agricultura, apresentasse exigências que obrigavam a introdução de modificações no terreno e nos sistemas de aproveitamento de águas. Assim eram criadas novas oportunidades de desenvolvimento de conhecimentos. Também nos surpreende o cultivo de mais de 84 variedades de milho, com grãos de diferentes tamanhos e cores (verde, branco, amarelo e roxo – deste fabricavam a *chicha*, um fermentado semelhante à cerveja, muito consumido nos países andinos). Antes da chegada dos conquistadores, eram cultivadas variedades de algodão de diferentes cores (branco, bege, ocre, vermelho e violeta), que os espanhóis, ao vê-las nos tecidos, julgavam serem tingidas. A *quinua*, cereal de alto valor proteico e vitamínico, riqueza agrícola inca, hoje volta a ser cultivada na Bolívia.

Entre os diferentes tipos de processos agrícolas, os cultivares em terraços ou *andenes* são dos feitos mais notáveis da agricultura andina, que tinha como base o constante equilíbrio com a *Pachamama*¹ (a Mãe Natureza). Com a sua aplicação conseguiram transformar terrenos impróprios, por seus desníveis e escarpas, em extensões planas. Esse processo garantia também a eliminação da erosão, a facilitação da irrigação e o aproveitamento em momentos precisos dos excedentes de água por percolação. As águas das geleiras eternas dos Andes eram conduzidas em extensos e sofisticados aquedutos e transformavam regiões estéreis em vales férteis.

As ferramentas agrícolas incas eram muito simples, pois a não existência da roda e de animais de tração impossibilitava maior sofisticação tecnológica. Por outro lado, os processos de armazenagem em silos, com sistemas de aeração e de conservação de alimentos, implicavam técnicas bem elaboradas, que incluíam desidratação, maceração e congelamento.

Com o estabelecimento da colonização, rebanhos de milhões de lhamas, de alpacas, de vicunhas e de guanacos (camelídeos andinos) foram dizimados com o pretexto de a vicunha ser um símbolo de veneração pagã. Os incas não conheciam o gado bovino (os camelídeos se constituíam na fonte de carne e leite), nem o equino (a ausência de cavalos foi decisiva na perda de embates com os espanhóis, que os possuíam, apesar de esses animais terem problemas com altitudes).

Medicina: a saúde e as doenças

Entre os incas, a saúde era o resultado da harmonia entre o homem e Deus. A saúde se conseguia mediante esforços, sacrifícios e a purificação dos pecados, obtida pela confissão vocal dos mesmos. A doença era considerada como um transtorno que afetava a unidade corpo-espírito ou o equilíbrio com a natureza ou o grupo social.

Entre os incas, a saúde era o resultado da harmonia entre o homem e Deus. A saúde se conseguia mediante esforços, sacrifícios e a purificação dos pecados, obtida pela confissão vocal dos mesmos

O saber médico incaico preocupava-se, fundamentalmente, com as causas sobrenaturais das enfermidades; mas as causas naturais, ou melhor, os fatores que eram mais facilmente reconhecíveis (traumatismos, influência do frio ou do calor, ação das fases da lua, certas condições pessoais como consumo excessivo de bebidas alcoólicas, mau comportamento, ira retida) ofereciam elementos para mostrar como se geravam culpas e, em conseqüência, o desequilíbrio. Havia, assim, um grupo de doenças sobrenaturais ou da alma, que se associavam às doenças do corpo.

A principal ação do curandeiro era dar ao paciente o conhecimento de sua doença, procurar mostrar-lhe as possíveis causas e com isso afastar o medo que a ignorância da causa da doença produzia. Os curandeiros eram em geral anciãos doutos e distinguidos pelo respeito da comunidade; eram também os *amautas* ou os filósofos naquele meio social.



Machu Picchu, localizada próximo a Cuzco, é um exemplo contundente da arquitetura e engenharia incaica. Conhecida como 'cidade perdida', por ter ficado desaparecida durante três séculos, foi descoberta por Hiram Bingham, em julho de 1911, e imediatamente explorada por uma expedição arqueológica da Universidade de Yale (EUA).

Muitas delas estão certificadas. Os motivos pelos quais realizavam essas audaciosas cirurgias são objeto de discussões, mas parece que a maioria tinha finalidade curativa, sem que se descarte a possibilidade de práticas rituais e, talvez muitas delas realizadas *post-mortem*, para aproveitamento do cérebro de algum morto ilustre. Uma hipótese não descartada era o uso de trepanação para a cura da epilepsia². Os instrumentos cirúrgicos para serrar ossos na cabeça eram de uma liga de ouro, prata e cobre, que tinha a dureza do aço. Da mesma liga eram as agulhas para costuras cirúrgicas. Havia instrumentos de corte de obsidiana e de sílex.

Matemática

Os incas conheciam geometria plana para medir os terrenos. Para aqueles irregulares – e precisavam fazer isso muitas vezes, pois os terrenos eram constantemente repartidos – necessitavam medir ângulos e o faziam através da medição por graus. Criaram um conhecimento matemático para resolver problemas práticos, como o registro de censos populacionais, agrícolas e pastoris. Para tanto desenvolveram processos engenhosos, que ainda oferecem desafios de interpretação: os *quipus*.

Os *quipus* eram, certamente, sistemas de registros numéricos. Assim, descarta-se a hipótese de que fossem apenas úteis engenhos para se executarem cálculos, mesmo que se conheçam descrições onde eram construídos de uma maneira semelhante ao ábaco oriental. Os *quipus*, mesmo que sejam instrumentos para calcular – e até para isso talvez não fossem práticos, pois os nós eram fixos –, eram instrumentos de registros de informações.

De um único *quipu* se tiravam informações sobre o número de machos e de fêmeas formadores de rebanhos e, ainda, quantos animais haviam nascido e morrido em cada um dos meses de um determinado ano. Um outro uso dos *quipus* era nos serviços de correios, nos quais chasques levavam mensagens, por longas distâncias, geralmente relacionadas com decisões governamentais.

Em Cusco, antes da conquista espanhola, havia colégio destinado à aristocracia cusquenha e aos nobres das províncias, onde os jovens, durante quatro anos, estudavam a língua quíchua, o uso dos

As cirurgias curativas eram em número muito significativo e muito diversificadas. Entre essas merecem destaque as cesarianas e as trepanações cranianas. As primeiras eram empregadas para prevenir partos naturais nos quais se diagnosticara mau posicionamento fetal e, principalmente, para auxílio às índias grávidas com parto difícil. Há notícias de cesáreas punitivas e antropofágicas em algumas regiões, até porque fetos eram usados em algumas práticas sacrificais.

Quanto às trepanações cranianas, por serem práticas surpreendentes pelas exigências de conhecimentos (a medicina ocidental só as praticou muito tardiamente), há ainda muitas discussões. Sabe-se que eram largamente praticadas e

quipus e os fundamentos de seus cálculos e de seus cálculos, além da história e da mitologia incaica.

Astronomia e astrologia

Como as práticas matemáticas, a astronomia representava um dos estágios mais avançados da atividade intelectual. A observação de algumas informações nos ajudarão a nos despiremos um pouco de preconceitos em sempre associar os calendários indígenas à astrologia ou ao misticismo. Se comparamos calendários (o usado na Europa quando da conquista e mesmo o atual), podemos verificar o quanto os pré-colombianos tinham calendários precisos.

Muito provavelmente nos estudos dos fenômenos naturais, principalmente nos astronômicos, os incas alcançaram um grau tão elevado quanto os caldeus, um dos povos antigos mais adiantados. Não devemos nos surpreender que os incas, como os demais ameríndios, fossem geocêntricos. Aliás toda civilização ocidental, quando da descoberta da América era geocêntrica.

Metalurgia, ourivesaria e artesanaria

O uso de alguns metais na fabricação de jóias e de objetos de culto e a combinação de diferentes metais para a produção de ligas exigiam conhecimentos de metalurgia, que são atestados pela produção de obras encontradas em pesquisas arqueológicas. Também possuíam um elevado conhecimento de técnicas de mineração, pois tinham um complexo sistema de aproveitamento da prata das minas de Potossi.

Hoje se encontram em museus obras que nos obrigam a fazer releituras. Isso se verifica quando nos encantamos particularmente com peças de ourivesaria – recordando que as jóias de ouro e prata foram, em sua maior parte, fundidas pelos conquistadores para aumentar os tesouros de cortes europeias. Também as peças em cerâmica, destinadas ao uso doméstico, industrial e comunitário e as usadas como instrumentos didáticos para transmitir preceitos de saúde e de higiene são admiráveis, especialmente se nos damos conta que, por não disporem da roda, não tinham torno para a moldagem. As obras em tapeçaria tinham finalidades decorativas nos palácios e nos templos e se constituíam também em suportes para relatos históricos. São obras que, presentes as limitações dos instrumentais citados, trazem ainda maiores admirações. Nessa mesma direção pode-se referir à vasta produção de tecidos destinados ao vestuário, pois o clima frio exigia roupa adequada.

Epílogo

A limitação na extensão do texto faz restrições. É recomendável que se busque, com a ampliação da dimensão aqui acenada, mediada pelas duas outras citadas, leituras diferentes das usuais. Isso pode ser um facilitador para entendermos ainda mais a história da ciência.

Notas

¹O apreço que os nativos tinham e têm pela *Pachamama* – a Gaia da mitologia grega – evidencia o quanto já havia entre os ameríndios uma preocupação com a natureza, tendência que aparece no mundo ocidental só recentemente, traduzida pelos movimentos ecológicos.

²Isso não deve nos surpreender, pois, em 1949, o Prêmio Nobel de Medicina foi concedido ao médico português Abreu Freire Egas Moniz, pelo desenvolvimento da lobotomia (incisão no cérebro) para o tratamento da esquizofrenia e da paranóia, hoje considerado um método bárbaro.

Para saber mais

ASCHER, M. & ASCHER, R. *Code of the quipu*. Ann Arbor: The University of Michigan Press, 1981.

CHASSOT, A. *Alfabetização científica: questões e desafios para a educação*. Ijuí: Editora Unijuí, 2000.

ESTRELLA, E. *Las culturas precolombinas* (Coleção Historia de la Ciencia y de la Técnica). Madrid: Alkal, 1992. v. 10.

LEMOINE, M. Bolívia: guerra aos camponeses da coca. *Atenção*, ano 1, n. 2, p. 44-48, dez 1995/jan 1996.

Raios X e Radiatividade



Attico Chassot

Centro de Ciências Humanas da UNISINOS, São Leopoldo - RS

Em “Alquimiando a química” (QNE, nº 1, 1995), referimo-nos que poderíamos considerar entre as primeiras conquistas da física a descoberta de um ancestral nosso (talvez ainda mais próximo do macaco do que o homem) ao verificar que com uma vara poderia alcançar um fruto mais alto em uma árvore. Vimos que, muito provavelmente, as primeiras descobertas da química relacionam-se à conservação de alimentos; à extração, produção e tratamento de metais; à produção de pomadas, óleos aromáticos e venenos; a técnicas de mumificação; à produção de esmalte e corantes. O fantástico domínio do fogo, entre muitas alternativas, ofereceu oportunidades para o fabrico de utensílios de cerâmica, vidro, porcelana e metal e para a produção de materiais de construção, como argamassa, tijolos, ladrilhos.

Vamos nos deter, aqui, em tempos menos remotos, um tempo de magníficas descobertas de que não somos apenas espectadores. Com nossos alunos, somos participantes das transformações que modificam nosso mundo. É recomendável que nós — professoras e professores de química — colaborem para que essas modificações visem a uma melhoria de vida.

Uma sugestão importante é que mostremos a nossos alunos o quanto é importante seu papel nos avanços da ciência nos dias atuais. É recomendável olhar com eles as modificações que a ciência faz a cada dia em nosso mundo. Se há dois anos vocês vissem alguém falando em um telefone celular, provavelmente o olhariam com desconfiança, e se há cinco anos alguém lhes contasse que uma mensagem, com desenhos e fotografias, poderia ser mandada quase instantaneamente por fax para o Japão, talvez dissessem se tratar de ficção científica. Ou se alguém, há dez anos, lhes mostrasse um CD e dissesse que o mesmo continha mais músicas e com melhor quali-

Este artigo comenta duas descobertas muito próximas: os raios X e a radioatividade, mistérios que fizeram revelações no ocaso do século passado.

*raios X, radioatividade, Becquerel, Röntgen,
ciência no final do século XIX*

Este artigo foi publicado originalmente na revista *Química Nova na Escola* n. 2, 1995.



Wilhelm Konrad Röntgen (1845-1923)

ram os tempos que antecederam a última virada de século? Que descobertas ocorreram então? Vocês sabem, por exemplo, que há cem anos não havia aviões, e que mesmo os automóveis eram vistos com espanto, pois era inconcebível uma carruagem que andasse com a inacreditável velocidade de 20 km por hora e ainda por cima sem nenhum cavá-lo a puxá-la? Há um século, praticamente não havia telefones e a principal forma de comunicação era o correio, tanto dentro das cidades como entre lugares distantes. Por exemplo: Paris tinha um sistema bastante rápido de correio pneumático: uma rede de tubos em que as cartas eram impulsionadas por ar comprimido. Então, as ruas eram iluminadas a gás, pois a eletricidade mal começava a ser usada.

As descobertas dos raios X e da radioatividade foram acontecimentos que marcaram o ocaso do século passado. Neste texto vamos oferecer alguns subsídios sobre essas duas grandes descobertas — ocorridas há cem anos, mas ainda significativas para nós —, para que vocês possam recordar esses dois centenários em suas aulas.

Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923) espantou o mundo ao anunciar, no final de 1895, a descoberta de “um novo tipo de raio” e demonstrar que com esses raios se podia ‘ver’ dentro do corpo humano. Henri Becquerel acreditou inicialmente serem os raios descobertos por Röntgen os que percebia nos sais de Urânio que estudava, mas em 9 de março de 1896 anunciava a descoberta de novas radiações.

Röntgen, na noite de 8 de novembro de 1895, trabalhava com uma válvula com a qual estudava a condutividade de gases¹. A sala estava totalmente às escuras. A certa distância da válvula havia uma folha de papel, usada como tela, tratada com platinocianeto de bário. Röntgen viu, com espanto, a tela brilhar, emitindo luz. A válvula estava coberta por uma cartolina negra, e nenhuma luz

dade de reprodução que um enorme disco de vinil, isso seria quase incrível, como ainda nos parece impossível que apenas um CD possa conter mais informações (e com muito mais recursos visuais e sonoros) que uma enciclopédia de dezenas de volumes.

Talvez seja importante mostrar que quando seus alunos nasceram o fato de serem meninas ou meninos já não era surpresa para aqueles que os esperavam, mas quando os pais deles nasceram os avós ficaram sabendo o sexo do filho ou da filha no dia do nascimento... Quando e como tudo isso aconteceu? Uma sugestão importante é que nossos alunos perguntem aos pais ou avós como era o mundo em que eles viviam quando tinham a idade deles — por exemplo, como eram feitos os diagnósticos médicos quando ainda não eram usados os raios X. Com isso, poderão entender um pouco como acontecem essas modificações, tão constantes a menos de 50 meses do ano 2000. Sugira a seus alunos que procurem imaginar como será o mundo do futuro.

Esta véspera de um novo século e de um novo milênio nos enseja perguntas: Como foram os tempos que antecederam a última virada de século? Que descobertas ocorreram então?

ou raio catódico poderia ter vindo dela. Surpreso, fez várias investigações. Virou a tela, expondo o lado sem o revestimento de platinocianeto de bário, e essa continuava a brilhar. Colocando diversos objetos entre a válvula e a tela, viu que todos pareciam transparentes. Não demorou a ter a surpresa maior: viu na tela os ossos de sua mão.

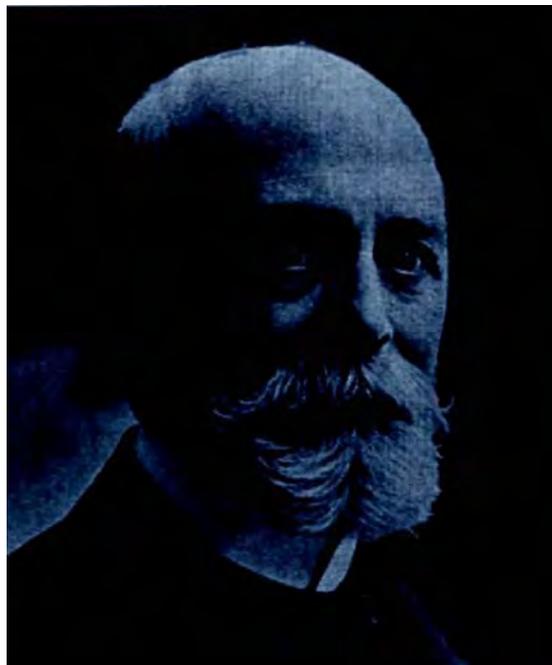
Intrigado com sua descoberta, Röntgen trabalhava sozinho, fazendo novas investigações. Sua mulher notou suas inquietações e ele lhe disse apenas que trabalhava em algo importante, mas confessava-se incrédulo e precisava convencer-se de sua descoberta. Registrou em chapas fotográficas suas observações, e só então teve certeza do que estava descobrindo. Anunciou que, com sua descoberta, se poderia pela primeira vez ver *dentro* do corpo humano sem precisar abri-lo. É fácil imaginar a surpresa de muitos, pois ainda havia quem desaconselhasse certas cirurgias porque o bisturi poderia cortar a alma.

Em 28 de dezembro de 1895, Röntgen entregou à Sociedade Físico-Médica de Würzburg, Alemanha, um relatório preliminar de sua descoberta, descrevendo as pesquisas 'secretas' que fizera nas sete semanas anteriores: os objetos tornavam-se transparentes diante dos *novos raios*, que por serem desconhecidos chamou de raios X. As chapas fotográficas eram sensíveis aos raios X; não se podia ver qualquer reflexo ou refração dignos de nota ao se desviá-los com um campo magnético. Os raios X se originavam na área da ampola de descarga onde os raios catódicos colidem com a parede de vidro.

Em janeiro de 1896, era enorme a comoção em todo o mundo com a notícia da descoberta dos raios X. É fácil imaginar o deslumbramento com a novidade, pois esses raios tornavam quase tudo transparente, e com eles se podiam ver os próprios ossos. Podiam-se ver os dedos sem os músculos, mas com anéis, ou uma bala que estivesse alojada no corpo. A medicina debruçou-se de imediato sobre as possibilidades da descoberta. Podemos avaliar as repercussões disso num momento em que se começava a buscar explicações sobre a natureza da matéria.

Em 23 de janeiro, Röntgen fez seu único pronunciamento público sobre a descoberta e foi aplaudidíssimo. Físicos e estudiosos ligados à medicina começaram a investigar os novos raios. No ano de 1896 já havia mais de mil trabalhos publicados sobre o assunto, mas por pelo menos 16 anos não houve dados convincentes para se explicar a natureza dos raios X. Por fim, os trabalhos de Max von Laue e de Friedrich e Knipping esclareceram que os raios misteriosos eram resultado da colisão de raios catódicos (elétrons) contra os elétrons do cátodo.

Atualmente, são considerados raios X as radiações eletromagnéticas com comprimento de onda



Antoine Henri Becquerel

Em janeiro de 1896 a comoção da comunidade científica em torno dos raios X foi enorme. Agora podiam-se ver os dedos sem os músculos. A medicina debruçou-se de imediato sobre as possibilidades da recente descoberta

no intervalo aproximado de 10^{-11} a 10^{-8} m (0,1 a 100 Å), resultantes da colisão de elétrons produzidos em um cátodo aquecido (ocorre uma emissão termoiônica) contra elétrons de ânodo metálico. Ao contrário, portanto, das radiações, originadas nos núcleos atômicos, com as quais se assemelham em intensidade, os raios X têm origem extra-nuclear.

Em 1901, Röntgen foi laureado com o primeiro Prêmio Nobel de Física. Em 1914, assinou com outros cientistas alemães um documento de solidariedade a uma Alemanha belicista. Posteriormente, arrependeu-se muito por essa adesão ao militarismo, sofrendo com o envolvimento de seu país na Primeira Guerra Mundial. Faleceu em Munique, em 10 de fevereiro de 1923, com 78 anos.

Uma outra descoberta revolucionária nas concepções sobre a natureza da matéria: a *radioatividade*. Entre os cientistas que se surpreenderam com as descobertas de Röntgen estava o matemático francês Henri Poincaré. Em 20 de janeiro de 1896, ele mostrava a seus colegas da Academia de Ciências da França as fotografias que Röntgen lhe enviara. Um deles, Henri Becquerel, perguntou-

Membro de uma família de quatro gerações de físicos de renome, Henri Becquerel tinha interesse pela fosforescência e pela fluorescência

lhe de que parte da válvula emergiam os raios, e Poincaré respondeu que esses provavelmente eram emitidos da área da válvula oposta ao cátodo, a área em que o vidro se tornara fluorescente. Becquerel imediatamente procurou uma relação entre raios X e fluorescência, e já no dia seguinte iniciou suas próprias experiências a respeito.

Membro de uma família de quatro gerações de físicos de renome, Henri Becquerel tinha interesse pela fosforescência e pela fluorescência, e a descoberta de Röntgen o levou a fazer observações para verificar se substâncias fosforescentes ou fluorescentes emitiam raios X. Os primeiros resultados foram negativos.

Eis parte do relatório (SEGRÈ, 1987, p. 29) que ele fez à Academia em 24 de fevereiro de 1896, após experiências com um sal de urânio:

“Cobri uma chapa fotográfica com duas folhas de papel negro grosso, tão grosso que a chapa não ficou manchada ao ser exposta ao sol um dia inteiro. Coloquei sobre o papel uma camada de substância fosforescente e expus tudo ao sol por várias horas. Quando revelei a chapa fotográfica, percebi a silhueta da substância fosforescente sobre o negativo... A mesma experiência pode ser feita com uma lâmina de vidro fina colocada entre a substância fosforescente e o papel, o que exclui a possibilidade de uma ação química resultante dos vapores que poderiam emanar da substância quando aquecida pelos raios solares. Portanto, podemos concluir dessas experiências que a substância fosforescente em questão emite radiações que penetram no papel opaco à luz...”

Era como se os raios X fossem emitidos pelo composto de urânio. Quando a Academia voltou a se reunir, em 2 de março, Becquerel já tinha outros resultados. Como o tempo mudara em Paris e nos dias 26 e 27 de fevereiro houvesse muito pouco sol, ele colocou as chapas fotográficas em um gaveta escura, deixando sobre elas o sal de urânio, envolto em papel. Extraída da mesma fonte antes citada, eis aqui uma parte de seu relatório à Academia:

“Como o sol não voltou a aparecer durante vários dias, revelei as chapas fotográficas a 1º de março, na expectativa de encontrar imagens muito deficientes. Ocorreu o oposto: as silhuetas apareceram com grande nitidez. Pensei imediatamente que a ação poderia ocorrer no escuro.”

Esse é um relato em que o acaso e a perspicácia foram decisivos. Becquerel creditou méritos dessa descoberta a seu pai e a seu avô, que trabalharam com o mesmo assunto. Mas ele, no momento propício, fez uma descoberta muito importante, que não teve a princípio, no entanto, a

repercussão do trabalho de Röntgen. Já em 9 de março de 1896, Becquerel descobrira que a radiação emitida pelo urânio não apenas escurecia as chapas fotográficas, mas também ionizava gases, transformando-os em condutores.

Dois anos depois da descoberta de Becquerel, Pierre e Marie Curie entram em cena nos eventos que modificaram o panorama da ciência na última virada do século. Primeiro, pesquisaram os 'raios de Becquerel' em outros elementos além do urânio, descobrindo então o polônio e o rádio, modificando completamente a nova ciência da radioatividade. As descobertas mostraram que, diferente dos raios X, as radiações descobertas por Becquerel eram de origem nuclear. As descobertas de Becquerel — evidenciando que alguns átomos eram instáveis e emitiam diferentes partículas e radiações — exigiram, então, novas propostas de modelos para os átomos, que não mais podiam ser considerados indivisíveis.

Nota

¹A descoberta do elétron e muitos outros estudos do final do século passado estão relacionados com esse terceiro tipo de condutor de eletricidade (os outros são os metais e as soluções eletrolíticas). Para estudar esse tipo de condução elétrica construíam-se tubos de vidro com pressões muito baixas, próximas ao vácuo (pressão inferior à pressão atmosférica) e depois se estabeleciam diferenças de potenciais entre eletrodos para verificar a condução de corrente elétrica pelos gases dos tubos, nas diferentes condições de baixas pressões.

Referência bibliográfica

SEGRÈ, Emilio. Dos raios X aos quarks. *Físicos modernos e suas descobertas*. Brasília: Editora da UnB, 1987.

Para saber mais

📖 O livro de Emilio Segrè — Prêmio Nobel de Física em 1959 — acima referido traça um agradável panorama da ciência no final do século XIX, mostrando o quanto, por exemplo, as descobertas dos raios X e da radioatividade determinaram alterações na física que atingiram de imediato a biologia (e nesta, a genética em particular), a geologia, a medicina e a química.

📖 O capítulo 10 de *A ciência através dos tempos*, de Attico Chassot — resenhado no nº 1 de *QNE* —, trata das modificações havidas na ciência por ocasião da última virada de século e complementa o texto acima. Nesse capítulo, apresenta um pouco da biografia de Pierre e Marie Curie.

📖 Uma recomendação para quem quiser conhecer uma história marcada pelo amor entre marido e mulher e pelo amor à ciência é conhecer um pouco mais a biografia de Pierre e Marie Curie. Entre as várias biografias do casal Curie existe uma escrita por uma das filhas do casal, Eva Curie — a outra, Irene, casou-se com Frederic Joliot, com quem ganhou o Prêmio Nobel de Química em 1935 —, publicada pela Biblioteca de Seleções em 1962. Existe também um excelente filme, que tem passado nos canais por assinatura: *Madame Curie* (USA, 1944, 117 min).

📖 Sugira a seus alunos e alunas pesquisar sobre a contribuição do brasileiro Manuel Abreu para a radiologia e qual a importância da abreugrafia.

📖 Outra sugestão é procurar conhecer, também, os perigos provocados pelas radiações, tanto as dos raios X quanto as emitidas por substâncias radioativas. Organize em sala de aula uma discussão sobre os cuidados que se deve ter com as radiações e particularmente com os raios X. Convide um profissional da área de radiologia para discutir esses assuntos em classe, mostrando também os cuidados que se deve ter com as radiações produzidas pelos aparelhos de televisão.



Maria da Conceição Marinho Oki
Instituto de Química da Universidade
Federal da Bahia, Salvador - BA

A energia constitui um assunto de grande importância nas sociedades contemporâneas, sendo um tema de grande interesse veiculado em todos os meios de comunicação. Define-se energia como a capacidade que os objetos ou sistemas têm de realizar trabalho ou “o que se deve fornecer/retirar de um sistema material para transformá-lo ou deslocá-lo” (Debeir *et al.*, 1993). Essa segunda definição expressa a grande abstração que caracteriza esse conceito.

A manifestação da energia, no entanto, pode acontecer associada a diversos fenômenos concretos, levando-a a assumir variados significados, como calor, luz, trabalho, movimento, eletricidade etc. Muitas dessas diferentes manifestações de energia foram observadas desde tempos remotos, mas esses fenômenos eram considerados independentemente, uma vez que a relação entre eles não havia sido formulada.

Entre as inúmeras formas de energia, o calor e a eletricidade foram certamente de grande importância para o desenvolvimento técnico-científico ao longo dos tempos. A revolução industrial, responsável por uma maior aproximação entre a ciência e o sistema produtivo, fundamenta-se, inicialmente, na utilização da energia produzida por máquinas a vapor e, num segundo momento, na tecnologia que foi desenvolvida a partir do uso da eletricidade.

A sociedade moderna é muito dependente da energia elétrica, que tem inúmeras aplicações: iluminação, aquecimento, comunicação etc. A transformação no modo de vida da nossa sociedade foi fruto da tecnologia desenvolvida a partir das inúmeras pesquisas que contribuíram para a compreensão da natureza da eletricidade.

Este artigo destaca a importância da energia elétrica no desenvolvimento das sociedades humanas e nas suas relações. De modo resumido, é apresentada a trajetória que levou à compreensão da eletricidade e à sua utilização na descoberta de novos elementos químicos, bem como a contribuição dos estudos do fenômeno elétrico para uma maior aproximação entre a química e a física.

*energia, eletricidade, descoberta de novos
elementos químicos*

Este artigo foi publicado originalmente na revista *Química Nova na Escola* n. 12, 2000.

Primeiras idéias sobre a eletricidade: um fenômeno curioso e pouco importante

A eletrificação de certos materiais pelo atrito, fenômeno que hoje chamamos de eletricidade estática, foi inicialmente descrito na antigüidade grega. Esse tipo de eletricidade se explica como um acúmulo de carga elétrica positiva ou negativa em um dado material, em consequência de um desequilíbrio de cargas decorrente de remoção ou acréscimo de elétrons. Esse fenômeno pode ser observado, por exemplo, quando um pente plástico passado pelo cabelo várias vezes adquire carga elétrica suficiente para atrair pequenos pedaços de papel ou cortiça.

Atribui-se ao filósofo grego Tales de Mileto (636-546 a.C.) a primeira descrição da atração exercida pelo âmbar¹ sobre corpos leves como o papel e a cortiça, após ter sido atritado com a lã. Então, as explicações para os fenômenos naturais eram baseadas em narrativas míticas ou forças sobrenaturais. Esse filósofo inicia um novo modo de explicação da natureza, utilizando-se do elemento “água” como princípio material que dá origem a todas as coisas, e usando a racionalidade para estabelecer generalizações que visavam a sistematizar muitas mudanças e movimentos observados no mundo.

Inicialmente a eletricidade foi considerada um fenômeno curioso e de pouca importância, embora algumas investigações significantes tenham sido realizadas (Laidler, 1993). Os estudos de maior relevo até o século 16 foram realizados pelo físico inglês William Gilbert (1540-1603), que identificou outros materiais feitos de vidro e de enxofre que se comportavam de modo semelhante ao âmbar quando atritados. Segundo Gilbert, a eletrização dos corpos resultava da liberação de um “effluvium material”² em consequência do aquecimento provocado pelo atrito. Para descrever suas observações, ele usou a denominação “elétricos” para os que se comportavam como o âmbar, diferenciando-os de outros “não-elétricos” como os metais.

O fluido elétrico e as primeiras idéias científicas

Novos estudos sobre a eletricidade aconteceram no século 17, impulsionados pela construção de aparelhos que ficaram conhecidos como máquinas ou geradores eletrostáticos (Figura 1), concebidas pelo físico alemão Otto von Guericke (1602-1686). Essas máquinas foram utilizadas, em diferentes modelos, para gerar cargas elétricas na forma de centelhas, permitindo a utilização desse tipo de eletricidade (estática) em diversos experimentos. As cargas eram produzidas, por exemplo,



Figura 1 – Ilustração de uma máquina eletrostática contida no famoso livro de von Guericke *Experimenta Nova*, de 1672.

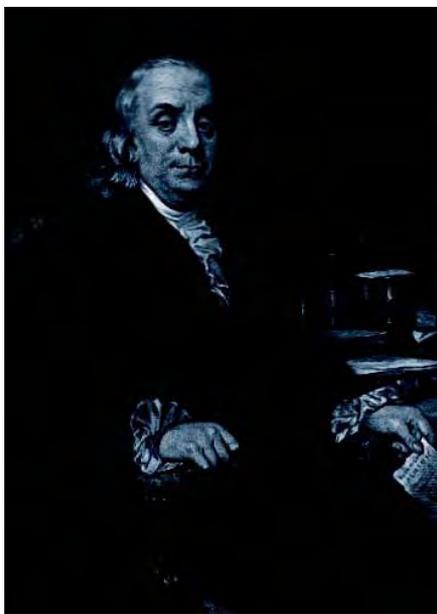
quando corpos esféricos sólidos de enxofre eram submetidos ao atrito nesses equipamentos (Rosmorduc, 1988). Nesse período, a atração e geração de cargas elétricas por fricção eram considerados fenômenos elétricos fundamentais; no entanto, atribuía-se à repulsão entre os corpos uma menor importância (Kuhn, 1996).

Os séculos 17 e 18 foram de grande produção empírica nas ciências naturais e os estudos nesse campo intensificaram-se; muitos experimentos foram realizados ao lado de tentativas de elaborações teóricas. Este período é fortemente influenciado pelo pensamento cartesiano e mecanicista, o que explica as propostas de generalização de modelos mecânicos para interpretação de fenômenos físicos. Numerosos conceitos de eletricidade foram formulados tendo como base a filosofia mecânico-corpuscular. As concepções de “fluidos sutis” foram muito utilizadas e a eletricidade era concebida como uma espécie de fluido invisível e sem peso, que podia passar de um corpo para outro.

Em 1729, Stephen Gray (1666-1736) descobriu o importante fenômeno da condução elétrica e distinguiu os corpos condutores de eletricidade e os não-condutores ou isolantes. Ainda nesse século surgiu a proposta do físico francês Charles François de Cisternay Dufay (1692-1739) de divisão da eletricidade em dois tipos: resinosa e vítrea, levando em conta a natureza do material atritado. Ele observou que objetos contendo eletricidade resinosa eram atraídos por outros portadores de eletricidade vítrea, enquanto corpos que possuíam um mesmo tipo de eletricidade se repeliam quando aproximados.

As pesquisas de Dufay levaram à formulação da teoria dos dois fluidos que considerava como neutra a matéria formada por iguais quantidades dos fluidos vítreo e resinoso. A eletrização aconteceria caso um corpo ganhasse uma quantidade em excesso de um desses fluidos e perdesse a mesma quantidade do outro, de modo que a quantidade total dos fluidos permanecesse a mesma (Laidler, 1998).

Discordando dessa teoria, o cientista americano Benjamin Franklin (1706-1790) propôs outra teoria do fluido único. Um corpo não eletrificado deveria possuir uma quantidade normal de fluido elétrico. Quando presente em excesso, esse imprimiria uma carga positiva ao corpo e a sua deficiência implicaria uma carga negativa.



Benjamin Franklin (1706-1790).

As teorias que consideravam a eletricidade um fluido capaz de circular através de condutores estimularam novas investigações sobre a condução elétrica. A idéia de fluidos imponderáveis foi usada, também, para explicar outros fenômenos estudados, como o calor, a luz, o magnetismo etc.

Fluido galvânico e eletricidade: a busca de uma identidade

Considerando que a eletricidade tinha uma natureza material, alguns investigadores passaram a realizar tentativas de engarrafar o fluido elétrico (Kuhn, 1996). Em meados do século 18, começaram a ser usados instrumentos que armazenavam a eletricidade gerada por atrito, os capacitores primitivos ou garrafas de Leyden, que constituíram-se em importantes equipamentos de pesquisa e tecnologia nesse campo.

As centelhas elétricas passaram a ser usadas para

produzir reações químicas. Esse recurso foi utilizado, por exemplo, na síntese da água realizada pelo químico inglês Henry Cavendish (1731-1810) através da combinação dos gases hidrogênio e oxigênio após a passagem da centelha na mistura de reação.

Embora tenham ocorrido alguns avanços empíricos, uma dificuldade nesse período era a utilização de cargas elétricas em movimento por um longo tempo, ou seja, a eletricidade dinâmica ou galvânica. Essa situação começa a se modificar com estudos pioneiros no campo da eletrofisiologia realizados pelo médico italiano Luigi Galvani (1737-1798) que pretendia encontrar relações entre a eletricidade e os organismos vivos.

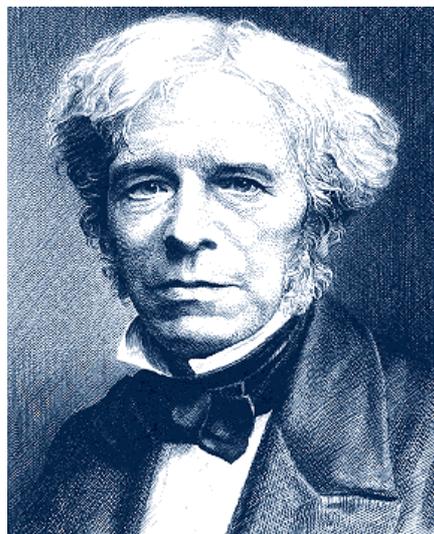
Em suas pesquisas, ele observou que descargas elétricas provocavam a contração em músculos de rãs mortas que estavam sendo estudadas. O contato do animal com metais diferentes promovia o fechamento de um circuito de natureza elétrica, ocasionando a contração muscular. Galvani explicou os fenômenos observados usando um novo tipo de fluido invisível chamado eletricidade animal, considerando que a eletricidade era gerada nos tecidos do animal e que os metais atuavam apenas como condutores.

As pesquisas sobre eletricidade animal estimularam novos estudos realizados por Alessandro Volta (1745-1827), professor da Universidade de Pavia, que discordando da explicação de Galvani, supôs que a eletricidade poderia ser gerada pela conexão entre os dois diferentes metais colocados em contato com o animal. Esse pesquisador reconheceu que o animal morto agia meramente como condutor mas, de modo equivocado, achava que a eletricidade gerada era devido ao contato entre dois metais diferentes, propondo a “teoria da eletricidade por contato”, que foi aceita por muitos anos em virtude do prestígio que gozava o seu autor no meio científico (Tolentino e Rocha-Filho, 2000).

Tomando como base sua teoria e utilizando-se do empilhamento de discos de metais diferentes tais como Cu/Sn ou Zn/Ag, separados por pedaços de papel ou tecido umedecidos com água salgada, Volta conseguiu produzir uma corrente elétrica, mesmo desconhecendo o papel que a água salgada desempenhava no experimento, e estabeleceu evidências para a existência da eletricidade metálica através da construção da “pilha” voltaica. Esse nome relacionava-se com a palavra ‘empilhamento’, que caracterizava o modo como eram arrumados os diferentes metais nesse dispositivo. Tal artefato, primeiro gerador eletroquímico, era capaz de produzir uma corrente elétrica contínua cuja intensidade dependia da natureza do metal usado, além do tamanho e número de chapas metálicas alternadas na pilha (Leicester, 1971). Esse fato possibilitou a realização de experimentos reprodutíveis e novos estudos eletroquímicos. Entretanto, somente muito mais tarde com-



Luigi Galvani (1737-1798).



Michael Faraday (1791-1867).

preendeu-se que nesses equipamentos estava ocorrendo uma reação química e que a energia liberada quando o processo químico acontecia se manifestava na forma de corrente elétrica.

Mesmo tendo neste período sido vitoriosas as idéias de Volta em detrimento das de Galvani, a existência da eletricidade animal foi posteriormente reconhecida e a sua contribuição marcou a ciência; nomes como galvanismo, célula galvânica, galvanômetro ou ferro galvanizado são ainda hoje usados nas publicações sobre esse assunto (Laidler, 1998).

Eletricidade: um novo meio de investigação da matéria

A divulgação dos resultados obtidos por Volta estimulou a realização de novos experimentos utilizando a “pilha elétrica” e o uso da eletricidade para a decomposição da água nos gases hidrogênio e oxigênio, o que foi feito pelos amigos Anthony Carlisle (1768-1840) e William Nicholson (1753-1815), contribuindo para o aperfeiçoamento de um novo método de análise: a eletrólise.

Apesar do grande interesse que despertavam os fenômenos elétricos e das tentativas de elaborações teóricas surgidas, a natureza da eletricidade não estava esclarecida. Muitos cientistas interessaram-se por esses fenômenos, entre os quais Humphry Davy (1778-1829), professor da Instituição Real de Londres, que fundamentava seus estudos na hipótese de que as transformações químicas e elétricas eram produzidas por uma mesma causa: a força resultante da atração e repulsão entre cargas elétricas. Nesse período começavam a ser realizados alguns experimentos que apontavam na direção de uma natureza elétrica da matéria, considerada ainda como uma hipótese.

Utilizando a eletricidade como um novo meio de estudo da matéria, Davy decompôs em 1807 a potassa e a soda (álcalis cáusticos) fundidas. Esses experimentos levaram à descoberta do potássio e do sódio, metais que não tinham ainda sido isolados, principalmente, devido à alta reatividade química que os caracteriza. Em 1808, fazendo uso ainda do método eletroquímico, esse cientista obteve também o magnésio, o cálcio, o estrôncio e o bário (Aaron, 1984).

A partir desse período, essa forma de energia passou a ser usada para cindir espécies químicas até então difíceis de serem decompostas, iniciando uma grande transformação na química. Na segunda metade do século 18, grandes modificações teóricas haviam sido introduzidas na química graças ao importante trabalho de Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794), que conseguiu derrubar a teoria do flogístico e reconhecer o hidrogênio e o oxigênio como elementos químicos formadores da água.

Muitas tentativas passaram a ser feitas para se justificar a formação de compostos químicos considerando-se a interação entre cargas positivas e negativas, que nesse período supunha-se existirem nas substâncias. As forças existentes entre tais cargas seriam as responsáveis pelas combinações químicas e foram chamadas de forças de afinidade.

Para explicar os fenômenos, o químico sueco Jöns Jacob Berzelius (1779-1848) propôs uma teoria elétrica para as reações químicas de acordo com a qual os átomos formadores de cada elemento possuíam uma carga elétrica e polaridade definida. Classificou os elementos de acordo com sua polaridade e ordem crescente de carga. Do seu ponto de vista, a combinação química consistia na atração dos corpúsculos de cargas opostas e na neutralização da eletricidade com liberação de calor entre os pólos opostos (Rheinboldt, 1995). Átomos com um mesmo tipo de carga elétrica não podiam se combinar e, portanto, não seria possível a existência de moléculas diatômicas homonucleares como H_2 , O_2 , N_2 , Cl_2 . Essa teoria eletroquímica constituiu a base teórica do sistema dualístico proposto por Berzelius, e influenciou a produção científica da química no século 19.

As pesquisas realizadas por Berzelius relacionadas ao uso de corrente elétrica para produzir transformações químicas ajudaram o químico e físico inglês Michael Faraday (1791-1867) a encontrar relações de proporcionalidade entre a quantidade de matéria decomposta e a quantidade de eletri-

cidade utilizada, estimulando estudos quantitativos envolvendo a eletricidade. Faraday introduziu uma nova nomenclatura para designar os pólos opostos presentes no sistema eletrolítico (anodo e catodo) e estabeleceu o grau de afinidade química de dois elementos, relacionando-o com a facilidade destes para se dirigirem para os pólos opostos em uma decomposição eletrolítica (Bensaude-Vincent e Stengers, 1992). Esses estudos se constituíram de grande importância para o desenvolvimento da eletroquímica, propagando a idéia de que as reações químicas eram resultantes de fenômenos elétricos.

A investigação da natureza íntima da matéria intensificou-se durante todo o século 19, contribuindo para a consolidação da teoria atômica e a descoberta das partículas subatômicas que, efetivamente, comprovarão as hipóteses sobre a natureza elétrica da matéria, anteriormente formuladas.

A compreensão do fenômeno elétrico ampliou-se com os estudos da energia em suas diferentes manifestações e múltiplas possibilidades de conversão. Observou-se uma intensificação nas pesquisas geradas pela grande aplicabilidade da energia elétrica a partir do século 19. Novos estudos teóricos foram estimulados relacionando a luz, a eletricidade e o magnetismo, que foram de grande importância para o desenvolvimento da física, promovendo uma maior aproximação com a química no século posterior e o grande avanço da ciência, certamente mais próxima da tecnologia.

Notas

¹O âmbar é uma substância sólida, resinosa e de origem fóssil. Em grego esse material se chama *elektron*, ou *electrum*, em latim.

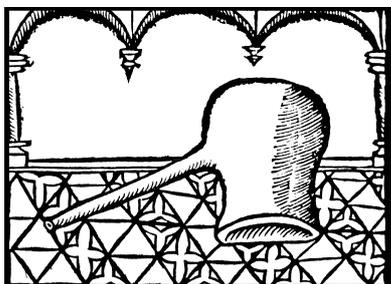
²*Effluvium* ou eflúvio significa emanção sutil que exala dos corpos organizados.

Referências bibliográficas

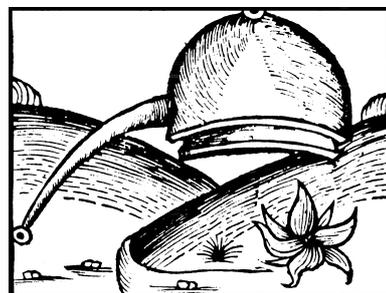
- AARON, J.I. *The development of modern chemistry*. Nova Iorque: Dover, 1984. p. 131.
- BENSAUDE-VINCENT, B. e STENGERS, I. *História da química*. Trad. de R. Gouveia. Lisboa: Instituto Piaget, 1992. p. 158.
- DEBEIR, J.C.; DÉLAGE, J.P. e HÉMERY, D. *Uma história da energia*. Trad. de S.S. Brito. Brasília: Editora da UnB, 1993. p. 16.
- KUHN, T.S. *A estrutura das revoluções científicas*, Trad. de B.V. Boeira e N. Boeira. São Paulo: Editora Perspectiva, 1996. p. 34-35, 88.
- LAIDLER, K.J. *The world of physical chemistry*. Nova Iorque: Oxford University Press, 1993. p. 195.
- LAIDLER, K.J. *To light such a candle*. Nova Iorque: Oxford Univ. Press, 1998. p. 117, 119.
- LEICESTER, H.M. *The historical background of chemistry*. Nova Iorque: Dover, 1971. p. 165.
- RHEINBOLDT, H. *História da balança e a vida de J.J. Berzelius*. São Paulo: Ed. Nova Stella / Edusp, 1995. p. 103.
- ROSMORDUC, J. *Uma história da física e da química - De Tales a Einstein*. Trad. de L.V.C. Faria e N.V.C. Faria. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 1988. p. 88.
- TOLENTINO, M. e ROCHA-FILHO, R.C. O bicentenário da invenção da pilha elétrica. *Química Nova na Escola*, n. 11, p. 35-39, 2000.

Para saber mais

- LAIDLER, K.J. *To light such a candle*. Nova Iorque: Oxford University Press, 1998. p. 117, 119.
- RHEINBOLDT, H. *História da balança e a vida de J.J. Berzelius*. São Paulo: Ed. Nova Stella / Edusp, 1995. p. 103.
- Química Nova na Escola*, n. 11, 2000. Este número contém diversos artigos relacionados ao tema pilhas elétricas.



Destilação: a arte de “extrair virtudes”



Maria Helena Roxo Beltran

Pesquisadora em regime de pós-doutoramento junto ao CESIMA da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo - SP

Alambiques, retortas e fornos estão sempre presentes em imagens para caracterizar alquimistas e químicos em seus laboratórios. Isso indica que tais instrumentos, utilizados no processo de destilação, têm papel destacado no imaginário relativo tanto à alquimia quanto à química. Essa idéia não deixa de ter fundamento, pois a destilação há muito tempo vem sendo utilizada tanto nas artes que envolvem o tratamento e a transformação de materiais quanto por estudiosos que buscavam afirmar ou elaborar idéias sobre a composição da matéria.

Atualmente, a destilação, processo baseado nas diferenças entre os pontos de ebulição das substâncias, é adequadamente explicada pela idéia de que a matéria é formada por partículas que se movimentam e interagem. O fracionamento do petróleo, a obtenção de álcoois e a extração de essências são apenas alguns exemplos de processos em que a destilação é empregada na indústria. Além disso, a destilação é um dos principais métodos de purificação de substâncias utilizados em laboratório. Assim, a importância desse processo tão bem conhecido e claramente interpretado por meio de modelos sobre as partículas que constituem a matéria justifica sua inclusão em qualquer curso de química de nível médio.

Entretanto, nem sempre a destilação foi considerada uma operação tão trivial. Desde suas origens e durante um longo período, a destilação estaria ligada à preparação de poderosas ‘águas’ e à obtenção da ‘pedra filosofal’, do maravilhoso ‘elixir’ que promoveria a cura de todas as doenças dos metais e dos homens. Seria também por meio

Este artigo dá destaque à destilação, uma técnica muito antiga e ainda hoje importante nas indústrias e laboratórios químicos. A destilação também é um tópico muito presente nos programas de cursos de nível médio, embora seja raro professoras e professores discutirem a história desse processo químico. São apresentadas algumas idéias atuais sobre as origens e o desenvolvimento do processo de destilação, além de algumas concepções acerca desse processo elaboradas em diferentes épocas até o século XVI e aspectos relativos a sua utilização, especialmente na obtenção de medicamentos.

destilação: prováveis origens, concepções até o século XVI, utilização do processo

Este artigo foi publicado originalmente na revista *Química Nova na Escola* n. 4, 1996.

da destilação que os iniciados extrairiam as ‘quintessências’ de vegetais, minerais e partes de animais, obtendo-se dessa forma puríssimos e poderosos medicamentos.

Possíveis origens da arte da destilação

Pode-se considerar que a destilação foi um dos desenvolvimentos promovidos pelos alquimistas alexandrinos nas técnicas de se operar sobre a matéria. Tal consideração baseia-se nos estudos realizados sobre os textos produzidos na Antiguidade que chegaram até os dias de hoje. Conforme tais estudos, termos como *ambix*, *lopas* ou *cucurbita* e mesmo desenhos de alambiques estariam presentes apenas nos escritos dos alquimistas alexandrinos¹. De fato, nas principais fontes dos textos alquímicos alexandrinos que sobreviveram até nossos dias em cópias manuscritas feitas entre os séculos XI e XV, estão algumas figuras de instrumentos que os químicos de hoje podem facilmente associar com aparatos destilatórios.

Entretanto, apesar das semelhanças observadas entre essas figuras e os instrumentos atualmente utilizados, o processo de destilação era realizado naquela época num contexto muito diferente do atual. A destilação era uma operação alquímica, relacionada portanto a um corpo conceitual originário de hibridizações entre idéias mágicas, religiosas e filosóficas, associadas aos conhecimentos envolvidos nas práticas artesanais egípcias.

No laboratório, o alquimista procurava operar sobre a matéria de modo a aperfeiçoá-la, imitando o que se acreditava ocorrer na natureza. Admitia-se que os metais seriam originados no interior da terra e se aperfeiçoariam por um processo análogo à gestação. Assim, a transmutação que ocorreria naturalmente, mas num tempo muito longo, poderia ser acelerada pelas operações alquímicas. Dessa forma, admitia-se que os conhecimentos alquímicos permitiam ao adepto controlar as forças naturais. Por isso, esses poderosos conhecimentos eram considerados divinos e sagrados, devendo portanto ser mantidos em segredo. Além disso, referências a um momento de revelação em que o adepto recebia esses conhecimentos podem ser notadas em muitos dos textos alquímicos.

Concepções filosóficas sobre a composição e as transformações da matéria também faziam parte dos fundamentos da alquimia. A possibilidade de transmutar um metal em outro podia ser justificada com base na idéia aristotélica de que a matéria fosse um ‘substrato amorfo’ impregnado de qualidades. Assim, adequando-se as qualidades do metal de partida, seria possível obter prata ou ouro. Uma forma de se fazer isso seria através da eliminação das qualidades do metal comum para se obter aquele ‘substrato amorfo’, aquela matéria primordial sobre a qual seriam então impressas as qualidades da prata ou do ouro. Para realizar as operações necessárias, o alquimista contava com um grande acervo de conhecimentos técnicos que tiveram sua origem nas práticas artesanais egípcias mas aos quais somaram-se os métodos desenvolvidos pelos próprios alquimistas, nos quais utilizavam poderosas ‘águas’ e ‘espíritos’².

O processo de destilação provavelmente foi concebido nesse contexto. A invenção dessa técnica e dos instrumentos nela envolvidos é atribuída à alquimista Maria Judia, que teria vivido no início da

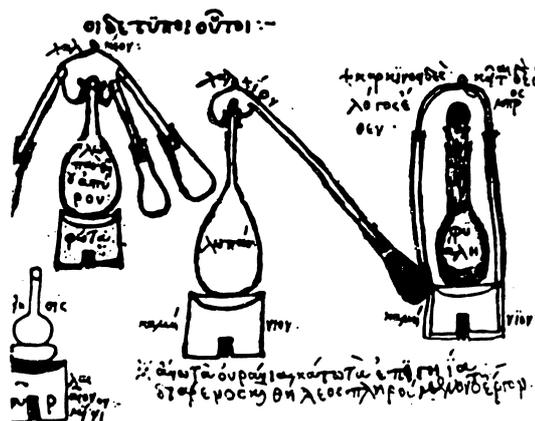


Figura 1 – Desenhos presentes no manuscrito *Parisinus graecus* 2327 (séc. XV), conforme Marcellin Berthelot em seu *Collection des Anciens Alchimistes Grecs*. Paris: G. Steinheil, 1887-88, p. 163.

era cristã³. Entretanto, deve-se ressaltar que o termo destilação seria empregado só muito tempo depois para identificar exclusivamente esse processo específico. Mesmo no início da idade moderna, o termo destilar abrangia todos os processos em que se observava gotejamento, incluindo, portanto, fusões e mesmo filtrações⁴.

Os aparatos destilatórios atribuídos a Maria Judia seriam naquela época empregados, por exemplo, na obtenção de 'águas sulfurosas'. Entre as 'águas' — termo durante muito tempo empregado com referência a líquidos — destacava-se uma 'Água Divina', provavelmente uma solução de polissulfetos que seria empregada no processo de imprimir as propriedades do ouro, tais como a cor amarelada, ao material em transmutação. Também na separação de 'espíritos' a partir de diferentes materiais, a destilação passaria a ser vista como processo fundamental.

Nota-se que aí já pode ser percebida a origem da idéia da possibilidade de se preparar um agente capaz de transmutar qualquer metal em ouro, que viria a ser chamado 'pedra filosofal', 'tintura' ou 'elixir' e cuja busca viria a caracterizar a alquimia em todo o seu desenvolvimento.

Desenvolvimentos e empregos da destilação entre os árabes

As idéias e as práticas dos alquimistas alexandrinos seriam incorporadas e transformadas na formulação da alquimia árabe, para a qual também contribuiriam idéias orientais tomadas diretamente de suas fontes originais. Florescendo dentro de uma civilização em expansão, a alquimia árabe não seria uma simples continuação das elaborações alexandrinas. Isso pode ser evidenciado pela introdução da idéia de 'elixir', ausente naquelas fontes. Essa idéia teria suas origens nas concepções chinesas sobre o equilíbrio da natureza. O elixir seria um medicamento universal, um poderoso agente capaz de equilibrar as qualidades dos corpos, tornando-os perfeitos. Entretanto, em textos como os atribuídos a Razes e os pertencentes ao *corpus* Jabiriano encontram-se referências a "elixires" específicos que seriam utilizados em diferentes operações. Na busca desses 'elixires', muitas vezes foram obtidos novos materiais, bem como produtos que encontraram utilizações diferentes das pretendidas, inclusive como remédios. Nos textos árabes também são freqüentemente mencionadas certas 'águas agudas', as quais podem ser hoje relacionadas especialmente a reagentes de caráter básico. Entre as poderosas 'águas' também encontravam-se o vinagre e sucos de frutas destilados⁵.

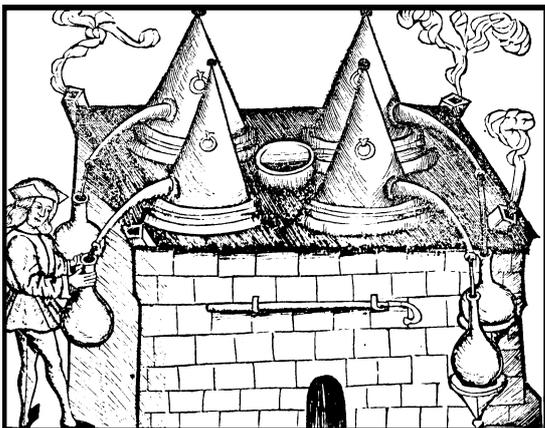


Figura 2 – Uma das ilustrações do livro de destilação de Hieronymus Brunschwig, *Das Buch zu Distillieren die zusammen gethonen ding: Composita genant: durch die einzigen ding, vn das buch Thesaurus pauperum genant...* Strassburg: B. Grüninger, 1532.

A destilação também era utilizada em manufaturas, como por exemplo na preparação de perfumes, arte para a qual os árabes muito contribuíram. Havia grandes centros onde eram extraídos os aromas de rosas, violetas, jasmims e de outros materiais. Para isso, as flores eram maceradas em água e, em seguida, esse material era destilado. Tal processo não era utilizado na Antigüidade, predominando então o método de extração de essências pela infusão de flores em óleos ou gorduras⁶.

A aqua vitae e outras 'águas' medicinais

Transmitida ao ocidente medieval através das fronteiras árabes na Península Ibérica, a alquimia teria novos desenvolvimentos. Os primeiros textos alquímicos foram traduzidos do árabe para o latim a partir do século XII e, já no século

seguinte, estudiosos europeus escreviam textos relativos à “Grande Arte”. Pensadores renomados como Alberto Magno e Roger Bacon dedicaram-se ao estudo da alquimia, embora tivessem visões divergentes quanto à possibilidade de reproduzir, por meio dela, operações próprias da natureza — uma discussão que, no mais, já estava presente no mundo árabe⁷.

Na alquimia medieval, a destilação também teria papel destacado, estando envolvida particularmente na obtenção de ‘águas’ medicinais, entre as quais se encontra a *aqua vitae*. Tal medicamento, obtido pela destilação do vinho, e que hoje seria considerado uma bebida alcoólica, já estava em uso quando, ao final do século XIII, se passou a exaltar suas virtudes, especialmente nas obras atribuídas a Arnaldo de Vilanova, Johannes de Rupescissa e Raimundo Lúlio⁸.

Nos textos atribuídos a Raimundo Lúlio, o produto obtido por sucessivas destilações da *aqua vitae* era tido como um remédio tão poderoso que poderia ser considerado como um análogo dos céus na terra. Esse remédio era chamado quintessência, numa alusão ao quinto elemento aristotélico constituinte dos céus. Assim, essa quintessência era também denominada “o céu dos filósofos”. Nesse ‘céu’ poderiam ainda ser fixadas ‘estrelas’, ou seja, as ‘virtudes’ que se acreditava fossem extraídas dos vegetais, minerais e partes de animais considerados curativos⁹. Isso era feito destilando-se o material previamente macerado em *aqua vitae*. Podiam-se também obter as quintessências puras dos materiais fazendo com que fossem inicialmente ‘putrificados’, ou seja, fermentados, e em seguida destilados.

Essa idéia de que cada material teria uma ‘virtude’ passível de ser extraída por destilação tem fundamento numa concepção do universo como rede de relações. A consideração de que, na criação do mundo, Deus teria deixado marcas em cada coisa encontrada sobre a terra foi bastante difundida a partir do Renascimento. Dentro dessa visão, caberia ao estudioso da natureza saber como conhecer essas marcas e relacioná-las por meio de analogias. Assim, ao se extrair as quintessências dos diferentes materiais, procurava-se uma aproximação com as marcas de origem divina.

Os livros de destilação

A arte da destilação viria a ser amplamente difundida pela nova arte da imprensa. Em tratados de mineração e metalurgia, tais como *Pirotechnia* (1540), escrito por Vannoccio Biringuccio e *De re metallica* (1556), de Georgius Agricola, encontram-se descrições de instrumentos e métodos para se obter as “águas de partir” utilizadas por metalurgistas e ourives. Mas seria especialmente nos chamados ‘livros de destilação’ — nos quais, além de se descrever instrumentos e fornos destilatórios, se discorria sobre as virtudes das plantas, minerais e partes de animais considerados curativos — que as vantagens da arte da destilação viriam a ser enaltecidas.

Um dos mais difundidos livros de destilação foi o *Liber de arte distillandi...*, escrito por Hieronymus Brunschwig, cirurgião de

¶ Here begynmeth the fyrst part of this booke/wherem is comprehended the noble science & the truee distillacions of waters/and other dyuers thynges arte & opallys.

¶ The fyrst chapter sheweth howe to distillacion is. Ca.1.

¶ The fyrst it is needfull to be expressed and shewed howe distillacion is/ for it belongeth to all maner of people to vnderstande and to knowe the cause of that thyng that they begynne or enterpryse to doo/ he vpon to the entente that he may haue a pertye knowlege of suche woordes as he begynneth/ howe he may bypasse it to a good ende/ wherfor it is to be vnderstande that distillacion is none other thyng but onely a purgacion of the grosse frome the subtil/ & the subtil frome the grosse/ & separaty from other/ & to thentent that the corruptible shalbe made incorruptible/ and to make the materall immaterial/ & the quicke spyrre to be made more quicke/ because it shold the soule purre & passe thyngh by the vertu of his great goodnes and strengthe that there in is soule and hyd for the conceyving of his helthfull operacion in the body of man/ for distillacion is an elemental thyng/ for thyngh the mannyng of the natural heuynes/ every one must be naturally gouerned by the bodies aboue/ & the wyte & body of man thyngh an experre maketh in medecyne/ and thyngh the waters that these be/ beyngh from the grovynes of the heuynes & the in his sun

Figura 3 – Trecho extraído da tradução inglesa de 1530 do *Liber de arte distillandi...* de Hieronymus Brunschwig, reproduzido a partir da edição facsimilar citada.

Estrasburgo, e publicado pela primeira vez em 1500. Brunschwig considerava que remédios obtidos por destilação seriam mais eficientes que as decocções tradicionalmente empregadas. De acordo com ele, nos medicamentos destilados estaria a parte mais pura do material de partida, já que a destilação seria

...simplesmente separar o impuro a partir do sutil e o sutil a partir do impuro, cada qual separadamente do outro, com o propósito de poder tornar o corruptível incorruptível, e de fazer o material imaterial, e de que o espírito vivo seja feito mais vivaz, pois, pela virtude da grande bondade e da força que nele é mergulhada e escondida, ele deve penetrar rapidamente, para concepção de sua saudável operação no corpo do homem¹⁰.

Embora o *Liber de arte distillandi*... possa ser considerado como um "manual técnico", a concepção sobre destilação expressa no trecho citado está relacionada com a idéia da extração das virtudes do material, de sua pura quintessência. Uma outra evidência da presença de concepções alquímicas nos livros de destilação é obtida quando se consideram as semelhanças entre a descrição das virtudes da *aqua vitae* por descrições das propriedades do 'elixir' apresentadas em textos alquímicos. Assim, por mais 'técnicos' que esses livros de destilação possam parecer aos nossos olhos, as concepções que tinham por traz de si estavam ligadas à idéia alquímica da extração das virtudes dos materiais, da separação de 'espíritos' a partir de materiais impuros, e das idéias sobre o 'elixir'.

Algumas reminiscências

A idéia da destilação como processo que permite extrair as 'virtudes' dos materiais aparentemente continua a vigorar ainda hoje, quando se fala, por exemplo, em 'extrair essências'. Mas essa expressão pode ser considerada apenas um vestígio, uma remota lembrança que ficou dos 'espíritos', 'virtudes' ou 'quintessências' que faziam parte das concepções alquímicas/químicas elaboradas no passado. Há ainda outros termos de uso corrente que também trazem em si reminiscências de concepções hoje abandonadas. Um exemplo é a palavra inglesa *whisky*, derivada de *usquebaugh*, que significa literalmente 'água da vida', ou seja, *aqua vitae*.

Entretanto, a destilação, enquanto processo de laboratório, não é só uma reminiscência. De fato, essa arte, talvez tão antiga quanto a própria alquimia, sobreviveu ao abandono daquela forma ancestral de investigação da matéria, estando ainda hoje presente em laboratórios e indústrias químicas. Porém, a destilação foi incorporada pela química moderna apenas enquanto técnica e passou a ser interpretada dentro de uma outra concepção de natureza e de ciência.

Notas

¹O termo *ambix* designava a parte superior do aparato; a parte inferior era chamada inicialmente *lopas*, nome grego dado a um tipo de vasilha; entretanto o termo *cucurbita* que, em latim, significa abóbora viria a ser utilizado predominantemente para designar a parte inferior do aparato destilatório; a palavra "alambique" só tempos depois é que viria a ser usada com referência a todo o conjunto. Uma interessante abordagem sobre esses termos é dada por F. Sherwood Taylor em seu "The evolution of the still.", *Annals of Science*, v. 5, n. 3, p. 185-202, julho de 1945.

²Um estudo detalhado sobre a formação da alquimia alexandrina encontra-se em *Da Alquimia à Química* de Ana Maria Alfonso-Goldfarb, p. 50-68, que serviu de base para o resumo aqui apresentado.

³Supõe-se que o "banho-maria" tenha recebido tal nome por ter sido outra das criações dessa alquimista.

⁴R.J. Forbes, *A short history of the art of distillation*. Reimpresso, 1ª ed., 1948. Leiden: E.J. Brill, 1970. p. 15.

⁵Sobre a composição e os desenvolvimentos da alquimia árabe ver A.M. Alfonso-Goldfarb, *op. cit.*, p. 77-109.

⁶R. J. Forbes, *op. cit.*, p. 48-52.

⁷Sobre a introdução da alquimia no medievo europeu e, especialmente sobre as idéias de Roger Bacon, ver A.M. Alfonso-Goldfarb, *op. cit.*, p. 113-156

⁸Sobre a receita para obtenção do que hoje chamamos álcool, tida por muitos como a primeira, veja nossa “Pitada de História da Química”: “Álcool: uma antiga receita guardada em *Mappae clavicula*” em *Boletim da SBQ*, ano XIV, n. 9, p. 2, set. de 1996.

⁹Sobre a idéia de quintessência nos textos lulianos ver F. Sherwood Taylor, “The Idea of the Quintessence”, em *Science, Medicine and History...*, org. por E.A. Underwood. Londres/ N. York, Oxford Univerty Press/ Geoffrey Cumberlege, 1953, vol. 1, p. 247-265, especialmente p. 254-259.

¹⁰Hieronymus Brunschwig, *Book of Distillation*. Edição facsimilar da tradução inglesa de Lawrence Andrew, Londres, [1530]; organização e introdução de Harold J. Abrahams. Nova York/Londres: Johnson Reprint Corporation, 1971. p. 9.

Para saber mais

ALFONSO-GOLDFARB, Ana Maria. *Da alquimia à química*. São Paulo: Nova Stella/ EDUSP, 1987.

BELTRAN, Maria Helena Roxo. *Entre o simbolismo e os diagramas da razão: imagens de magia e de ciência*. Tese de Doutorado. São Paulo: PUC-SP, 1996.

Várias edições do *Liber de arte distillandi...* de Heironymus Brunschwig, publicadas durante o século XVI, podem ser consultadas no Setor Multimídia de Documentação do Centro Simão Mathias de Estudos em História e Ciência (CESIMA/PUC - SP). Nesse Setor, criado com apoio da FAPESP, estas edições e muitos outros textos originais microfilmados estão em fase de digitalização. A sede do CESIMA fica no *campus* Marquês de Paranaguá da PUC-SP e visitas via Internet podem ser feitas acessando www.pucsp.br/cesima.

Potencial de redução e Eletronegatividade obstáculo verbal

Alice Ribeiro Casimiro Lopes

Escola Técnica Federal de Química e
Universidade do Estado do Rio de Janeiro,
Rio de Janeiro - RJ

Em nossas aulas de Química, trabalhamos com diferentes conceitos que nem sempre são objetos de uma devida análise. Tendemos a abordá-los como equivalentes a definições, capazes, no máximo, de permitir a instrumentalização dos estudantes para resolução de exercícios esquemáticos. Nesse processo, o conceito científico é retirado de seu contexto original e traduzido para o contexto escolar de forma empobrecida ou mesmo equivocada. Por outro lado, diferentes conceitos que se inter-relacionam são tratados de forma desconexa, como se nada tivessem em comum.

Muitos desses problemas originam-se das inúmeras diferenças entre o contexto da produção científica e o contexto escolar. O contexto de produção científica é um contexto em que o erro possui uma função positiva. Nesse caso, o erro não é um acidente lamentável, uma imperícia a ser evitada ou uma anomalia a ser extirpada. Ao contrário, a construção do conhecimento científico é um processo de produção de verdades provisórias, verdades essas que são elaboradas a partir da superação dos primeiros erros. Assim sendo, o erro possui um caráter construtivo na ciência: precisamos errar para, a partir da retificação de nossos erros, construir as verdades científicas. Dessa forma, a própria questão da verdade se modifica. Não devemos nos referir à verdade como algo que se alcança em definitivo. Podemos falar **das verdades**, múltiplas, históricas, proposições que só adquirem sentido a partir de uma polêmica capaz de retificar os primeiros erros. Assim, quando nos referimos a uma verdade como científica, devemos ter em mente seu caráter provisório: a permanência, a resistência à mudança e à retificação **não** são atributos científicos.

O contexto escolar, ao contrário, trabalha com conceitos científicos como produtos de outras instâncias

A seção 'Conceitos científicos em destaque' tem por objetivo abordar, de maneira crítica e/ou inovadora, conceitos científicos de interesse dos professores de Química.

Neste artigo, são discutidos os chamados obstáculos verbais à compreensão dos conceitos científicos e o processo de mediação didática da ciência, especialmente no que se refere ao tratamento conferido aos conceitos de eletronegatividade e potencial padrão de redução.

*obstáculos verbais, mediação didática,
eletronegatividade, potencial padrão de
redução*

Este artigo foi publicado originalmente na revista *Química Nova na Escola* n. 4, 1996.

(centros de pesquisa) e como se fossem verdades definitivas. Ou seja, o contexto escolar tende a deslocar os elementos do conhecimento científico das questões que ele permite resolver e dos conceitos com os quais constitui uma rede relacional. O saber ensinado acaba por aparecer como um saber sem produtor, sem origem, sem lugar, transcendente ao tempo.

Um dos aspectos que reforçam esse processo é a necessidade de tradução da linguagem formal da ciência em linguagem não-formal, no ensino médio. A linguagem matemática, constitutiva da maioria dos conceitos científicos, tem de ser traduzida em linguagem não-formal, um discurso ao qual a multiplicidade de sentidos, o caráter ideológico e histórico são elementos intrínsecos.

Contudo, não devemos, obrigatoriamente, considerar o contexto escolar apenas como um campo de reprodução do conhecimento científico sujeito a equívocos, cabendo ao discurso científico a produção do conhecimento. O processo de mediação didática efetuado na escola é capaz de promover a (re)construção dos conceitos científicos, de forma a facilitar o processo de ensino-aprendizagem, sem a veiculação de equívocos conceituais. Isso será possível desde que estejamos atentos à gênese dos conceitos e à necessidade de superação dos **obstáculos epistemológicos**, obstáculos ao desenvolvimento e ao entendimento do conhecimento científico, inerentes ao próprio conhecimento.

Um dos aspectos centrais que precisamos considerar em nossos processos de mediação didática é a superação dos **obstáculos verbais**, obstáculos associados à linguagem.

A partir de Bachelard (1972), podemos concluir que a ciência promove permanentes revoluções nos significados dos termos científicos. Uma nova teoria científica muitas vezes utiliza os mesmos termos já empregados por teorias distintas, porém com outros significados. Assim, em uma análise da linguagem científica, podemos constatar as rupturas existentes entre diferentes teorias, não apenas na sucessividade, mas também na simultaneidade temporal. Portanto, a desatenção ou descaso para com o novo sentido de um termo nos limites de uma nova teoria constitui por si só um obstáculo à compreensão do conhecimento científico: um obstáculo verbal.

Nos limites deste artigo, analisaremos um exemplo de obstáculo verbal freqüente no ensino de Química: o tratamento conferido aos termos **eletronegatividade** e **potencial padrão de redução**. A partir desse exemplo, discutiremos o processo de mediação didática associado a esses conceitos.

Eletronegatividade e potencial padrão de redução: atração por elétrons?

Quando ensinamos as propriedades periódicas dos elementos para nossos alunos e nossas alunas do ensino médio, tendemos a definir eletronegatividade como *a capacidade que um átomo possui de atrair elétrons para perto de si, em comparação a outro átomo* (Fonseca, 1992: 78) ou ainda como *a tendência que os átomos possuem de receber elétrons no seu nível mais externo, na formação de uma ligação com outros átomos* (Politi, 1992:75). De uma maneira geral, seguimos os livros didáticos e não distinguimos em que circunstâncias são obtidos os valores de eletronegatividade, não analisamos que se trata de uma *grandeza associada à tendência* de um átomo atrair elétrons para si *numa ligação covalente*, ainda que posteriormente utilizemos a eletronegatividade na análise da polaridade das ligações químicas.

Por sua vez, no trabalho com a Eletroquímica, abordamos o conceito de potencial padrão de redução e, se não formos cuidadosos, mais uma vez limitaremos sua definição à atração por elétrons:

O processo de mediação didática efetuado na escola é capaz de promover a (re)construção dos conceitos científicos, de forma a facilitar o processo de ensino-aprendizagem, sem a veiculação de equívocos conceituais

cobre tem maior potencial padrão de redução porque tem maior atração por elétrons. Em alguns casos, a descon sideração da diferença conceitual entre eletronegatividade e potencial padrão de redução é diretamente explicitada: ao longo da história do ensino de química, autores de livros didáticos vêm afirmando que a fila das tensões eletrolíticas (potenciais padrão de redução) **representa** a ordem crescente de eletronegatividade ou que a eletronegatividade se associa ao poder oxidante ou redutor, ou à reatividade, característica indicada pelo potencial padrão de redução (como exemplo citamos, Carvalho, 1978; Feltre & Yoshinaga, 1977; Politi, 1992).

Fica evidente, portanto, que há uma certa confusão entre esses dois conceitos - **potencial padrão de redução e eletronegatividade**. Para gerar ainda maiores dúvidas, muitos se apegam às comparações entre os valores dessas grandezas para alguns elementos como comprovantes da relação direta entre **eletronegatividade e potencial padrão de redução**. Constatam que o cobre possui eletronegatividade igual a 1,90 e o zinco possui eletronegatividade igual a 1,65, com potenciais padrão de redução, respectivamente, iguais a 0,340 V e -0,763 V, e julgam que comprovam a afirmação de que quanto maior a eletronegatividade, maior o potencial padrão de redução. Não

O processo de mediação didática, ao retirar os conceitos científicos do contexto histórico de sua produção e limitá-los a definições restritas, gera obstáculos à compreensão desses mesmos conceitos

atentam para o fato de que o lítio tem eletronegatividade igual a 0,98 e potencial padrão de redução igual a -3,040 V, enquanto o sódio tem eletronegatividade igual a 0,93 e potencial padrão de redução igual a -2,713 V. Ou que cobre e prata têm eletronegatividades muito próximas (1,90 e 1,93, respectivamente) e potenciais padrão de redução muito distintos (0,340 V e 0,799 V, respectivamente)¹.

Problemas como esse são exemplos de como o processo de mediação didática, ao retirar os conceitos científicos do contexto histórico de sua produção e limitá-los a definições restritas, gera obstáculos à compreensão desses mesmos

conceitos. No presente exemplo, promove-se a confusão entre os dois conceitos, gerando os obstáculos verbais. Por outro lado, se analisarmos detidamente as diferenças entre esses conceitos, podemos compreender por que esses equívocos perduram e encontrar meios para superá-los.

Diferenciação dos conceitos de eletronegatividade e potencial padrão de redução

Os conceitos de eletronegatividade e potencial padrão de redução possuem uma história com pontos de contato passíveis de provocar confusões, quando não se está atento às rupturas ocorridas na linguagem científica. Berzelius, ao desenvolver a teoria eletroquímica de ligação (também conhecida como teoria dualística), também organizou os corpos simples em ordem decrescente de eletronegatividade, sendo essa série definida em função da maneira como os elementos se ligam nos compostos (Rheinboldt, 1988). Apesar de a série de Berzelius ser bastante análoga à série eletroquímica atual, o conceito de eletropositividade/eletronegatividade de Berzelius era muito diferente dos atuais conceitos de potencial padrão de redução ou de eletronegatividade. Isso porque esta era definida em função da polaridade predominante da carga elétrica associada aos diferentes elementos, polaridade essa determinada por meio de eletrólise (em função do eletrodo, positivo ou negativo, no qual o elemento era liberado). Nesse sentido, estaria mais próxima de nossos atuais conceitos de carga e dipolo. Assim, Berzelius, ao afirmar que o oxigênio era o elemento mais eletronegativo ou que o potássio era o elemento mais eletropositivo, visualizava seus átomos como carregados com as maiores polaridades negativa ou positiva, respectivamente.

O sentido hoje conferido ao termo eletronegatividade é totalmente diverso: representa a tendência

que um átomo tem de atrair elétrons para si numa ligação química covalente numa molécula isolada. São muitas as formas de cálculo da eletronegatividade dos elementos, mas se considerarmos como exemplo a mais comum delas, a eletronegatividade de Pauling, podemos compreender claramente essa diferenciação de conceitos. Pauling propôs sua escala de eletronegatividade levando em conta que a energia de ligação de uma molécula gasosa binária A-B é igual à soma da média aritmética das energias de ligação (D) das moléculas gasosas A-A e B-B com o quadrado da diferença entre as eletronegatividades dos átomos A e B (x_A e x_B , respectivamente), isto é:

$$D_{(A-B)} = [D_{(A-A)} + D_{(B-B)}] + k (x_A - x_B)^2$$

sendo que, quando as energias de ligação são expressas em kJ mol^{-1} , a constante k é igual a $96,5 \text{ kJ mol}^{-1}$.

Com essa fórmula, é possível calcular diferenças de eletronegatividade; a seguir, fixando um valor arbitrário para uma delas (por exemplo, 2,1 para o hidrogênio), é possível obter os valores das outras. O valor de k foi escolhido por Pauling de modo que o valor da diferença de eletronegatividades correspondesse, aproximadamente, ao valor numérico do momento dipolar da molécula quando expresso em debyes ($1 \text{ D} = 3,3356 \times 10^{-30} \text{ C m}$).

Como as energias de ligação se referem a moléculas no estado gasoso, a eletronegatividade também se refere a moléculas isoladas.

O potencial padrão de redução, ao contrário da eletronegatividade, é uma propriedade de um sistema macroscópico, no equilíbrio. Para um par redox metálico, tem-se:



Os valores de potencial padrão de redução refletem somente as propriedades redox das espécies envolvidas, nada tendo a ver com a eletronegatividade. Assim, quanto mais positivo o valor de E° , mais forte é o agente oxidante (espécie que se reduz); complementarmente, quanto mais negativo for o valor de E° , mais forte será o agente redutor (espécie que se oxida). Por isso afirmamos que, numa tabela de potenciais padrão de redução, o poder oxidante dos reagentes aumenta à medida que E° se torne mais positivo.

Por sua vez, ao contrário do afirmado na maioria dos livros didáticos de Química, os valores de potenciais padrão de redução não são obtidos por uma medida experimental direta. Eles são obtidos indiretamente, por extrapolação, a partir de um gráfico adequado, montado com base em valores de potenciais de eletrodo obtidos para soluções diluídas da espécie

$\text{M}^{n+}(\text{aq})$, por exemplo. Em alguns casos, como por exemplo, para o par $\text{Na}^+(\text{aq})/\text{Na}(\text{s})$, a obtenção do valor de E° acarreta complicações adicionais, já que um eletrodo de sódio não é estável em contato com a água.

Por conseguinte, o conceito de potencial padrão de redução não tem nenhuma relação direta com o conceito de eletronegatividade. A gênese desses conceitos é desprezada freqüentemente em nossas aulas e nos livros didáticos. Conseqüentemente, evidencia-se o obstáculo verbal pelo não entendimento da alteração do significado científico do termo eletronegatividade no decorrer da história da ciência, ocasionando sua equiparação ao potencial padrão de redução.

Conclusões

É importante constatar que a problemática conceitual aqui abordada não é meramente uma

Ao contrário do afirmado na maioria dos livros didáticos de Química, os valores de potenciais padrão de redução não são obtidos por uma medida experimental direta, mas indiretamente por extrapolação, a partir de um gráfico adequado

questão de equívoco conceitual, gerado pelo desconhecimento químico. Existe, sim, um desconhecimento da gênese histórica dos conceitos, ou ainda, apesar de essa gênese ser conhecida, uma despreocupação com relação aos erros que podem ser induzidos no estudante pelo fato de não ser explicitado o processo de construção dos conceitos.

Existe, sim, um desconhecimento da gênese histórica dos conceitos, ou (...) uma despreocupação com relação aos erros que certamente serão induzidos no estudante pelo fato de não ser explicitado o processo de construção dos conceitos

Uma das formas de superar esses problemas está na preocupação com a análise mais ampla do conceito, seu processo histórico de produção. Por outro lado, devemos estar atentos à forma como os valores de uma grandeza são obtidos. Precisamos conferir maior atenção à precisão dos conceitos, inclusive atentando para as mudanças de significado que os termos sofrem ao longo da história das ciências. Assim, poderemos contribuir para que o processo de mediação didática produzido no contexto

escolar procure evitar a construção de equívocos e obstáculos à compreensão do conhecimento científico.

Agradecimento

Agradeço as sugestões do prof. Romeu C. Rocha-Filho para a elaboração deste artigo.

Notas

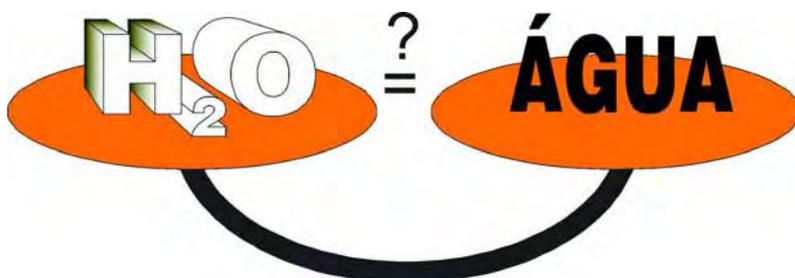
¹Os dados de eletronegatividade (escala de Pauling) foram obtidos da Classificação Periódica dos Elementos publicada pela SBQ (1995) e os de potencial padrão de redução, do livro de Emsley (1995).

Referências Bibliográficas

- BACHELARD, Gaston. *Le matérialisme rationnel*. Paris: Presses Universitaires de France, 1972. Tradução por Elsa de Laguzzi e Norma Castrillón. *El materialismo racional*. Buenos Aires: Paidós, 1976.
- CARVALHO, Geraldo Camargo de. *Química moderna*. São Paulo: Nobel, 1978. v. 2.
- EMSLEY, John. *The elements*. 2^a ed. Oxford: Clarendon Press, 1995.
- FELTRE, Ricardo & YOSHINAGA, Setsuo. *Química: segundo grau*. São Paulo: Moderna, 1977. v. 1.
- FONSECA, Martha Reis M. da. *Química Geral*. São Paulo: FTD, 1992.
- PARENTE, Leticia T. de S. *Eletronegatividade*. Fortaleza: Imprensa Universitária do Ceará, 1969.
- POLITI, Elie. *Química: curso completo*. São Paulo: Moderna, 1992.
- RHEINBOLDT, Heinrich. *História da balança. A vida de J.J. Berzelius*. São Paulo: Nova Stela / EDUSP, 1988.

Para saber mais

- COMPTON, Richard G. & SANDERS, Giles H. W. *Electrode potentials*. Oxford: Oxford University Press, 1996.
- LOPES, Alice R. C. Livros didáticos: obstáculos ao aprendizado da ciência química I - obstáculos animistas e realistas. *Química Nova*, São Paulo, v. 15, n. 3, p. 254-261, 1992.
- _____. Livros didáticos: obstáculos verbalistas e substancialistas ao aprendizado da ciência química. *Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos*, Brasília, v. 74, n. 177, p. 309-334, maio/ago., 1993.
- _____. Conhecimento escolar: quando as ciências se transformam em disciplinas. Tese de Doutorado. Faculdade de Educação, UFRJ, 1996.
- MACHADO, Andréa Horta & MOURA, André Luís. Concepções sobre o papel da linguagem no processo de elaboração conceitual em Química. *Química Nova na Escola*, São Paulo, n. 2, p. 27-30, nov., 1995.
- MORTIMER, Eduardo & MACHADO, Andréa Horta. As linguagens na sala de aula de Química/Ciências. *VIII ENEQ - Caderno de Resumos e Anais*. Campo Grande, julho de 1996, p. 28-37.



o Significado das Fórmulas QUÍMICAS

A descoberta do elétron abriu imensas possibilidades para a química. E provocou, de imediato, especulações sobre a estrutura do átomo, problema que levaria algumas décadas para ser resolvido. Um modelo adequado para a estrutura atômica resultou na possibilidade de se tratar a estrutura molecular como imagem de um objeto real. As fórmulas, que antes representavam simplesmente a proporção com que os elementos se combinavam para formar a substância, passaram a ser objeto de investigação por métodos espectroscópicos. A elucidação de estruturas moleculares passou a ser uma rotina na investigação química. O que significa, porém, dizer que uma substância tem esta ou aquela estrutura molecular?

Dizemos que a fórmula da água é H_2O . Às vezes, quando a representamos dessa maneira — simplesmente por duas letras e um número —, temos a sensação de nos apropriarmos da própria essência da água.

A água, como solvente universal, viabiliza a vida no planeta. É a única substância que, nas condições físico-químicas da Terra, apresenta-se nos três estados da matéria. O gelo tem a notável propriedade de ser um sólido menos denso que seu correspondente líquido: a maioria dos sólidos afunda em seus líquidos. O gelo flutua na água, e isso é fundamental para a vida no planeta, pois nas regiões frias os mares congelam apenas na superfície, preservando seu caldeirão de vida.

A água é evidentemente muito mais que um simples solvente universal. Quando matamos nossa sede ou nos banhamos nas águas límpidas de um riacho, “ela representa a soma dos olhos de toda a humanidade, porque no seu circular contínuo pelo ambiente já viveu a experiência de todas as lágrimas, desceu por todas as gargantas, visitou geleiras, montanhas, rios e oceanos e

Eduardo Fleury Mortimer

Faculdade de Educação da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte - MG

Neste artigo discute-se o significado de se atribuir fórmulas às substâncias - tomando como exemplo a água -, procurando apontar as possibilidades e limites dos modelos de estrutura molecular.

fórmulas químicas, água, ligações químicas

Este artigo foi publicado originalmente na revista *Química Nova na Escola* n. 3, 1996.

vem transitando pelos nossos corpos desde a aurora do planeta”¹.

Mesmo do ponto de vista científico, vale a pena discutir qual o significado de atribuirmos uma fórmula simples a uma substância tão maravilhosa como a água. Quando Lavoisier anunciou à Academia de Ciências de Paris, em 1783, que a água era composta por hidrogênio e oxigênio, estava propondo uma maneira de definir um elemento químico completamente diferente da visão aristotélica: um elemento poderia ser definido experimentalmente como qualquer substância que não pudesse ser decomposta por métodos químicos. Quando John Dalton propôs a teoria atômica em 1803, sugeriu a interpretação de que cada elemento fosse constituído por uma única espécie de átomos. Em uma reação química, os átomos de diferentes elementos poderiam combinar-se para formar moléculas (chamadas por Dalton de ‘átomos compostos’), que seriam a menor unidade da substância composta. Para Dalton, um átomo de hidrogênio combinava-se com um átomo de oxigênio para formar a molécula de água - que teria a fórmula HO. Gay-Lussac, seguindo os trabalhos de Cavendish e Priestley, verificou que na formação da água dois volumes de hidrogênio combinam-se com um volume de oxigênio. Logo após a publicação desses resultados por Gay-Lussac, em 1808, Berzelius sugeriu a fórmula H₂O para a água. A idéia de fórmula química surgiu, portanto, como uma forma de expressar as quantidades das substâncias elementares que se combinam.

A partir da segunda metade do século XIX, os químicos começaram a usar as fórmulas como uma representação espacial da molécula, que poderia explicar várias propriedades das substâncias. As fórmulas químicas passavam a representar não só as quantidades combinadas mas também a

Durante a segunda metade do século XIX, o esforço criativo de químicos permitiu que se passasse a ‘enxergar’ a realidade molecular a despeito de não haver nenhuma evidência direta de que essa realidade realmente existisse

realidade molecular, permitindo antever como os átomos que constituíam a molécula estavam distribuídos no espaço e de que forma se ligavam uns aos outros. É interessante observar que, durante a segunda metade do século XIX, o esforço criativo de químicos como Kekulé, Le Bell, Van’t Hoff etc. permitiu que se passasse a ‘enxergar’ a realidade molecular, a despeito de não haver nenhuma evidência direta de que essa realidade realmente existisse. A imaginação criativa desses cientistas permitia que deduzissem essas fórmulas a partir do estudo das propriedades das substâncias. Pode ser mais que uma feliz coincidência, por exemplo, o fato de Kekulé ter sido arquiteto: assim como os arquitetos constroem seus edifícios na imagi-

nação e no papel antes que esses tomem forma na realidade, os químicos de então foram capazes de prever estruturas químicas que só se tornaram observáveis muitos anos mais tarde.

A teoria quântica, aplicada à química a partir da década de 30 de nosso século, introduz um significado mais preciso à idéia de valência que fora usada para explicar o poder de combinação dos elementos. O átomo é representado como sendo constituído por duas regiões de cargas diferentes. O núcleo, situado numa região infinitamente pequena no centro do átomo, tem carga positiva, pois é constituído por prótons (de carga positiva) e nêutrons (de carga neutra). Ao redor desse núcleo situam-se os elétrons (de carga negativa), numa região cerca de 100 000 vezes maior que o núcleo, denominada eletrosfera. A ligação química passa a representar um interação de natureza eletromagnética que ocorre entre os núcleos (carregados positivamente) e as eletrosferas (carregadas negativamente) de átomos vizinhos. O ‘tracinho’ com que ligamos os átomos de hidrogênio e oxigênio na fórmula da água representa na verdade uma região do espaço ocupada por elétrons que estão sendo atraídos pelos dois núcleos vizinhos (o do oxigênio e o do hidrogênio). Ele não tem a realidade física de um elo material, apenas representa uma interação ou força elétrica que tem uma direção preferencial. Uma outra forma de representar essa ligação seria uma nuvem eletrônica. Compare as duas representações na Fig. 1. O

fato de a primeira representação ser mais usual está ligado a sua simplicidade. No entanto, do ponto de vista de uma maior aproximação da natureza da ligação química, a segunda representação é mais conveniente.

Uma das propriedades fundamentais da água é o fato de ela ser um solvente muito melhor que a maioria dos líquidos comuns. Essa propriedade está relacionada à polaridade da molécula de água, explicável pela existência de um ângulo de $104,5^\circ$ entre as ligações O-H. Como os átomos de oxigênio atraem os elétrons da ligação mais intensamente, aparece uma carga parcial positiva nos átomos de hidrogênio e uma carga parcial negativa no átomo de oxigênio. Se a molécula de água fosse linear - com um ângulo de 180° entre as ligações O-H, a polaridade de uma ligação anulava a da outra, e a molécula seria apolar. É o que acontece, por exemplo, no gás carbônico, CO_2 .

Sendo polares, as moléculas de água podem hidratar íons e outras moléculas polares. No processo de solvatação, representado na Fig. 2, íons positivos e negativos ficam envoltos por moléculas de água, orientadas de maneira diferente em cada caso. Enquanto para os íons positivos é a região negativa da molécula de água (próxima do átomo de oxigênio) que envolve os íons, para os íons negativos é a região positiva (próxima dos átomos de hidrogênio) que desempenha esse papel.

A forte polaridade da molécula de água faz com que apareça um tipo de ligação especial entre as moléculas de água chamada ligação de hidrogênio, formada quando os átomos de oxigênio de uma molécula atraem os átomos de hidrogênio da molécula vizinha. Na Fig. 1b, os orbitais vazados comportam dois pares de elétrons não-ligantes do átomo de oxigênio, que podem formar as ligações com o hidrogênio, que está parcialmente positivo. Cada molécula de água pode, dessa forma, acomodar um número máximo de quatro ligações de hidrogênio: duas através dos orbitais do oxigênio e duas através dos átomos de hidrogênio que vão acomodar duas outras moléculas de água. A Fig. 3 mostra como esse arranjo ocorre no gelo.

A existência desse tipo de ligação explica várias propriedades importantes da água. O fato de a água ser líquida à temperatura ambiente é um deles. Moléculas maiores que a água — como CO_2 e NH_3 (amônia) - são gasosas. A forte atração existente entre as moléculas de água, através das ligações de hidrogênio, explica essa propriedade incomum. Por outro lado, a notável propriedade de o gelo ser menos denso que a água líquida está relacionada ao fato de cada molécula de água formar o número máximo de quatro ligações de hidrogênio com suas vizinhas no estado sólido. No estado líquido, cada molécula pode formar, em média, 3,4 ligações de hidrogênio com suas vizinhas. Esse número fracionário se explica pelo fato de que, em consequência do constante deslocamento das moléculas no estado líquido, ligações de hidrogênio são,

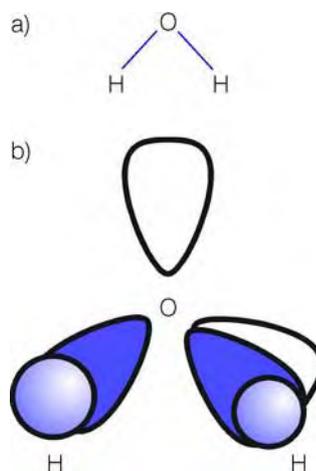


Figura 1 – Representações para a molécula de água. a: representação mais usual; b: representação usando orbitais.

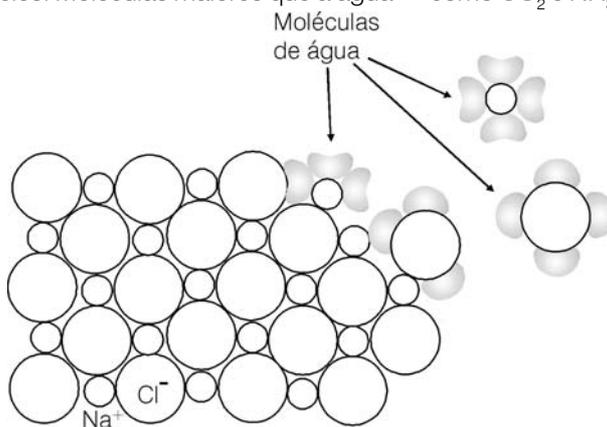


Figura 2 – Modelo para a solvatação dos íons de um sólido iônico.

constante e rapidamente, quebradas e formadas. Embora em qualquer instante a maioria das moléculas na água líquida esteja formando ligações de hidrogênio, a vida média de cada uma dessas ligações é da ordem de 10^{-9} s. Isso explica por que a água líquida é fluida. Se as ligações de hidrogênio persistissem por um tempo maior, a água tenderia a se tornar viscosa, como acontece com a glicerina, que também forma ligações de hidrogênio entre suas moléculas.

Quando a água passa para o estado sólido, cada molécula de água passará a acomodar um número máximo de quatro ligações de hidrogênio. Como as moléculas no estado sólido geralmente não se deslocam — apenas vibram em torno de suas posições no retículo cristalino — essas ligações de hidrogênio são duráveis. Para acomodar esse grande número de ligações, o arranjo cristalino do gelo é bastante 'aberto', pois as moléculas acomodam-se em arranjos hexagonais, restando grandes espaços vazios no interior desses

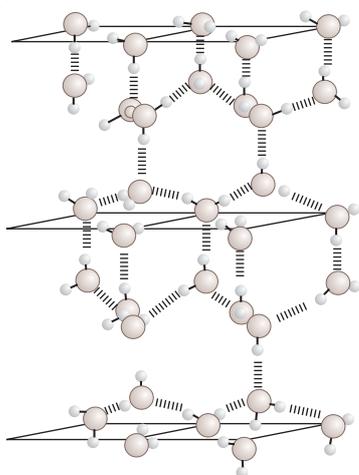


Figura 3 – Arranjo cristalino das moléculas de água no gelo.

hexágonos (Fig. 3). Isso faz com que o arranjo ocupe um volume maior, o que explica a menor densidade do gelo. Quando o gelo se funde, esses vazios desaparecem e as moléculas de água podem ficar mais próximas umas das outras, o que faz com que o volume ocupado por elas diminua, aumentando a densidade.

É problemático, portanto, pensar na existência de moléculas individuais na água sólida e na água líquida. Essas moléculas estão constantemente se ligando a outras, formando grupos de moléculas. Portanto, a fórmula H_2O parece ser realmente apropriada somente para a água no estado gasoso, a baixas pressões e altas temperaturas. A água gasosa, sendo constituída por moléculas individuais, não é visível e não deve ser confundida com o vapor que vemos saindo de uma chaleira fervente. O 'vapor' visível é água líquida que se condensou em pequenas gotículas que permanecem em suspensão no ar. As gotículas têm dimensões visíveis, o que não ocorre com as moléculas, que são invisíveis.

Mesmo a idéia de que a água gasosa seja formada por moléculas individuais não pode deixar de considerar que essas moléculas são dinâmicas e podem trocar átomos entre si. A idéia da existência de moléculas individuais no estado gasoso tem de ser compatibilizada com a observação experimental de que, ao se misturar, na fase gasosa, 50% de água comum (H_2O) e 50% de água pesada (D_2O , onde D representa deutério, um isótopo mais pesado do hidrogênio), obtêm-se, depois de certo tempo, uma grande quantidade de moléculas de água com a fórmula HDO. As moléculas de água interagem dinamicamente no estado gasoso.

Todas essas considerações nos levam a concluir que a fórmula química da água — H_2O — é um importante instrumento para explicar várias de suas propriedades, inclusive as mais notáveis e incomuns. No entanto, a fórmula nada mais é que uma representação da substância. Como tal devemos usá-la, apropriando-nos das informações que ela pode nos fornecer mas tomando o cuidado de não a confundir com a realidade mesma da substância água, muito mais complexa e profunda do que aquilo que duas letras do alfabeto e um número permitem antever.

Nota

¹Alfeu Trancoso, em "Reflexões no Cipó", *Estado de Minas*, 18 de novembro de 1994.

Para Saber Mais

BELTRAN, Nelson Orlando. Por que a água se dilata ao ser congelada? *Revista de Ensino de Ciências* n° 17, março de 1987, São Paulo, p. 58-59.

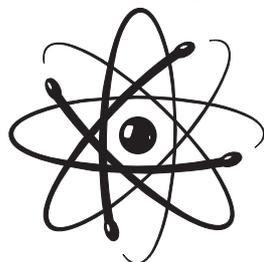
Ligação Química:

Abordagem

Clássica

OU

Quântica?



O meio material ao nosso redor, com suas formas, propriedades e valores, reflete a enorme variedade de maneiras como os átomos se ligam para formar compostos. Por isso, as ligações químicas representam um assunto de fundamental importância, e seu conhecimento é essencial para um melhor entendimento das transformações que ocorrem em nosso mundo. Algumas substâncias, como as que compõem os alimentos e combustíveis, fornecem energia mediante a quebra e a formação de ligações químicas; outras interagem dando origem a novos compostos ou facilitam a dissolução de resíduos em um meio fluido (solventes, detergentes). Desse modo, a dinâmica das ligações químicas acaba regendo a nossa vida.

A explicação do meio material pode ser feita utilizando-se modelos propostos para as ligações químicas, e está longe de ser uma questão fechada, em termos científicos ou pedagógicos. Um exemplo disso é o artigo escrito por Ogilvie (1990) sobre ligações químicas, no qual o autor expressa com convicção: *There are no such things as orbitals!* ("Órbitais não existem!"). A resposta a essa provocação foi dada magistralmente por Pauling (1992), em artigo que resgata o uso da mecânica quântica para tratar das ligações químicas.

Modelos de ligações

A escolha do modelo no ensino de ligações químicas deve ser compatível com o modelo atômico adotado, conforme destacado por Chassot (1996), e ao mesmo tempo, adequar-se aos objetivos de ensino-aprendizagem, fornecendo a base necessária para o desenvolvimento cognitivo do aluno. O uso de orbitais na descrição de estruturas, ligações e propriedades é generalizado nos cursos de química no ensino superior; contudo, a transpo-

Henrique E. Toma

Instituto de Química da Universidade de São Paulo, São Paulo - SP

Este artigo procura ressaltar que os modelos de ligação química não são absolutos; ao contrário, são construções de uma outra ordem de realidade — a realidade do mundo infinitamente pequeno — que só podemos compreender com o uso de teorias que se modificam com o desenvolvimento da ciência. A partir das teorias analisadas, podemos refletir sobre qual modelo de ligação devemos ensinar a nossos alunos no nível médio, de modo que seja compatível com o modelo atômico adotado e com as explicações que pretendemos desenvolver a partir desses modelos.

*ligação química, Lewis, Linnett, Mulliken,
modelo de bandas*

Este artigo foi publicado originalmente na revista *Química Nova na Escola* n. 6, 1997.

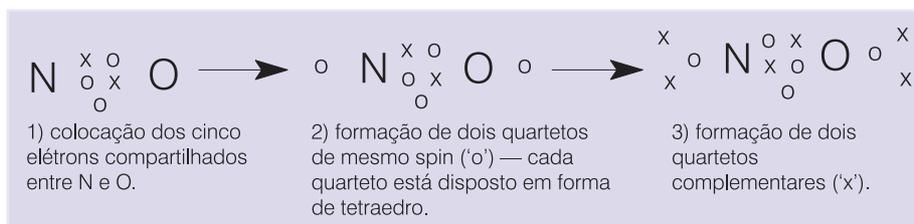
sição para o ensino médio ainda requer cuidados. De fato, o aluno passará a ter necessidade de modelos quânticos (orbitais) quando a descrição dos compostos e materiais se basear na distribuição espacial dos átomos e elétrons e na dinâmica das transformações. Essa necessidade deverá se expandir com a crescente popularização dos programas computacionais de modelagem (simulação) molecular e realidade virtual em todos os níveis do ensino.

As teorias atuais sobre ligação química foram em grande parte inspiradas na idéia da união por meio de pares de elétrons, proposta por G.N. Lewis em 1916, logo após o lançamento da teoria de Bohr. A ligação ficaria representada por meio de dois pontos, que seriam os elétrons, colocados entre os símbolos dos elementos, ou por um traço, simbolizando a união. Na concepção de Lewis, os dois elétrons da ligação são atraídos eletrostaticamente pelos dois núcleos atômicos, sendo compartilhados por eles. Associada a esse modelo de ligação está a teoria do octeto. Segundo Lewis, os elétrons ficariam dispostos ao redor do núcleo de modo a minimizar a repulsão entre eles mesmos. O número máximo de elétrons de valência seria oito, com exceção dos elementos do primeiro período (H, He). O octeto de Lewis, embora seja normalmente representado por oito pontos ao longo de um círculo ou por quatro pares de pontos ao redor do símbolo do elemento, na realidade expressa a disposição espacial de um cubo, pois é a geometria que conduz à menor repulsão entre os elétrons. Com a movimentação dos elétrons, a disposição cúbica acaba por tornar-se uma distribuição esférica ao redor do núcleo.

Na idéia de compartilhamento eletrônico, está inerente a questão da afinidade dos átomos por elétrons (afinidade eletrônica, potencial de ionização), bem como a questão da igualdade ou desigualdade com que esses são atraídos pelos núcleos. A afinidade associa-se ao conceito de valência como maneira de expressar a capacidade de combinação dos átomos. Para tratar das desigualdades atômicas, Pauling introduziu o conceito de eletronegatividade (em termos de energias de ligação), que foi reeditado sob várias formas - por exemplo, por Mulliken, em termos de potenciais de ionização e afinidade eletrônica, e por Allred-Rochow, em termos da força de atração do núcleo pelo elétron da ligação.

A ligação química apresenta três características importantes: polaridade, distância e energia. Essas características podem ser avaliadas experimentalmente, e fazem parte do banco de dados do químico. A eletronegatividade permite racionalizar a assimetria das cargas na ligação, explicando o aparecimento de dipolos elétricos, e conduz naturalmente ao problema da separação de cargas, que leva à formação de íons. Ao mesmo tempo, é útil na previsão de distâncias e energias de ligação.

J.W. Linnett ampliou o modelo de Lewis de forma a assimilar o Princípio de Pauli. Conseqüentemente, conforme descrito por Luder (1967), o par eletrônico deve ser representado por dois elétrons de spins opostos, e o octeto passa a ser constituído por dois quartetos de elétrons, diferenciados pelos spins. Enquanto no modelo de Lewis os elétrons são representados da mesma forma ('o', por exemplo), no modelo de Linnett os diferentes spins são representados por símbolos distintos (por exemplo 'o', 'x'). Mantendo a distribuição cúbica, os elétrons de mesmo spin ficam dispostos se-



gundo os vértices de um tetraedro, aumentando ao máximo a distância entre si de modo a minimizar a repulsão. O resultado conduz a dois tetraedros geminados, formando um cubo. Dois elétrons de spins opostos ficam unidos pela aresta do cubo separados, portanto, por uma distância menor que a observada entre dois elétrons de mesmo spin. O uso dos quartetos duplos preserva a simplicidade do octeto e permite a colocação dos spins, possibilitando tratar de propriedades magnéticas e de ordens de ligação fracionárias, ao contrário do que acontece com o modelo de Lewis.

Um exemplo interessante onde se faz necessário o uso de quartetos duplos é o da molécula de NO. Com um total de 11 elétrons de valência, seria necessário compartilhar cinco elétrons entre os dois átomos. Por isso, não é possível construir uma estrutura de Lewis com octetos completos. Entretanto, na teoria dos quartetos duplos, basta compartilhar três elétrons de mesmo spin ('o') e dois de spins contrários ('x'). Na realidade, é a única opção. Com isso, a montagem da estrutura de Linnett poderia ser feita como explicado no quadro abaixo.

A representação espacial da distribuição eletrônica requer um pouco de imaginação, lembrando sempre que cada quarteto de elétrons está disposto em forma de tetraedro. Como pode ser visto, a molécula apresenta uma ordem de ligação fracionária igual a 2,5, existindo no balanço global um elétron desemparelhado, compatível com o caráter paramagnético observado experimentalmente.

Abordagem quântica da ligação química

O modelo de Lewis é bastante útil na descrição qualitativa das ligações químicas. Porém, quando se quer discutir questões energéticas, geometrias ou aspectos de natureza espectroscópica, torna-se necessário lançar mão de teorias quânticas que enfocam a ligação química em termos da combinação de orbitais. Esse tipo de abordagem exige o ensino do modelo quântico para o átomo, e considera que quando dois átomos se ligam, o compartilhamento eletrônico se dá pela combinação dos orbitais que estão interagindo. Os dois orbitais atômicos são representados pelas funções de onda Ψ_A e Ψ_B . O resultado dessa combinação é a formação de novos orbitais estendidos sobre os dois átomos, denominados orbitais moleculares. Essas idéias constituem a base da Teoria dos Orbitais Moleculares, proposta por R.S. Mulliken, em 1932.

De modo geral, um orbital molecular de uma molécula AB - isto é, Ψ_{AB} - pode ser descrito por uma combinação linear (soma ou diferença) dos orbitais atômicos localizados em A e em B, respectivamente ($\Psi_{AB} = c_A\Psi_A \pm c_B\Psi_B$). A combinação dos dois orbitais pode ocorrer em proporções variáveis, expressas pelos coeficientes c_A e c_B . Quando os orbitais são equivalentes, como é o caso dos orbitais 1s na molécula de H_2 , esses coeficientes são iguais, isto é, $c_A = c_B$. Esses coeficientes diferem cada vez mais à medida que aumenta a diferença de energia entre os orbitais. Quando $c_A \gg c_B$, a participação do Ψ_A é dominante e o orbital molecular Ψ_{AB} se assemelha a Ψ_A e vice-versa. Isso equivale a dizer que os elétrons não são compartilhados eqüitativamente, podendo ficar a maior parte do tempo em A ou em B, dependendo dos valores relativos de c_A e c_B . Isso está relacionado com a diferença de eletronegatividade entre os elementos.

Na mecânica quântica, as energias são calculadas por meio da equação de Schrödinger, cuja representação genérica é do tipo $H\Psi_{AB} = E\Psi_{AB}$, sendo H, conhecido como operador hamiltoniano, uma expressão matemática dos termos energéticos da molécula, englobando por exemplo a energia cinética dos elétrons, a atração dos núcleos pelos elétrons de ligação, a repulsão entre os elétrons e a repulsão internuclear.

A solução da equação de Schrödinger sempre conduz a dois valores de energia, E^+ e E^- , associados às combinações, por soma ou diferença, dos orbitais atômicos. A solução E^+ , de menor energia, provém da combinação dos orbitais atômicos com o mesmo sinal, formando um orbital molecular denominado ligante que leva à estabilização da molécula. A solução E^- provém da

combinação dos orbitais atômicos com sinais opostos, produzindo um orbital molecular de maior energia denominado antiligante. Uma ilustração desses orbitais pode ser vista na Figura 1.

O diagrama de energia dos orbitais moleculares mostra que a formação da ligação química está relacionada à estabilização proporcionada pelo preenchimento do orbital ligante. Quando colocamos elétrons nos orbitais antiligantes, diminuímos essa estabilização. A combinação por soma leva a um reforço na densidade eletrônica entre os núcleos, de modo que os elétrons possam promover uma aproximação dos mesmos, resultando em uma ligação. Por outro lado, a combinação por diferença desloca a densidade eletrônica da região internuclear para as extremidades opostas, deixando os núcleos atômicos expostos a uma interação fortemente repulsiva. A ocupação desse orbital por elétrons favorece a quebra da ligação (dissociação).

A teoria dos orbitais moleculares permite expressar a ordem da ligação em termos da metade da diferença entre o número de elétrons ligantes e o de antiligantes. Assim, na molécula de H_2 , como só existem dois elétrons em orbital ligante, a ordem da ligação será 1, isto é, equivalente a uma ligação simples. No caso de uma molécula hipotética de He_2 , teríamos dois elétrons ligantes e dois antiligantes, e a ordem de ligação seria nula. De fato, o hélio é um gás nobre e não forma moléculas estáveis. Contudo, a teoria prevê a existência da molécula-íon He_2^+ com ordem de ligação 1/2. A força da ligação depende da energia de interação entre dois orbitais, também chamada de energia de ressonância. Quando os orbitais estão muito distantes, apresentam simetrias que não permitem um recobrimento efetivo ou têm energias muito diferentes, sua interação é diminuída.

A descrição dos orbitais moleculares como ligantes ou antiligantes pode oferecer dificuldades para o aluno principiante. Nesse ponto deve-se lembrar que os orbitais antiligantes contribuem para a composição dos vários estados de energia da molécula, os quais podem ser monitorados por meio de técnicas espectroscópicas. Portanto, não se trata de ficção científica. Uma das consequências mais óbvias da existência dos orbitais moleculares é o aparecimento da cor nos compostos.

O modelo de bandas

A teoria de bandas admite vários formalismos; um deles estende a teoria dos orbitais moleculares para um número grande ou infinito de átomos. Assim como a combinação de dois orbitais atômicos conduz a dois orbitais moleculares, a combinação de n orbitais atômicos dará origem a n orbitais moleculares, porém com forte superposição, formando uma banda de orbitais (Fig. 2).

A situação mais simples no diagrama é a do átomo isolado ($n = 1$) ou de moléculas pequenas ($n = 2, 3, \dots$), para os quais todos os níveis são discretos. A situação intermediária, com bandas de valência separadas umas das outras, é típica dos elementos não metálicos encadeados. Nes-

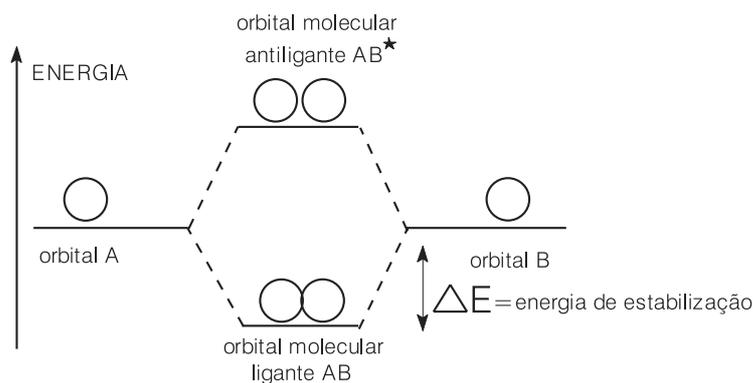


Figura 1 – Representação de um diagrama simplificado de orbitais moleculares.

ses elementos, o último nível com elétrons está completo e encontra-se separado do nível vazio mais próximo por uma diferença significativa de energia (ΔE), como pode ser visto na Figura 2. A condução eletrônica exige a promoção dos elétrons da banda cheia para a banda vazia (banda

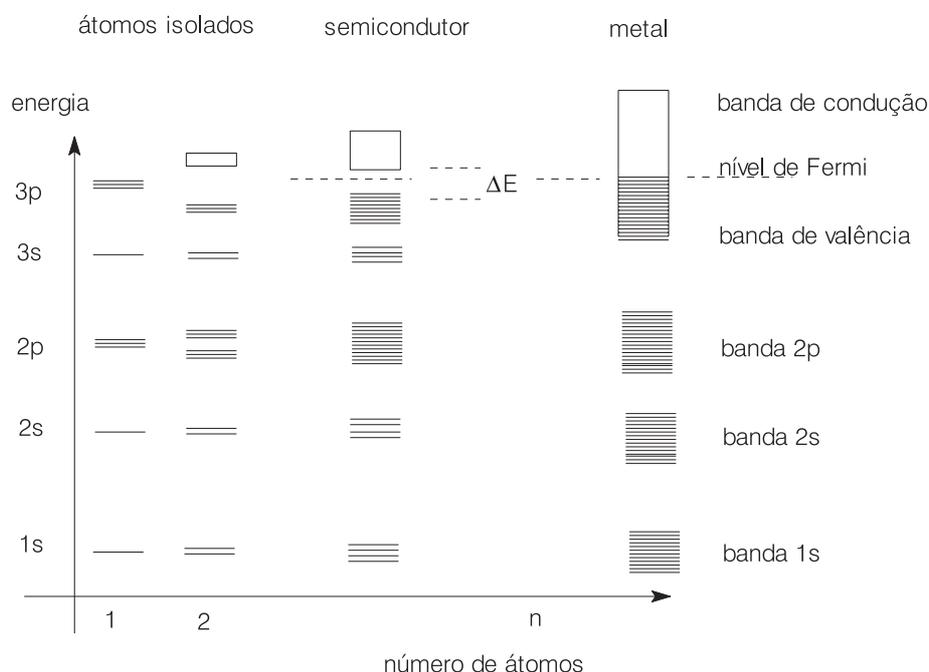


Figura 2 – Extensão dos orbitais moleculares mostrando a multiplicação dos níveis com o aumento do número de átomos, até formar bandas de orbitais moleculares.

de condução), mediante, por exemplo, energia térmica ou de luz. Em princípio, um elemento não metálico pode tornar-se condutor à custa de uma energia de promoção igual à diferença de energia entre os níveis ocupado e vazio. Quando essa energia não é muito grande, os sistemas são considerados semicondutores.

No estado metálico ocorre forte superposição entre a banda cheia e a banda vazia superior, de modo que a passagem do elétron para a banda de condução exige uma quantidade insignificante de energia ($\Delta E \approx 0$). Também é possível que a última banda eletrônica esteja apenas parcialmente preenchida, apresentando vacância para condução, sem necessidade da interpenetração energética com o nível vazio superior. Nesse caso, também se observa um caráter metálico.

Nos sistemas metálicos, os elétrons se distribuem dentro da banda como se fossem um fluido dentro de um copo. O limite de separação entre a parte ocupada e a vazia equivaleria à superfície do líquido, isto é, forma um nível de ocupação bem-definido. Esse nível é denominado limite de Fermi. Nos semicondutores, um aumento de temperatura favorece a condução, contribuindo para a promoção dos elétrons para a banda vazia. Nos metais, o aumento de temperatura tem efeito contrário, dificultando a condução eletrônica pelo aumento da resistência ao percurso dos elétrons, devido à vibração térmica da rede.

Os elementos dos grupos 13 (Al, Ga, In) e 15 (P, As, Sb), quando combinados, formam materiais semicondutores de grande aplicação prática, principalmente em dispositivos eletro-ópticos, isto é, que convertem energia elétrica em energia luminosa ou vice-versa. O arseneto de gálio, GaAs, por exemplo, tem um ΔE de 138 kJ/mol e, quando conduz corrente, os elétrons da banda de condução podem decair para a banda de valência com emissão de luz - no caso, com comprimento de onda de 870 nm (infravermelho próximo). Esse é o princípio do funcionamento do dispositivo conhecido

como LED (*light-emitting diode*) e de lasers semicondutores.

Manipulando ligações químicas na Era da Informática

O desenvolvimento vertiginoso da computação vem tornando acessíveis inúmeros programas de modelagem molecular baseados em mecânica molecular (clássica) ou em mecânica quântica. Esse tipo de recurso já está sendo usado nos cursos de graduação em química, e com certeza chegará ao ensino médio. Na mecânica molecular, trabalha-se com forças de campo; os movimentos atômicos são descritos por constantes de força (como as de oscilador harmônico) de estiramento e torção. Além disso, incluem-se barreiras conformacionais, interações eletrostáticas, pontes de hidrogênio e forças de dispersão como a de van der Waals. As equações usadas são relativamente simples, e o cálculo de uma estrutura molecular pode ser feito com o auxílio de parâmetros experimentais como as já conhecidas constantes de força. A energia total é dada pela soma de todas as energias (ligação, torção, conformacional, eletrostática, van der Waals e pontes de hidrogênio), que por sua vez depende de distâncias, ângulos e cargas. Essas variáveis podem ser alteradas gradualmente até se chegar ao mínimo de energia, situação que define a geometria mais estável da molécula.

Os cálculos de mecânica molecular podem ser conduzidos em níveis altamente sofisticados, sendo de interesse, principalmente, na previsão da estrutura e atividade de fármacos e na construção de sistemas com capacidade de reconhecimento molecular. Sob o ponto de vista didático, a modelagem molecular permitirá que o aluno explore em detalhes a estrutura tridimensional das moléculas, reconhecendo aspectos conformacionais e estéricos.

A outra opção faz uso da mecânica quântica. Estruturas moleculares podem ser simuladas a partir da solução da equação de Schrödinger, utilizando programas de computador que têm evoluído continuamente. Existem vários programas executáveis em microcomputadores pessoais que podem ser usados por estudantes de cursos introdutórios de química. Atualmente, os métodos de mecânica molecular seriam os mais adequados para alunos de ensino médio.

Ligação química: a visão atual

A visão sobre a ligação química não pode se restringir ao compartilhamento de um par de elétrons entre dois átomos, ou à idéia de um par de elétrons ocupando um orbital molecular formado pela combinação de dois orbitais atômicos. A idéia de orbitais deslocalizados, como no caso do benzeno e do grafite, deve ser explorada, para explicar a equivalência das distâncias C-C do primeiro e as propriedades condutoras do segundo. Esse modelo poderá ser facilmente ampliado para explicar a existência de polímeros condutores (poliacetileno, polianilinas e polipirróis), fios moleculares e materiais supercondutores.

A estrutura de biomoléculas como o DNA permite mostrar a importância das ligações de hidrogênio e a complementaridade das bases nucleicas. Outra oportunidade interessante para discutir as interações de hidrogênio é fornecida pela piezoelectricidade em cristais de dihidrogenofosfato de potássio, KH_2PO_4 , onde os dipolos elétricos oscilam ao longo das ligações P-O-H...O-P pelo simples deslocamento do átomo de hidrogênio que atua como ponte. A partir do conhecimento das interações intermoleculares, o aluno poderá entender o significado do reconhecimento molecular, bem como discutir a questão da inteligência molecular.

Com a exploração sistemática dos vários tipos de ligações, o aluno terá maior contato com os aspectos espaciais (tridimensionais) da química, passará a perceber a existência dos elementos de simetria nas moléculas e materiais, e talvez venha a ter uma nova visão estética do mundo em que vive.

Referências bibliográficas

OGILVIE, J.F. The nature of the chemical bond - 1990, *Journal of the Chemical Education*, v. 67, n.4, p. 281-289, 1990.

PAULING, L. The nature of the chemical bond - 1992, *Journal of the Chemical Education*, v. 69, n. 7, p. 519-521, 1992.

CHASSOT, A. Sobre prováveis modelos de átomos, *Química Nova na Escola*, n. 3, p. 1, 1996.

LUDER, W. F., *The electron-repulsion theory of the chemical bond*. New York: Reinhold Publishing Corp., 1967.

Para saber mais

Para obter um questionamento à idéia da molécula como objeto real e uma abordagem crítica das concepções clássicas de ligação química, ver:

MORTIMER, E. Para além das fronteiras da química: relações entre filosofia, psicologia e ensino de química. *Química Nova*, v. 20, n. 2, p. 200-207, 1997.

MORTIMER, E. O significado das fórmulas químicas. *Química Nova na Escola*, n. 3, p. 19-21, 1996



Estrutura Molecular

o conceito fundamental da química

José Glauco Ribeiro Tostes
Universidade Estadual do Norte
Fluminense, Campos - RJ

1880: Estrutura molecular

A ciência química, ao menos nos cem últimos anos, desenvolveu-se em torno de um grande e fundamental conceito unificador: a estrutura molecular. O químico vem, nesse mesmo período, identificando química com estrutura molecular. O químico é como que um profissional das moléculas, e quando 'pensa' nelas ele tem como objeto um arranjo tridimensional muito bem definido dos átomos que constituem cada molécula em particular no espaço. Exemplo: o arranjo planar e angular de dois hidrogênios e um oxigênio na água e o arranjo tetraédrico dos quatro hidrogênios em torno do carbono no metano etc.

Não é difícil entendermos o porquê desse caráter fundamental do conceito de estrutura molecular para o químico. Tomemos inicialmente os átomos. Eles são em um número um pouco superior a cem (ver a tabela periódica). Apenas pouco mais de cem. E o número de moléculas conhecidas hoje? Cerca de dez milhões. Não seria possível uma mesma ciência, um mesmo tratamento científico desses dez milhões de unidades sem um conceito ou modelo unificador de suas estruturas e propriedades físicas. Esse conceito reside justamente em descrever cada molécula como um arranjo tridimensional específico a partir de cerca de apenas cem tipos de 'blocos básicos': os átomos.

Evidentemente os químicos precisavam, antes de tudo, entender bem a estrutura e as propriedades de cada um desses cerca de cem tipos de tijolos atômicos. Depois, precisaram responder a uma questão fundamental - e é dela que trata o presente texto - sobre cada arquitetura molecular: por que uma dada molécula (como a da água) tem exatamente uma geometria específica e não qualquer outro arranjo espacial de seus átomos constituintes? A

Como o próprio título enfatiza, este artigo apresenta uma abordagem sobre um conceito central em nossas aulas de química: a estrutura molecular. São apresentados os limites da mecânica clássica para a interpretação do conceito de estrutura molecular, o desenvolvimento desse conceito pela mecânica quântica e as controvérsias quanto à utilização desse modelo de modo puramente quântico.

*estrutura molecular, mecânica quântica,
interação molecular*

Este artigo foi publicado originalmente na revista *Química Nova na Escola* n. 7, 1998.

partir dessa resposta, os químicos concluíram que nesse arranjo ou geometria privilegiada de cada molécula, os átomos constituintes permanecem praticamente sem deformações em relação a sua estrutura original quando ainda não ligados. Apesar de todos os avanços da química teórica, é exatamente isso que permite ao químico, essencialmente, manter o modelo tradicional da estrutura molecular como arranjo tridimensional dos átomos constituintes. É importante acrescentar que essa mesma geometria privilegiada permanece praticamente inalterável mesmo quando, em fase condensada (fases líquida ou sólida), as moléculas se aproximam e interagem entre si de modo mais apreciável. Ou seja, o mesmo modelo de estrutura molecular é válido nos três estados da matéria. Essa notável 'resistência' da estrutura molecular quando em fase condensada não será abordada no presente texto.

Mecânicas

As respostas às questões acima envolvem o que podemos denominar 'teoria padrão' dos 300 últimos anos da história das ciências naturais: a descrição dos fenômenos em termos de modelos mecânicos, a começar pela mecânica clássica ou newtoniana.

Como acontece com todas as mecânicas, a mecânica clássica começa com uma equação fundamental e geral: a 'equação do movimento', cuja forma mais adequada é $E = T + V$ (energia total do sistema, que vamos admitir constante, é igual à soma das energias cinética e potencial das partículas do sistema). Para um dado sistema de n partículas que interagem entre si sob um dado potencial (por exemplo: potencial gravitacional, potencial eletrostático de Coulomb etc.), podemos prever no tempo todas as outras configurações subseqüentes, se fornecermos uma configuração ou arranjo espacial dessas partículas com as velocidades iniciais de cada uma delas. Essa é a solução da equação do movimento: a descrição espaço-temporal das partículas do sistema.

Infelizmente, essa mecânica mostrou-se incapaz de responder sequer à questão central acima formulada por volta de 1880: por que uma molécula tem uma dada geometria privilegiada e não qualquer outra? Do ponto de vista de uma descrição mecânica em termos de energia, isso equivale a perguntar sobre a estabilidade molecular: por que há uma geometria molecular particularmente estável, ou seja, com uma energia total notavelmente baixa em relação a todos os outros arranjos espaciais possíveis? Foi preciso uma nova mecânica - somente disponível em 1926 - para responder a essas e a outras questões acerca das propriedades físicas do mundo atômico-molecular. É a mecânica quântica.

Essa nova mecânica também parte de uma equação fundamental do 'movimento' que tem semelhança ao menos formal com a equação-mãe da mecânica newtoniana: $E\Psi = T\Psi + V\Psi$. É a equação de Schrödinger. A solução que objetivamos ao resolver essa equação agora consiste em obter a 'função de onda' Ψ do sistema (por exemplo, um átomo ou uma molécula). Essa função não mais fornece a evolução espaço-temporal das partículas do sistema, e aliás nem tem relação direta, ela mesma, com nenhum dado experimental. No entanto, é o principal instrumento para calcularmos (e daí testarmos em laboratório) valores de qualquer variável fisicamente significativa desse mesmo sistema. Por isso, Ψ é também denominada 'descrição completa do sistema'.

Como acontece com todas as mecânicas, a mecânica clássica começa com uma equação fundamental e geral: a 'equação do movimento': $E = T + V$. Também a mecânica quântica tem a sua equação fundamental do 'movimento': $E\Psi = T\Psi + V\Psi$

1930: Estrutura molecular e mecânica quântica

Por volta de 1927, essa nova mecânica começou a ser aplicada com sucesso para descrever as

estruturas de átomos e moléculas. No caso de átomos, tem-se a estrutura de camadas eletrônicas, com cada elétron aproximadamente descrito por uma função de onda própria, ou seja, um 'orbital atômico'. A função completa Ψ para o sistema de n elétrons é então obtida (em termos bastante simplificados) pelo produto dos n orbitais atômicos. Temos então as famosas 'configurações eletrônicas' de cada átomo na tabela periódica (átomo de hidrogênio, $1s$; átomo de hélio, $1s^2$; átomo de lítio, $1s^2 2s$ etc., onde $1s$, $2s$ etc. são funções que descrevem espacialmente os orbitais, que diferem entre si em tamanho e forma).

Já no caso de moléculas, a solução da equação de Schrödinger correspondente era tão complexa e demorada que foi necessária uma aproximação na própria equação para que resultados exequíveis

No caso de moléculas, a solução da correspondente equação de Schrödinger era tão complexa e demorada que foi necessária uma aproximação na própria equação para que resultados exequíveis pudessem ser alcançados

pudessem ser alcançados. Essa aproximação, conhecida como aproximação de Born-Oppenheimer, de 1927, baseou-se na enorme disparidade mássica entre elétrons e núcleos: estes últimos possuem massas no mínimo duas mil vezes maiores que a de cada elétron (essa disparidade vale para o hidrogênio; já para o lítio, por exemplo, a relação entre a massa dos elétrons e do núcleo é ainda maior: $1:14\ 000$). Com isso, pode-se desdobrar o problema em duas partes, um correspondendo ao movimento eletrônico, outro ao movimento nuclear:

1. Primeiro, descreve-se o movimento quântico das 'velozes' partículas eletrônicas em torno dos núcleos relativamente bem mais 'pesados' e quase 'imóveis', tratados nesse caso como partículas clássicas (isto é, podendo ser bem localizados e imobilizados ao mesmo tempo). Para cada arranjo nuclear R fixado (R é a distância internuclear em uma molécula diatômica, tomada aqui como referência), temos um padrão de probabilidade eletrônica. Esse padrão é convenientemente reinterpretado pelo químico no seu cotidiano como uma nuvem eletrostática de carga ('nuvem eletrônica').

2. Depois, descreve-se o movimento quântico dos núcleos no próprio campo (médio) de energia potencial fornecido pela 'nuvem eletrônica'. Tomando-se uma molécula diatômica, essa função de energia potencial nuclear U depende da distância internuclear R , isto é, $U = U(R)$. Esse campo de potencial eletrônico tem uma forma matemática tal que ele apresenta um mínimo agudo de energia (ou 'fundo de poço') em torno de uma dada geometria nuclear: a geometria ou configuração de equilíbrio, que é justamente a geometria privilegiada exibida pela molécula na natureza. Numa molécula diatômica, essa geometria de equilíbrio é dada pela distância internuclear R_{equil} entre os dois núcleos da molécula, que é mensurável experimentalmente. Pois bem, o campo $U(R)$ permite a separação (aproximada) adicional do movimento dos núcleos em dois submovimentos: a) movimento rígido de rotação de todos os núcleos na geometria de equilíbrio R_{equil} – e b) movimento sincronizado ('coletivo') de pequenas vibrações (ou de pequenas amplitudes) de todos os núcleos em torno de suas respectivas posições na geometria de equilíbrio R_{equil} . Finalmente, concluímos que a forma da 'nuvem eletrônica' privilegiada será aquela associada à distância de equilíbrio R_{equil} .

A partir das considerações energéticas que acabamos de tecer, temos que a energia total da molécula separa-se aproximadamente em três fragmentos, cada um correspondendo a um dos movimentos internos da molécula conforme descritos anteriormente: a) o pedaço com quase 100 por cento da energia, a energia eletrônica E_{el} , calculada na geometria rígida R_{equil} do fundo do poço de potencial; b) a energia (quantizada) de vibração nuclear E_{vib} (cerca de 100 vezes menor que E_{el}) e c) a energia (quantizada) do movimento rotacional nuclear E_{rot} (cerca de 100 vezes menor que E_{vib}). Isto é, a energia total da molécula é $E_{\text{total}} \cong E_{\text{el}} + E_{\text{vib}} + E_{\text{rot}}$. Essa é a fórmula fundamental de toda a

abordagem quântica da chamada 'espectroscopia molecular', que estuda a estrutura e propriedades moleculares por meio da interação entre radiação eletromagnética e moléculas.

Como foi apresentado, os núcleos 'enxergam' o movimento eletrônico médio como nós enxergamos as pás de um ventilador em movimento. Assim, podemos introduzir e utilizar aqui o conceito de 'nuvem' ou densidade eletrônica de um modo mais fisicamente significativo. Essa densidade é obtida resolvendo-se a equação de Schrödinger para o movimento eletrônico no campo dos 'núcleos fixos' (item a acima). Para cada valor fornecido de R obtemos uma densidade diferente. No entanto, como o movimento vibracional nuclear praticamente se restringe a pequeníssimos desvios em torno de suas respectivas posições de equilíbrio em R_{equil} , a densidade eletrônica fisicamente significativa é aquela obtida para essa mesma distância. Como a ordem de grandeza de R_{equil} em moléculas diatômicas é de um angstrom (10^{-8} cm), o desenho final da estrutura molecular (com dois núcleos idênticos), em termos de sua descrição quântica, é o de uma nuvem eletrônica na forma de um elipsóide de revolução de dimensões da ordem do angstrom, envolvendo os dois núcleos fixos localizados nos dois focos do elipsóide e separados pela distância ou geometria de equilíbrio R_{equil} (Fig. 1).

É esse portanto o modelo fundamental de estrutura molecular tal como descrito pela mecânica quântica. Ele prevê corretamente a geometria de equilíbrio experimental, bem como a forma e a estrutura experimental da nuvem eletrônica.

1980: Moléculas têm estrutura?

Assim, recuperamos através da mecânica quântica o conceito fundamental da química. Mas teremos recuperado o modelo de estrutura molecular de modo puramente quântico, sem nenhum artifício estranho a tal mecânica? Essa interrogação foi levantada pelo físico-químico inglês Woolley no final da década de 70. Woolley argumenta que, ao contrário do que se pensa atualmente, a resposta é 'não'. Dentro do tratamento matemático acima mencionado de separação de movimentos eletrônico e nuclear (aproximação de Born-Oppenheimer - BO), o próprio conceito físico de estrutura molecular é introduzido sutilmente (mas conscientemente, por Born e Oppenheimer). Assim, o conceito fundamental da química não surgiria ao final de um tratamento quântico pretensamente restrito apenas a golpes de uma técnica matemática aproximativa. O conceito básico de toda a química, tal como a conhecemos, só foi recuperado ao final do tratamento quântico de Born-Oppenheimer porque ele simplesmente foi introduzido *ad hoc* - como um conceito geométrico de núcleos fixos da mecânica clássica - no início daquele próprio tratamento matemático. Isso evidencia a enorme 'resistência' do conceito químico - ainda clássico, não quântico - de estrutura molecular dentro da nova mecânica. Em outras palavras, continua Woolley, se resolvermos a equação molecular completa de Schrödinger - sem separação alguma em seus movimentos internos -, a previsão é de que a tradicional estrutura molecular da Fig. 1 estaria totalmente ausente da função de onda molecular exata. Mas se a estrutura molecular é uma propriedade que vem sendo medida em laboratório (difração de raios X etc.), como explicar de modo também puramente quântico tal resultado experimental?

Para responder a essa pergunta, Woolley dá, ao mesmo tempo, uma explicação para o sucesso da aproximação semiclassical de BO quanto as suas previsões estruturais, experimentalmente confirmadas.

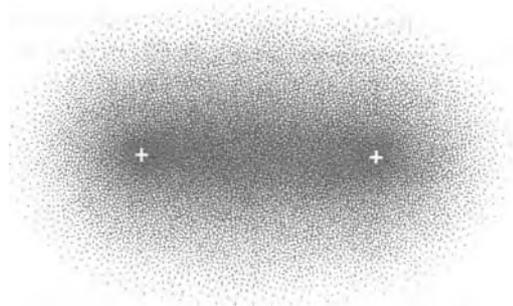


Figura 1 – Densidade eletrônica típica de molécula diatômica homonuclear.

Para Woolley, a criatividade desses dois pioneiros da mecânica quântica foi terem construído um modelo não rigorosamente quântico de molécula isolada capaz de simular certas propriedades que em termos rigorosamente quânticos resultariam de interações entre um número imenso de moléculas,

O conceito de estrutura molecular não emergiria como uma propriedade intrínseca das moléculas individuais - ao contrário do que pensa a quase totalidade da comunidade química -, mas sim como resultante de interações intermoleculares

vale dizer, propriedades de meio ou de muitos corpos (*many body*). Assim, por exemplo, o metano (CH_4) não 'teria' uma estrutura tetraédrica como normalmente nos é ensinado; tal estrutura tetraédrica somente emergiria mediante uma concentração ou aglomeração suficientemente grande de moléculas de metano, aglomeração essa que já seria alcançável em fase gasosa, desde que a pressão não seja excessivamente baixa. Com isso, responde-se também à pergunta final do último parágrafo: em termos rigorosamente quânticos, o conceito de estrutura molecular *não* emergiria, ainda segundo Woolley, como uma propriedade intrínseca das moléculas individuais - ao contrário do que pensa a quase totalidade da comunidade química -, mas sim como resultante de interações intermoleculares

ou de interações entre moléculas e campos externos, o que seria extremamente difícil de se calcular *ab initio* ainda hoje.

Woolley aponta enfim para o futuro: com o avanço de técnicas de medidas moleculares estaríamos chegando a trabalhar no *limite da molécula isolada*, isto é, a trabalhar com estados quânticos moleculares estáveis no tempo (estados estacionários) e em fase gasosa em condições de extrema rarefação que praticamente eliminem interações intermoleculares. Nesse limite, se acompanhássemos Woolley, teríamos atingido uma espécie de limite molecular de uma *mecânica sem química*, ou melhor, sem estrutura molecular.

Uma série de trabalhos no início dos anos 80 mostrou que tal posição tão radical de Woolley na verdade não se sustentava. Pelo menos em moléculas diatômicas - no limite da 'molécula isolada' - podemos recuperar de modo *rigorosamente quântico* o conceito fundamental tradicional de estrutura como aparece na Fig. 1. Em sistemas poliatômicos, porém, ao menos parte das reservas de Woolley devem ser levadas em conta, uma discussão que vai além dos objetivos do presente trabalho.

Para saber mais

Para introdução elementar ao conceito de estrutura molecular veja:

RUSSELL, J.B. *Química Geral*, 2. Ed. São Paulo: Makron Books, 1994. Principalmente capítulos 8 e 19.

Para considerações gerais relativamente simplificadas sobre o conceito de estrutura molecular e, em particular, sobre a questão levantada por Woolley, leia:

WEININGER, S. The molecular structure conundrum: can classical chemistry be reduced to quantum chemistry, *J. Chemical Education*, v. 61, p. 939, 1984.

Para uma análise quanto-mecânica profunda do conceito de estrutura molecular (tendo em vista a análise crítica das posições de Woolley), leia:

CLAVERIE, P., DINER, S. The concept of molecular structure in quantum theory: Interpretation problems, *Israel J. Chem.*, v. 19, p. 54, 1980.

Para a recuperação rigorosamente quântica do conceito de estrutura molecular em moléculas diatômicas, leia: TOSTES, J.G.R. Molecular shape effects and quantum theory. *Theor. Chim. Acta (Ber.)*, v. 59, p. 229, 1981.

A descrição de qual modelo ensinar é feita pelo professor Chassot no artigo: CHASSOT, A.I. Sobre prováveis modelos de átomos, *Química Nova na Escola*, n. 3 maio, 1996, p. 3.

Funções da química inorgânica ...funcionam?

Tendo ficado em sono profundo durante décadas, um homem acorda e percorre, espantado, o novo mundo que o cerca: as pessoas movem-se em máquinas que ele nunca vira antes. As casas são outras, de materiais que ele também desconhecia. Intrigado, encontra caixas de onde saem imagens e sons. As pessoas vestem-se de modo estranho. Assustado, refugia-se em um prédio onde, ao entrar em uma sala, depara com jovens sonolentos, fingindo prestar atenção em uma pessoa mais velha que lhes fala sobre algo que só a ela parece interessar. Uma suave sensação de alívio o envolve, aquela sensação de quem, numa terra estranha, encontra algo que conhece de longa data.

Essa parábola sobre o conservadorismo da escola nos remete, num primeiro momento, à questão da forma. Mas não é só na forma que a escola é conservadora, mas também — e talvez até mais — no conteúdo. Muda o mundo, avança o conhecimento, e o que se define como básico para ensinar continua o mesmo. Quando alguma inovação se impõe, o método da adição é aplicado, ou seja, juntam-se tópicos e mais tópicos relativos a assuntos mais ou menos recentes, ‘modernizando-se’ o livro texto. Defendem-se alguns, dizendo que a ciência, sendo algo muito complexo para ser ensinado, necessita de facilidades, muitas vezes apenas “inocentemente” mnemônicas. O resultado de tais facilidades tem sido a criação de um mundo à parte, que só existe na sala de aula e na cabeça do professor, cabendo aos alunos serem descobridores desse jogo muito mais subjetivo do que objetivo. No que concerne ao ensino de química no nível médio, isso tem sido especialmente verdadeiro. Na criação desse mundo próprio, subjetivo, que praticamente só existe na sala de aula, o livro didático tem um papel fundamental. Naquele ambiente, ele dá legitimação ao

Reinaldo Calixto de Campos

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro - RJ

Reinaldo Carvalho Silva

Escola Técnica Federal de Santa Catarina, Florianópolis - SC

Neste artigo, os autores focalizam o conceito de funções inorgânicas. Os autores analisam o conteúdo dos capítulos que abordam o conceito de funções da química inorgânica em 12 livros de química destinados ao nível médio. A partir da escolha de um dos livros como representante do grupo, o artigo apresenta uma crítica baseada na falta de coerência interna desses capítulos, sob a ótica da visão atual dos conceitos ácido-base, e na impropriedade didática de saturar os iniciantes de classificações e nomenclaturas.

*funções inorgânicas, conceitos ácido-base,
livros didáticos*

Este artigo foi publicado originalmente na revista *Química Nova na Escola* n. 9, 1999.

que (e como) se ensina: é sabido o juízo de valor que se faz da palavra escrita. E, além de legitimar tal prática, ele contribui para sua expansão e perpetuação através dos tempos. Nesse mundo mágico-subjetivo, que se baseia na autoridade e não na experimentação e na reflexão (não diferente de qualquer ritual místico), certos tópicos são especialmente representativos e sua análise crítica pode auxiliar os docentes, para que venham a mudar o foco de suas aulas, saindo do *ritual* para os *princípios*. Dentre tais tópicos destacam-se, sem dúvida, as chamadas 'funções da química inorgânica'.

A quase totalidade dos livros de química mais amplamente comercializados, dedicados ao ensino médio, e com eles provavelmente a maior parte dos professores atuantes nesse nível, consideram muito importante o estudo das assim chamadas funções da química inorgânica, assunto que ocupa, por exemplo, dezenas de páginas dos livros didáticos acima citados. Paralelamente, a química tem se revelado assunto de aprendizagem muito difícil entre os alunos, levando-nos a especular que talvez haja uma relação de causa e efeito entre a citada valorização e o inelutável insucesso, uma vez que esse assunto fantasmagórico, como se pretende demonstrar, não passa de um indigesto coquetel de conceitos descosidos e contraditórios. Analisando os livros mais adotados, percebe-se que, numa aparente preocupação de não-omissão, os autores ali ensacam todos os conceitos, novos ou velhos, obsoletos ou não, sem qualquer compromisso com a *tessitura de uma conexão harmoniosa*. O resultado é um conjunto de regras desarticuladas que, não fazendo sentido global, levam os 'bem-sucedidos' para longe da verdadeira química. Quanto aos 'malsucedidos', cabe perguntar se não estariam nessa situação exatamente por rejeitarem aquilo que para eles não tem sentido. O esforço de reelaboração dos fatos mediante novas categorias teóricas, típico do progresso científico moderno, parece não encontrar paralelo na pedagogia química praticada por esses textos. O que se percebe é um amontoado de conceitos cuja finalidade esgota-se em si mesma, no dia da avaliação dos conteúdos, sem contribuição significativa para a compreensão do mundo físico que se descortina diante do adolescente.

Analisemos o livro de Ricardo Feltre (tomado arbitrariamente como exemplo, mas que apresenta a mesma visão e estrutura de outros livros didáticos citados na bibliografia) e analisemos o aludido capítulo, que começa com a definição: "Função química é um conjunto de substâncias com propriedades químicas semelhantes". "As funções que iremos estudar são: ácidos, bases, sais e óxidos." Já isso constitui um mau começo, pelo menos por dois motivos: primeiro, porque essa forma de exposição pressupõe que tais categorias sejam excludentes, o que não é verdade. Há sais que são ácidos, há óxidos que são bases, há óxidos que são sais ou mesmo ácidos que são bases. Isso ocorre porque o comportamento das espécies químicas é sempre relativo (à outra espécie com que a interação é estabelecida) ou porque o próprio conceito inclui mais de uma das citadas categorias. Se sal é uma espécie de elevado caráter iônico e óxido um composto binário de oxigênio, é claro que há óxidos que são sais e vice-versa. Por exemplo, CaO, usando critérios encontrados no próprio livro, tem caráter iônico de 79%. Logo, CaO é um sal. Mas CaO é também um composto binário de oxigênio. Logo, CaO é um óxido.

Em segundo lugar, instaura-se uma desgastante confusão, porque misturam-se critérios comportamentais, os únicos aceitáveis partindo do conceito estabelecido de função, com critérios constitucionais que são, por isso mesmo, completamente descabidos dentro da idéia apresentada para função. De fato, logo adiante Feltre define que "sais são compostos iônicos que possuem pelo menos um cátion diferente do H^+ e um ânion diferente do OH^- " e "óxidos são compostos binários de oxigênio". Como esses critérios são puramente constitucionais, a conclusão inevitável é: sais e óxidos não são funções. Contraditoriamente, isso é reconhecido pelo próprio autor: "...os sais, logicamente, não terão propriedades funcionais..." e "...é fácil concluir que não é possível atribuir

propriedades funcionais a todas essas famílias de óxidos”. Realmente, é forçoso considerar que a maior prova de sanidade mental que um aluno pode fornecer diante de tais confusões é a revolta e a nota baixa. Esqueçamos, pois, os sais e os óxidos e vamos nos concentrar nos ácidos e bases.

...a rigor ácidos e bases, concebidos como “conjunto de substâncias com propriedades químicas semelhantes”, não existem

Em primeiro lugar, é preciso considerar que, devido à noção de relatividade no comportamento das espécies químicas, a rigor ácidos e bases, concebidos como “conjunto de substâncias com propriedades químicas semelhantes”, *não existem*. O que há é um modo de se comportar quimicamente: comportamento ácido e comportamento básico. Assim, diante do sódio metálico, a amônia comporta-se como ácido, formando íon amideto. Porém, diante da água, a amônia comporta-se como base, formando íon amônio. Apenas aquelas espécies que apresentam esses comportamentos em grau muito acentuado se *aproximariam* do conceito estabelecido para função.

Em segundo lugar, gostaríamos de mostrar aqui que os conceitos ácido-base de Arrhenius, Bronsted, Usanovich e Lewis, diferentes em abrangência e significado, guardam entre si certa articulação. Portanto, não se pode escolher um desses, esperando assim descrever de modo racional todas as reações químicas e em qualquer solvente, nem deixar de chamar a atenção para os pontos em que os conceitos se tocam. Faremos isso partindo do conceito de Arrhenius, tal como apresentado por Ricardo Feltre:

“Ácidos são compostos que, em solução aquosa, ionizam-se, produzindo como íon positivo apenas o H^+ .”

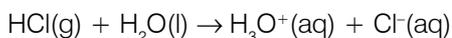
Modifiquemos, apenas ligeiramente, esse conceito, a fim de alcançar máxima generalização. Ionização, *no caso*, é um processo químico com a água, que origina íons. O próprio Feltre discute a idéia de ionização: “...a água irá quebrar as moléculas de HCl ...” Por outro lado, precisamos considerar que, em água, não há prótons H^+ livres. Uma vez gerados, esses minúsculos íons coordenam-se a um dos orbitais saturados da água, gerando íons hidroxônio, H_3O^+ . Introduzindo esses pequenos retoques à definição apresentada e eliminando o termo ‘composto’ (não há por que restringir o conceito de Arrhenius aos compostos), chegamos ao conceito de Arrhenius com outras palavras.

“Ácidos são espécies que, ao reagirem com a água, produzem como íon positivo apenas H_3O^+ . (1)

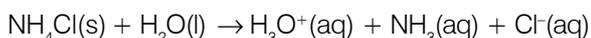
Aqui vale a pena fazer uma pequena pausa de enaltecimento ao trabalho de Arrhenius. Ao contrário de muitas das concepções de então — “ácidos têm sabor azedo”; “ácidos têm oxigênio”; “ácidos têm hidrogênio” (de novo os aspectos constitucionais assumindo o lugar dos comportamentais) —, ele definiu ácido, em 1887, considerando sua interação com algo. Ácido é aquele que, *diante da água*, comporta-se da maneira descrita. Modernamente, esse mesmo ponto de vista é generalizado por alguns autores como *conceito ácido-base relativo ao solvente*. Segundo esse critério, ácido é aquela espécie que, adicionada ao solvente, provoca aumento na concentração de seu ácido conjugado e base é aquela espécie que, adicionada ao solvente, provoca aumento na concentração de sua base conjugada. Como a maior parte das reações químicas se passa em solução, esse conceito é muito importante para os solventes protofílicos ou protogênicos, ativos do ponto de vista ácido-base (água, amônia, dióxido de enxofre, acetato de hidrogênio etc.).

Vamos partir do enunciado moderno do conceito de Arrhenius (1, acima) e relacioná-lo com os conceitos de Bronsted, Lewis e Usanovich. Para tanto é preciso considerar, como exemplo, as seguintes reações, que ocorrem com diferentes graus de espontaneidade:

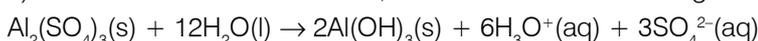
a) dissolução em água do cloreto de hidrogênio gasoso:



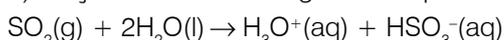
b) dissolução em água de cloreto de amônio sólido:



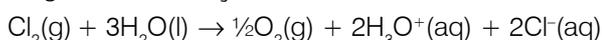
c) hidrólise dos sais de alumínio, usada no tratamento de água bruta:



d) reação da chuva com gases da queima do enxofre, gerando chuva ácida:



e) geração de oxigênio, ao qual se atribui o enfraquecimento das roupas deixadas em contato prolongado com soluções de cloro:



Examinando essas reações, vemos claramente que todas são “reações com a água que produzem como íon positivo apenas hidroxônio”. Portanto, são ácidos de Arrhenius: o cloreto de hidrogênio; o cloreto de amônio; o sulfato de alumínio; o dióxido de enxofre e o cloro. Agora consideremos os seguintes conceitos de ácido:

Bronsted: doadores de prótons.

Lewis: receptores de pares de elétrons para formar uma ligação coordenada.

Usanovich: receptores de elétrons (oxidante).

Reexaminando agora as equações de ‘a’ a ‘e’, chegaremos a interessantes intercruzamentos conceituais. Assim, o cloreto de hidrogênio em ‘a’ é ácido de Bronsted. Além disto, o próprio íon H^+ , embora sem existência estável, é ácido de Lewis. O sulfato de alumínio em ‘c’ é ácido de Lewis e o cloro em ‘e’ é ácido de Usanovich.

Dessa maneira, fica evidente que os ácidos de Arrhenius não estão restritos às espécies protonadas, tal como Feltre apresenta, e que é perfeitamente possível discutir os conceitos ácido-base de modo articulado, evitando que o aluno venha a julgar que na química se cria uma regra para cada reação estudada. Não estamos aqui argumentando que seja interessante apresentar aos iniciantes todos os conceitos simultaneamente, mas que, à medida que forem sendo apresentados, sejam articulados entre si de modo a favorecer o estabelecimento de uma firme teia conceitual.

De modo análogo aos ácidos, poderíamos estabelecer a seguinte teia conceitual para as bases:

Arrhenius: reage com água produzindo OH^- .

Bronsted: receptor de prótons.

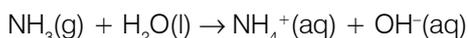
Lewis: doador de pares de elétrons para estabelecimento de ligação coordenada.

Usanovich: doador de elétrons (reduzidor).

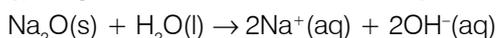
Sistema referenciado ao solvente: aumenta a concentração da base conjugada do solvente.

Considerando, agora, algumas reações com água, ocorrendo em diferentes graus de extensão, mas de qualquer modo possíveis, teremos as bases de Arrhenius.

f) dissolução da amônia:



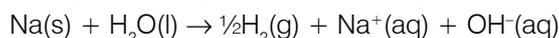
g) reação do óxido de sódio com água:



h) dissolução do cianeto de potássio:

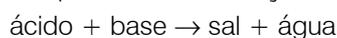


i) a vigorosa reação do sódio em água:



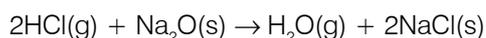
São, portanto, bases de Arrhenius: a amônia, o óxido de sódio, o cianeto de potássio e o sódio. São também bases de Bronsted: a amônia, o óxido de sódio, o cianeto de potássio. São também bases de Lewis: a amônia, o íon O^{2-} do óxido de sódio e o íon CN^- do cianeto de potássio. É também base de Usanovich, o sódio metálico. Novamente, vemos que não é possível restringir as bases aos hidróxidos iônicos, e que há uma intensa interpenetração dos conceitos de base.

Como interagem ácidos e bases? Passemos a considerar uma das regras mais famosas nos textos que tratam das funções da química inorgânica.

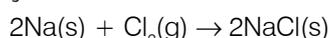


Tomemos alguns dos ácidos e bases apresentados acima e vejamos se há concordância com essa regra. Antes de tudo, é preciso considerar dois casos: se a reação ocorre em meio aquoso ou anidro (os autores não levam em conta essa distinção vital). Inicialmente, consideremos o meio anidro.

Façamos reagir cloreto de hidrogênio com óxido de sódio. O íon óxido aceita o próton, formando água.



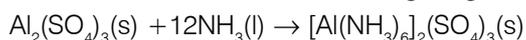
Seguindo, portanto, a regra apresentada. Vejamos outros casos, como por exemplo a explosiva reação do sódio com o cloro



Há formação de sal mas não há água, contrariando a regra. Consideremos, agora, a reação entre dois sólidos iônicos, um do grupo dos ácidos, o cloreto de amônio, e o outro do grupo das bases, o cianeto de potássio. Pelo menos em algum grau, o cianeto aceita o próton do íon amônio.

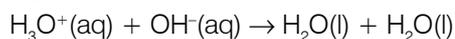


Portanto, nesse caso tivemos ácido + base \rightarrow ácido + base + sal, contrariando a regra. Consideremos mais um caso: façamos reagir (sempre em meio anidro) a amônia líquida com sulfato de alumínio sólido. Pelo menos em algum grau, o íon Al^{3+} é complexado pela amônia.



Novamente um sal, mas nada de água.

Agora vamos considerar o meio aquoso. Ora, nesse meio, o ácido já reagiu com o solvente e originou íons hidroxônio e a base da outra solução também não existe mais, tendo sido substituída por quantidade equivalente de íons hidroxila, de tal modo que, ao serem misturadas as duas soluções, a reação que se passa é entre o ácido e a base conjugada do solvente:



E, além do próprio solvente, nada mais é produto da reação! Mesmo para o caso de ácidos e bases fracos, que se poderiam admitir presentes em solução, a reação deve ser considerada com a intermediação do solvente através de deslocamentos na posição do equilíbrio.

Diante de tantas exceções, é inescapável considerar que a regra deve estar errada. Ela só funciona para os ácidos protonados reagindo com óxidos ou hidróxidos iônicos em meio *anidro*. Em meio aquoso ela não funciona. O que os autores deveriam esclarecer é que se desejarmos uma solução

aquosa de cloreto de sódio podemos, realmente, juntar uma solução aquosa de cloreto de hidrogênio com quantidade equivalente de uma solução aquosa de hidróxido de sódio. Exatamente aquilo que *não reage* resta em solução: íons cloreto e íons sódio. A evaporação do solvente levaria a um sólido branco de elevado caráter iônico, o pai de todos os temperos.

Em total incoerência com a regra ácido + base → sal + água, os autores apresentam e discutem o conceito de *íon espectador* (aquele que, estando presente na solução, não participa dela!). Como pode o leitor iniciante compreender conceitos que, em lugar de formarem uma teia por complementos e reforços, se agridem a cada página? O próprio Feltre, finalmente, reconheceu o absurdo da regra ácido + base → sal + água, pois na última edição de seu livro não há mais qualquer alusão a ela. Infelizmente, muitos outros autores ainda insistem nesse equívoco, assim como Feltre insiste na caduca categoria de *funções*.

Creemos já estar claro que o tópico *funções da química inorgânica*, tal como aparece nos livros textos destinados ao ensino médio, não é apenas confuso, mas totalmente inútil

Creemos já estar claro que o tópico *funções da química inorgânica*, tal como aparece nos livros textos destinados ao ensino médio, não é apenas confuso, mas totalmente inútil. Todavia, gostaríamos de enfeixar nossos argumentos em favor de um ensino alternativo.

1º) *As idéias são contraditórias*. Não é possível o convívio pacífico da regra ácido + base → sal + água com o conceito de íon espectador. Também não é aceitável que o SO_3 em água venha a gerar H_2SO_4 , quando já se disse que o H_2SO_4 é ácido

forte e que, portanto, converte-se integralmente em íons sulfato e hidroxônio.

2º) *Os princípios estabelecidos têm abrangência mínima*. Quase tudo o que é dito parece ser válido apenas para os ácidos minerais protonados e hidróxidos iônicos. Estamos convencidos de que Feltre (e outros) erraria menos se dissesse: "os ácidos são o clorídrico, o sulfúrico e o nítrico; e as bases são os hidróxidos de sódio, de potássio e de cálcio". O próprio conceito de Arrhenius é discutido com um 'engessamento' que, modernamente, não se justifica.

3º) *Há muitas afirmações sem nenhuma conexão com os fatos que fazem parte do cotidiano do aluno*. O texto chama bicarbonato de sódio de *sal ácido*, quando todos o usam para combater a acidez estomacal. Um aluno do meio rural não compreenderia por que Feltre chama o carbonato de cálcio de *sal neutro*, pois ele sabe que o calcário combate a acidez dos solos! Dessa maneira, o estudo torna-se apenas um jogo de regras que, arbitrárias e alienadas do universo do estudante, não contribuem para que ele possa, ultrapassando o senso comum, alcançar uma visão racional do mundo físico.

4º) *Não se busca atender à economia de conceitos, nem à interconexão conceitual*. Há uma série de conceitos que, seja por sua obsolescência, seja pelo inoportuno de sua apresentação para os iniciantes, poderiam ser lucrativamente deixados de lado. *Sal ácido, básico ou neutro*, assim como *óxido ácido ou básico* e ainda *anfoterismo* estão no primeiro caso e *eflorescência, higroscopicidade e superóxidos*, no segundo. A teia conceitual de Arrhenius poderia ser a única apresentada e discutida numa primeira abordagem. Em vez disso, os conceitos de Bronsted e Lewis são atirados e prontamente deixados de lado, sem qualquer uso na sistematização das reações e sem conexão com o de Arrhenius, desenvolvendo no aprendiz a nociva conclusão de que a química é um amontoado de noções desarticuladas.

5º) *O solvente ora é considerado, ora ignorado*. As discussões baseiam-se na teia conceitual de Arrhenius, portanto em um sistema referenciado ao solvente; no entanto, ao lançar a regra ácido + base → sal + água, não se mostra que ela só tem alguma validade para o meio anidro.

6º) *Enfatizam-se de modo completamente exagerado os nomes, fórmulas e classificações*.

Classificam-se os ácidos pelo conteúdo de oxigênio, pela quantidade de hidrogênio, pela volatilidade etc. etc. Existe uma verdadeira barreira de ortofosfato dipotássico monossódico e dihidroxicloreto de alumínio, além de monohidrogeno ortofosfato de sódio, impedindo que o aluno possa enxergar os genuínos princípios da química.

Conclusão

Creemos ter deixado convincentemente claro que esse capítulo (“Funções da química inorgânica”), dirigido justamente aos iniciantes, contribui como poucos para que os estudantes venham considerar a química matéria enfadonha, incompreensível e cujo estudo requer exaustivos exercícios de memorização. E, se assim perceberam, possam os professores, com ganho, dispensar as funções da química inorgânica e concentrar seus esforços naqueles princípios que hão de permanecer com seus alunos, quando eles houverem esquecido que o H_3PO_4 é um ácido “triprótico, oxigenado, fixo e moderadamente forte”.

Livros analisados

CARVALHO, G.C. *Química moderna*. São Paulo: Editora Scipione, 1997.
FELTRE, R. e YOSHINAGA, S. *Química geral*. São Paulo, v. 1.
FELTRE, R. *Química geral*. São Paulo: Editora Moderna, 1982, v. 1.
FELTRE, R. *Química segundo grau*. São Paulo: Editora Moderna, 1977.
FELTRE, R. *Química*. 4. ed. São Paulo: Editora Moderna, 1994, v. 1.
FONSECA, M.R.M. *Química Geral*. São Paulo: Editora FTD, 1992.
NABUCO, J.R.P. e BARROS, R.V. *Química geral e inorgânica*. Rio de Janeiro: Editora Ao Livro Técnico, 1978.
NHEMI, V. *Química*. 4. ed. São Paulo: Editora Ática, 1995, v. 1.
NOVAIS, V. *Química geral e inorgânica*. São Paulo: Editora Atual, 1993, v. 1.
POLITI, E. *Química curso completo*. 2. ed. São Paulo: Editora Moderna, 1992.
SARDELLA, A. *Curso de química geral*. 22. ed. São Paulo: Editora Ática, 1997, V. 1.
FREITAS, R.G. e COSTA, C.A.C. *Química geral e inorgânica*. Rio de Janeiro: Editora Ao Livro Técnico, 1971, v. 1.

Para saber mais

Há textos especialmente valiosos para o desenvolvimento de idéias claras sobre os conceitos ácido-base. Os dois últimos textos citados abaixo estão, infelizmente, esgotados, mas podem estar acessíveis em bibliotecas:

HUHEEY, J.E. *Inorganic chemistry. Principles of structure and reactivity*. 2. ed. Nova Iorque: Harper & Row Publishers, 1978. cap. 7 e 8.

SISLER, H.H. *Química dos solventes não-aquosos*. São Paulo: Editora Polígono, 1969.

VANDERWERF, A.C. *Ácidos, bases e a química da ligação covalente*. São Paulo: Editora Polígono, 1970.

Para conhecer dois textos de química para o nível médio que enfocam princípios em lugar de rituais, sem fazer nenhuma alusão às ‘funções’, sugerimos a leitura de:

AMBROGI, A.; VERSOLATO, E.F. e LISBÔA, J.C.F. *Unidades modulares de química*. São Paulo: Editora Hamburg, 1987.

CHEM STUDY. *Química, uma ciência experimental*. São Paulo: Editora Edart, 1963.

No artigo abaixo, os autores, comentando a regra do octeto, citam a dualidade ritual-princípio:

MORTIMER, E.F.; MOL, G. e DUARTE, L.P. Regra do octeto e teoria da ligação química no ensino médio: dogma ou ciência? *Química Nova* v. 17, n. 3, p. 243-252, 1994.

Sugerimos ainda a leitura dos seguintes artigos:

FERREIRA, V. Aprendendo sobre o conceito ácido e base. *Química Nova na Escola*, n. 4, p. 35-36.

LOPES, A.R.C. Reações químicas. *Química Nova na Escola*, n. 2, p. 7-9.

OLIVEIRA, R.J. de. O mito da substância. *Química Nova na Escola*, n. 1, p. 8-11.

Fotossíntese

um Tema para o Ensino de Ciências?



Clarice Sumi Kawasaki

Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto - SP

Nelio Marco Vincenzo Bizzo

Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, São Paulo - SP

Que temas eleger para o ensino de ciências? Essa tem sido uma preocupação para o professor de ciências que, a despeito de sua formação inicial, precisa ensinar (e dominar), ao mesmo tempo, biologia, química e física. Propõe-se aqui um desafio para o professor de ciências: que ele eleja o tema da "fotossíntese" para o exercício do ensino. A fotossíntese, em conjunto com outros processos fisiológicos, cumpre uma importante função vital nos vegetais: a nutrição autotrófica. Esta requer o conhecimento integrado de diferentes áreas do conhecimento científico, como fisiologia, bioquímica, ecologia, além das áreas da física e química, dadas as diversas conversões de energia envolvidas nos processos respiratórios e fotossintéticos.

*fotossíntese, concepções dos estudantes,
ensino de ciências*

Este artigo foi publicado originalmente na revista *Química Nova na Escola* n. 12, 2000.

Em artigo recente (Bizzo e Kawasaki, 1999) defendemos a idéia de que não existem professores de ciências hoje em nossas escolas, mas que, dentre os de sólida formação, há biólogos, geólogos, físicos, químicos e médicos que ensinam ciências. Na forma de uma paráfrase de Alberto Caeiro, procuramos chamar a atenção para a discussão atual sobre a formação de professores, remetendo-nos a uma reflexão sobre a especificidade dos professores de ciências. A escolha desse tema insere-se nesse contexto, apresentando parte dos resultados obtidos em uma pesquisa¹ feita com estudantes, sobre as suas concepções de nutrição vegetal. O debate entre Joseph Priestley e Lavoisier revela a natureza da investigação de mais de 200 anos atrás, em uma época em que as academias de ciências reuniam experimentadores que se moviam em largo espectro do conhecimento. Hoje, as academias reúnem cientistas altamente especializados, que guardam muito pouca semelhança com seus colegas de dois séculos atrás, envolvidos com a geração de conhecimento básico, alvo dos cursos de ciências de hoje em dia, pelo menos em seus fundamentos.

Além disso, cabe apontar a especialização das próprias disciplinas escolares, que fazem com que muitas vezes os estudantes se perguntem se o átomo da química é o mesmo átomo da física. É nesse sentido que o tema "fotossíntese" demonstra ser especialmente apropriado para abordar fundamentos científicos na escola básica. Exigindo conhecimentos de diferentes áreas, permite uma exploração criativa que integre diferentes conhecimentos, de diferentes disciplinas.

O que os estudantes pensam sobre nutrição vegetal?

O presente artigo analisa e discute os resultados de uma pesquisa (Kawasaki, 1998) que investigou a compreensão dos estudantes, de 5ª à 8ª séries do ensino fundamental, sobre o tópico da *nutrição vegetal*. Essa foi conduzida em três escolas do ensino fundamental do Município de Ribeirão Preto (SP), duas delas pertencendo à rede estadual pública de SP e a outra à rede particular. Dezesete estudantes dessas escolas, escolhidos aleatoriamente, foram entrevistados com uma média de 200 perguntas por aluno. As entrevistas foram norteadas por um roteiro semi-estruturado, buscando responder basicamente às seguintes questões: “Em que medida os estudantes compreendem que plantas realizam nutrição autotrófica?” e “Em que medida os estudantes compreendem a nutrição vegetal, enquanto um tópico complexo e integrado, no qual aspectos fisiológicos, bioquímicos, ecológicos e de conversões de energia estão envolvidos?”. A análise do conteúdo foi o método de tratamento e análise dos dados obtidos nas entrevistas (Bardin, 1991). O planejamento dessa investigação e a análise dos dados foram feitas dentro de uma abordagem qualitativa de pesquisa (Bogdan e Biklen, 1992; Kude, 1997; Lüdke e Andre, 1986).

A presente pesquisa constatou a existência de concepções de nutrição vegetal em estudantes que pouco se aproximam do modelo admitido pela ciência atual, apesar de estes estudantes terem estudado formalmente esse tema em sua escolaridade anterior. Eles não compreendem que plantas realizam nutrição autotrófica e possuem idéias genéricas de aspectos isolados de seus processos, que não permitem uma compreensão do funcionamento desta função vital em plantas. Verificou-se ainda que esses erros não estão circunscritos ao contexto escolar, mas encontram-se difusos na sociedade e que a escola, em vez de recolocá-los, os veicula, como também os estimula e os perpetua.

Vários equívocos podem ser encontrados nesse contexto. Um deles, bastante freqüente, refere-se à idéia de que devemos preservar as matas, pois essas garantem e suprem a maioria do oxigênio que respiramos. Outra, bastante relacionada à anterior, é a crença generalizada de que plantas são importantes agentes despoluidores, já que nos livrariam de toda espécie de poluição. Tais abordagens não permitem compreender a discussão atual sobre o possível aumento de biomassa em grandes áreas verdes, como a Floresta Amazônica, e que sua preservação é importante por razões ligadas à manutenção da biodiversidade e das condições climáticas. Por meio de equívocos como esses prejudica-se a atuação social dos cidadãos escolarizados, que não podem compreender as razões mais profundas da importância da preservação de matas e florestas.

Qual tem sido o papel da escola nesse cenário? Apesar de todo conhecimento anterior que o estudante traz para a escola, tal fato é desconsiderado no processo de ensino de ciências. Via de regra, o tema da “fotossíntese” é introduzido, a partir da clássica definição “fotossíntese é o processo pelo qual plantas produzem seu alimento”, que vem totalmente “descolada” daquilo que o aluno já sabe do assunto. Esse enunciado aparentemente simples não faz sentido para o estudante, que não consegue ter uma compreensão global e coesa de “como as plantas se alimentam e qual o papel da alimentação em seu crescimento e desenvolvimento”. Para essa questão, ele tem suas próprias explicações.

As concepções de nutrição dos estudantes

Algumas afirmações correntes dos estudantes foram destacadas, em uma tentativa de síntese de suas principais concepções sobre o tema.

Equívocos freqüentes referem-se à idéia de que devemos preservar as matas, pois essas garantem e suprem a maioria do oxigênio que respiramos. Outro, é a crença generalizada de que plantas são importantes agentes despoluidores

“Fotossíntese é o processo pelo qual plantas produzem seu alimento; a folha é o local onde a planta produz esse alimento”

Essa é a definição que introduz o aluno ao termo científico “fotossíntese” no ensino de ciências, embora, anteriormente, em séries iniciais, o aluno já tenha sido apresentado ao tema da nutrição em vegetais. A abordagem tradicional do tema no ensino fundamental reserva para as séries iniciais tópicos denominados “nutrição das plantas” ou “como as plantas se alimentam”, cuja ênfase recai no papel nutricional das raízes. Nas séries posteriores, normalmente esse tema é abordado através de tópicos isolados, como fotossíntese, respiração, desenvolvimento e crescimento nas plantas, cuja ênfase passa a ser o papel das folhas na fotossíntese e na respiração celular. Paralelamente, introduz-se a versão bioquímica da fotossíntese e da respiração. Somente no ensino médio há uma ênfase nos aspectos fisiológicos e bioquímicos desses processos, que passam a se realizar no interior das células. Esses tópicos são tratados isoladamente no ensino de ciências.

Nessa definição de fotossíntese, as folhas verdes são consideradas as “fábricas” da planta, pois são os locais onde se produz o alimento, ou seja, se realiza a fotossíntese. Há aqui uma ênfase exagerada no papel das folhas na realização da fotossíntese. Essa decorre da abordagem presente no ensino de ciências, que parte de uma visão compartimentada do funcionamento dos vegetais. Há um modelo de uma planta-padrão, na qual cada estrutura cumpre uma determinada função.

Em suma, trata-se de uma definição eminentemente escolar, cujo enunciado o aluno memoriza, mas não compreende, pois não consegue relacioná-lo a outros conhecimentos que lhe permitiriam ter uma visão global dos processos envolvidos na nutrição vegetal.

“Plantas alimentam-se através das raízes, absorvendo substâncias do solo”

Muito antes de ser apresentado à definição escolar de “fotossíntese”, o aluno traz para dentro da escola idéias a respeito de “nutrição”, “alimento”, “energia” e “respiração”, mesmo que essas estejam restritas a seus significados cotidianos. Outras pesquisas² realizadas em diferentes contextos culturais confirmam essa tendência. Parte-se também da premissa de que “plantas são seres vivos e por isso se alimentam”. Tal afirmação foi feita por todos os entrevistados, sem exceção.

Todavia, diferentemente do conceito científico de que plantas realizam nutrição autotrófica, o modelo que prevalece nos estudantes é o de que plantas obtêm seu alimento pronto diretamente do ambiente.

Nesse modelo, os vegetais absorvem os nutrientes do solo, através de suas raízes (Kawasaki e Bizzo, 1999). Há uma ênfase no papel nutricional das raízes e na idéia do solo como o principal “meio nutritivo” para as plantas, que lhes forneceria toda sorte de nutrientes, esquecendo-se que existem plantas que não vivem no solo, mas mesmo assim sobrevivem. Não há entre eles um modelo claro de crescimento e desenvolvimento em plantas, acreditando em sua maioria que os vegetais crescem porque “pegam” seu alimento do ambiente.

Apesar dos vários equívocos presentes, esse é o modelo que para o aluno é coeso e coerente, pois garante-lhe uma explicação do funcionamento geral de “como as plantas se alimentam”. Como a escola não oferece esse tipo de explicação, os estudantes remetem-se a modelos baseados em analogias referentes a fenômenos mais próximos de sua experiência, mas nem sempre apropriados: o modelo heterotrófico de nutrição.

A comparação da forma de obtenção de energia pelos vegetais com a nutrição animal, bastante freqüente no discurso dos estudantes, demonstra o quão arraigado esse modelo heterotrófico de nutrição encontra-se neles, trazendo conseqüências diretas para a elaboração de concepções alternativas sobre fotossíntese e respiração. A pesquisa revelou que tais comparações também podem ser encontradas em textos didáticos e no discurso dos professores.

O professor de ciências pode partir desse modelo presente nos alunos e tentar superá-lo. Não no sentido de abandoná-lo, pois, apesar de não representar o modelo autotrófico de nutrição vegetal, não há como negar a íntima relação entre raízes e solo, que não garante a realização da fotossíntese, mas proporciona os nutrientes minerais essenciais à síntese de um grande número de moléculas indispensáveis aos seus processos metabólicos, dentre eles, a própria fotossíntese. A nutrição mineral deve ser vista, juntamente com a fotossíntese, como parte da função mais geral de nutrição vegetal.

“Água e sais minerais, presentes no solo, são nutrientes das plantas”

Essas são as principais substâncias encontradas no solo e que são referidas como “nutrientes” ou “alimentos” dos vegetais. Na linguagem comum, alimento e nutriente são sinônimos e é difícil esperar que os alunos iniciem seus estudos no ensino fundamental sem terem sido influenciados pela analogia de nutrientes da dieta animal e vegetal. A caracterização do adubo como importante fator de crescimento vegetal tem expressiva presença na crença popular que o toma por “alimento” da planta. Textos didáticos diferem largamente na definição de alimentos e estudantes possuem um conceito de alimento que é variável e dependente do contexto (Barker, 1995).

É importante que tanto o professor quanto o aluno compreendam a distinção entre o alimento construtor e o alimento energético, como aportes necessários à nutrição vegetal. Uma forma seria diferenciar a terminologia, com finalidades didáticas, chamando de “alimento da planta” apenas o alimento energético, seja ele material (açúcar) ou na forma de luz. Assim, alimento das plantas deveria ser um termo restrito às substâncias com potencial energético, o que não seria o caso de sais minerais, por exemplo. Os nutrientes do solo são essenciais ao desenvolvimento dos vegetais, da mesma forma que os sais minerais o são para os animais. No entanto, animais e plantas não sobrevivem “alimentando-se” de sais, já que eles constituem um complemento alimentar, não no sentido de serem dispensáveis, o que evidentemente não é o caso, mas no sentido de que eles estão normalmente incorporados à dieta por meio do consumo de outros alimentos. As necessidades energéticas de plantas e animais têm de ser supridas por outro tipo de nutrientes que não os minerais, mas orgânicos, como no caso de açúcares, lipídeos e mesmo de proteínas e aminoácidos. Ao contrário dos animais, as plantas podem produzir internamente tais açúcares, o que expõe a singularidade da natureza autotrófica.

É importante que tanto o professor quanto o aluno compreendam a distinção entre o alimento construtor e o alimento energético, como aportes necessários à nutrição vegetal

“Na fotossíntese há absorção de gás carbônico e produção de oxigênio”

Quando os alunos são questionados a respeito do funcionamento da fotossíntese, esses situam-no, basicamente, nas trocas gasosas que a planta realiza com o meio: “na fotossíntese, as plantas absorvem o gás carbônico e liberam o oxigênio, renovando o ar atmosférico”. Essa afirmação vem explicar a idéia bastante arraigada na sociedade que atribui à vegetação o importante papel na renovação ou na purificação do ar atmosférico.

“Fotossíntese é o oposto da respiração”

Atrelado ao modelo anterior de fotossíntese, surge um modelo de respiração, que se opõe ao processo anterior, já que absorve oxigênio e libera gás carbônico. Essa freqüente oposição entre fotossíntese e respiração tem conduzido à idéia de que os animais respiram e plantas não, uma vez que elas realizam fotossíntese e os animais não, quando na verdade ambos respiram – de dia e à noite – mas apenas as plantas realizam fotossíntese, que depende da luz do dia.

O processo conhecido como respiração apresenta múltiplos significados. A respiração celular, que ocorre no interior das células, é, de fato, a base das trocas gasosas entre o meio interno e externo com a finalidade de transformar a energia química dos alimentos, tanto em autótrofos como em heterótrofos. O envolvimento de um grande volume de gases nesse processo implicou o estabelecimento de órgãos e sistemas diferenciados, que se incumbem de otimizar as trocas gasosas entre o organismo e o meio. “Ventilação pulmonar” e “inspiração e expiração” freqüentemente são designados por “respiração”, dificultando a aprendizagem dos diferentes fenômenos associados em diferentes escalas de grandeza, existindo diversas interpretações para os mesmos fenômenos estudados.

“Fotossíntese é: gás carbônico + água + energia → glicose + oxigênio”

Por meio de tópicos como “reações químicas nos organismos vivos ou nos ecossistemas”, textos didáticos de ciências apresentam a versão bioquímica da fotossíntese e da respiração.

A fotossíntese e a respiração são apresentadas na forma de equações químicas, que podem ser expressas de uma forma semelhante àquelas da matemática:



Não se chama a atenção para o fato de que tal representação pode conduzir o aluno a pensar (equivocadamente) que parte do oxigênio sai do gás carbônico, quando se sabe que todo o oxigênio produzido vem da água e em processos bem distintos, pois para produzir 6O_2 são necessárias $12\text{H}_2\text{O}$. Além disso, nesta versão reforça-se a oposição entre esses dois processos, que estequiometricamente são inversos, mas biologicamente são complementares. Tais reações químicas, que se realizam no interior das células, necessitam de uma energia de ativação, captada do Sol, através da clorofila e outros compostos fotorreceptores.

Nessa abordagem, surge a necessidade de incorporar novos conhecimentos, que expliquem como ocorrem essas transformações químicas e qual o papel da energia nesses processos, que nem sempre o professor de ciências consegue responder.

Na ausência dessas explicações, mais uma vez, os estudantes remetem-se a outros modelos, nem sempre apropriados. Há uma visão entre eles de que na fotossíntese há uma “mistura” de gás carbônico, água, clorofila e Sol, que, magicamente, transformam-se em glicose e oxigênio. Nesse modelo, há uma compreensão de que algumas substâncias aparecem ou desaparecem, sem que se compreenda que os átomos que fazem parte das substâncias iniciais, e isso pode ser o caso de substâncias gasosas, podem apenas se combinar de maneira diferente. De fato, as substâncias moleculares envolvidas nas transformações químicas devem ser ressaltadas. Há, ainda nesse modelo, uma concepção vitalista de energia, específica para os processos biológicos, que diferentemente da energia envolvida nos processos físicos, realiza essa “mágica” transformação. “Por que existe uma concepção de energia própria para os processos físicos e outra própria para os processos biológicos?” Talvez essa questão possa se configurar em um interessante tema para o professor de ciências, já que ele terá a oportunidade de desenvolver conceitos de química e física para a compreensão de processos biológicos.

Um breve histórico das idéias de nutrição vegetal

Na história das idéias científicas, três momentos representaram mudanças significativas nas teorias de nutrição vegetal.

O primeiro momento foi a passagem de uma botânica, predominantemente morfológica, anatômica e exaustivamente descritiva das estruturas externas dos vegetais, para outra em que se buscava compreender a função de cada órgão para o organismo, para em seguida compreender

como cada um de seus aspectos, fenômenos ou partes contribui para essa função (Martins, 1990). Esse é o pensamento que traduz a concepção teleológica da natureza orgânica presente na metodologia fisiológica de Aristóteles. Os estudos teleológicos e comparados de Aristóteles representaram um verdadeiro avanço na época, pois trouxeram as primeiras preocupações sobre o funcionamento dos vegetais: *“tudo que cresce deve necessariamente se alimentar”*³.

Aristóteles acreditava que a chave para a compreensão de plantas estava para ser encontrada no estudo de animais, afirmando que *“a planta é comparável a um animal da cabeça para baixo”* (Barker, 1995). Para ele, as funções da nutrição vegetal deveriam se realizar passivamente na planta, sendo que o solo ofereceria às plantas os princípios nutritivos já preparados e a obra do crescimento poderia ser comparada a uma espécie de cristalização, sem transformação química. Acreditava que os sucos nutritivos sofririam na terra as transformações análogas àquelas que sofreriam no estômago dos animais. Esse modelo, denominado “terra-raízes” por Barker (1995), predominou por muito tempo, pois, ainda no século 17, Jethro Tull igualava intestinos a raízes e comparava a ação de absorção de vasos lenhosos no interior e exterior das respectivas estruturas. É interessante observar que o modelo predominante entre os estudantes entrevistados é aquele que situa a nutrição na interação “solo-planta”, bastante semelhante ao modelo “terra-raízes” aqui referido.

Para Aristóteles, as funções da nutrição vegetal deveriam se realizar passivamente na planta, sendo que o solo ofereceria às plantas os princípios nutritivos já preparados e a obra do crescimento poderia ser comparada a uma espécie de cristalização

Segundo Martins (1990), diferentemente do que ocorreu na física e na astronomia, o Renascimento não produziu uma revolução biológica, pois apesar dos avanços, esses foram e devem ser vistos como o aperfeiçoamento e não como uma derrubada da biologia aristotélica. Assim, o pensamento aristotélico fez escola e perdurou durante séculos, até o surgimento dos fisiologistas experimentalistas, na segunda metade do século 17.

Esse período representou para Sachs (1892) o momento de virada entre aquilo que chamou de “observação teleológica da natureza” para uma “observação dos fatos certos”, que por meio da experimentação foi possível conduzir aos conhecimentos científicos. Surge aqui a geração de fisiologistas experimentalistas que introduz uma mudança de paradigma nas idéias de nutrição vegetal, introduzindo o modelo “ar-folhas” (Barker, 1995). Malpighi (em 1671), Hales (em 1727) e Mariotte (em 1679) são os precursores da visão moderna de nutrição vegetal, buscando as explicações nas relações da planta com a atmosfera. No século 18, Priestley (em 1774) é um dos maiores representantes dessa geração, sendo o autor da idéia (mais tarde, derrubada) de que a vegetação tem um importante papel na purificação do ar e da água.

Contudo, para os fisiologistas do final do século 17 e início do século 18, havia uma interação entre plantas e atmosfera, cuja natureza permanecia obscura. Havia ainda pouca coisa esclarecida a respeito da transformação no interior das plantas de substâncias retiradas do meio externo e do papel do calor e da luz como agentes da nutrição e do desenvolvimento de plantas. Era necessário saber que sob a ação combinada da luz solar, captada pela clorofila, as matérias tiradas do solo e os princípios nutritivos gasosos contidos na atmosfera transformam-se em substâncias vegetais. Da mesma forma era necessário conhecer a relação existente entre a nutrição, o desenvolvimento e o deslocamento das matérias, assim como a ação da luz sobre a vegetação e a maior parte das funções das raízes. De fato, essas eram questões difíceis para uma época em que a química ainda não havia se desenvolvido e os experimentos ocorriam ainda no contexto da teoria do flogístico⁴ (Sachs, 1892).

Foi a partir dos princípios fundamentais da Química Nova de Lavoisier (em 1789) que os fisiologistas da época puderam estabelecer uma nova teoria da nutrição vegetal. A partir dos experimentos de Priestley (em 1774), que demonstravam que as partes vegetais exalam uma certa quantidade de oxigênio, Lavoisier constatou (em 1776) que o gás carbônico é composto de carbono e oxigênio. As descobertas e os fatos que deram nascimento a essas novas doutrinas determinaram a queda completa da teoria do flogístico (Sachs, 1892).

Foram os estudos relacionados de fisiologia vegetal e a teoria de evolução de Darwin, no século 19, que fizeram entrever o momento em que a ciência poderia se desenvolver independentemente

Foram os estudos relacionados de fisiologia vegetal e a teoria de evolução de Darwin, no século 19, que fizeram entrever o momento em que a ciência poderia se desenvolver independentemente da teleologia.

da teleologia. A fisiologia teve que remontar às leis naturais que regem as funções dos órgãos vegetais e a anatomia passou a representar um papel preponderante, em que os botânicos se familiarizaram com a estrutura interna das plantas e puderam melhor determinar as relações entre as estruturas microscópicas dos órgãos e as funções reveladas pela experimentação.

Se, na história da ciência, a introdução de novos conhecimentos representou um avanço nas idéias e mudança nos paradigmas, no ensino de ciências o mesmo não ocorreu. A pesquisa constatou que o aluno jamais conseguiu abandonar a idéia de que plantas alimentam-se de substâncias nutritivas

obtidas no solo, mesmo que tenha “na ponta da língua” uma definição correta de fotossíntese. Cabe ao professor de ciências buscar a superação desses equívocos e impasses presentes no ensino desse importante tema.

Implicações para o ensino da fotossíntese

A partir de concepções dos estudantes em relação a esses aspectos elementares, torna-se possível traçar um programa de estudos em que eles possam colocar à prova seus modelos e idéias. Os modelos dos estudantes devem ser desafiados a esclarecer três aspectos fundamentais: a) de onde provém a energia utilizada por animais e vegetais?; b) de onde provém o material necessário para a síntese de substâncias orgânicas diversificadas em animais e vegetais? e c) qual o local onde a energia presente nos alimentos é liberada com o auxílio do oxigênio, em animais e vegetais?

É evidente que não se espera a superação de todos os modelos e idéias errôneas em espaço curto de tempo, mesmo porque o contato com fontes de informações errôneas persistirá ao longo do processo de ensino e aprendizagem. Até mesmo do ponto de vista teórico tem sido questionada a idéia de que a aprendizagem conceitual possa ter caráter vicariante (Mortimer, 1995), onde novos conceitos devam necessariamente substituir modelos anteriores, que deveriam desaparecer sem deixar vestígios. É possível conceber um processo de aprendizagem que possa estruturar modelos corretos sobre nutrição vegetal, ainda que persistam antigas crenças e suposições.

Mais do que a correção conceitual que se espera nos estudantes, deve-se prestar atenção às relações funcionais entre as estruturas envolvidas na nutrição vegetal, a partir de uma abordagem integrada do organismo e desse com o ecossistema, envolvendo as transformações de matéria e energia que ocorrem nos processos biológicos. É importante também interrelacionar aspectos macro e microscópicos em um mesmo organismo, desde o nível celular até as trocas gasosas com o meio ambiente. Significa dizer que, no ensino de ciências, a fotossíntese não deve ser abordada como um tópico isolado, mas no contexto dos processos que realizam a nutrição autotrófica.

O tratamento conceitual deverá ser acompanhado de atenção à terminologia, procurando evitar a sobreposição de significados cotidiano e científico. As dificuldades semânticas relativas a interpretações variadas dos termos “nutrição”, “alimento” e “energia”, que são bastante freqüentes, mesmo entre especialistas, devem ser explicitadas e contextualizadas no processo de ensino e aprendizagem.

Com essas diretrizes espera-se poder modificar a compreensão do aluno e professores a respeito deste importante componente do currículo das ciências: a fotossíntese. Certamente, nessa difícil tarefa, estarão juntos professores de ciências, quer sejam formados em biologia, química ou física.

Notas

1. Esta pesquisa resultou em uma tese de doutorado (Kawasaki, 1998).
2. Uma ampla revisão de trabalhos sobre pesquisas que investigam a compreensão dos estudantes sobre os processos envolvidos na nutrição vegetal foi feita antes do planejamento e realização das entrevistas com estudantes.
3. Existem muitas edições e traduções das obras de Aristóteles. A afirmação do texto faz parte de uma obra intitulada “*De partibus animalium*”, referida por Sachs (1892).
4. A teoria do flogístico explicava que no processo de combustão o objeto queimado perdia uma substância chamada “flogístico” para o ar atmosférico, mesmo observando-se que após a combustão havia aumento e não perda de massa. Essa substância tornava o ar impróprio à respiração e à realização da combustão. Lavoisier demonstrou que o aumento da massa que ocorria na combustão era proveniente da combinação de uma substância com o ar respirável, que mais tarde foi chamada de oxigênio. Concluiu que a respiração, inclusive a humana, era simplesmente um processo de combustão semelhante ao da queima de uma vela (São Paulo, Secretaria de Estado da Educação/CENP, 1994).

Referências bibliográficas

- BARDIN, L. *Análise de conteúdo*. Lisboa: Edições 70, 1991.
- BARKER, M. A plant is an animal standing on its head. *Journal of Biological Education*, v. 29, n. 3, p. 201-208, 1995.
- BIZZO, N.M.V. e KAWASAKI, C.S. Este artigo não contém colesterol: pelo fim das imposturas intelectuais no ensino de ciências. *Projeto – Revista de Educação*, ano 1, n. 1, p. 25-34, 1999.
- BOGDAN, R. E BIKLEN, S. *Qualitative research for education: an introduction to theory and methods*. Boston: Allyn and Bacon, 1992.
- KAWASAKI, C.S. *Nutrição vegetal: campo de estudo para o ensino de ciências*. Tese de Doutorado. FE-USP, São Paulo, 1998.
- KAWASAKI, C.S. e BIZZO, N.M.V. Idéias de nutrição vegetal: o velho dilema entre o papel nutricional das raízes e da fotossíntese. *Projeto – Revista de Educação*, ano 1, n. 1, p. 2-9, 1999.
- KUDE, V.M.M. Como se faz um projeto de pesquisa qualitativa em psicologia. *Psico*, v. 28, n. 1, p. 9-34, 1997.
- LÜDKE, M. e ANDRE, M.E.D.A. de. *Pesquisa em educação: abordagens qualitativas*. São Paulo: E.P.U., 1986.
- MARTINS, R.A. A teoria aristotélica da respiração. *Cad. Hist. Filos. da Ciência*, série 2, v. 2, n. 2, p. 165-212, 1990.
- MORTIMER, E.F. Conceptual change or conceptual profile change? *Science & Education*, v. 4, 267-285, 1995.
- SACHS, J.V. *Histoire de la botanique – du XVI^e siècle a 1860*. Trad. Henry de Varigny. Paris: C. Reinwald & Cie., 1892.
- SÃO PAULO. SECRETARIA DE ESTADO DA EDUCAÇÃO/CENP. Fotossíntese: uma abordagem histórica. *TV Escola: ensino a distância*. São Paulo, SE/CENP, 1994.

Importância, Sentido e Contribuições de
PESQUISAS
Para o Ensino de Química

**Roseli Pacheco Schnetzler e
Rosália Maria Ribeiro Aragão**
Faculdade de Educação da Unicamp,
Campinas - SP

Por que pesquisar o ensino?

Pricipalmente devido a cursos de licenciatura pouco eficientes para a formação de professores, é comum encontrarmos em inúmeros colegas uma visão muito simplista da atividade docente. Isso porque concebem que para ensinar basta saber um pouco do conteúdo específico e utilizar algumas técnicas pedagógicas, já que a função do ensino é transmitir conhecimentos que deverão ser retidos pelos alunos. Esse ensino, usualmente denominado 'tradicional'

“é caracterizado pelo verbalismo do mestre e pela memorização do aluno (...) Os alunos são instruídos e ensinados pelo professor. Evidencia-se preocupação com a forma acabada: as tarefas de aprendizagem quase sempre são padronizadas, o que implica poder recolher-se à rotina para se conseguir a fixação de conhecimentos/conteúdos/informações.”
(Mizukami, 1986, p. 14)

Muito embora encontremos atualmente formas diferenciadas de ensino tradicional, configuradas em função do estilo cognitivo do professor, não parece haver dúvidas de que a prática pedagógica de cada professor manifesta suas concepções de ensino, de aprendizagem e de conhecimento, como também suas crenças, seus sentimentos, seus compromissos políticos e sociais. Uma prática de ensino encaminhada quase exclusivamente para a retenção, por parte do aluno, de enormes quantidades de informações passivas, com o propósito de que essas sejam memorizadas, evocadas e devolvidas nos mesmos termos em que foram apresentadas – na hora dos exames, através de provas, testes, exercícios mecânicos repetitivos – expressa muito bem uma concepção de ensino-aprendizagem correspondente ao modelo de transmissão-recepção (tradicional). Há, numa prática assim proposta, poucos indícios de que o ensino possa visar à compreensão do aluno e, certamente, ao usar o termo

A seção “Pesquisa no ensino de Química” relata investigações relacionadas a problemas no ensino de química, explicitando os fundamentos teóricos e procedimentos metodológicos adotados na pesquisa e analisando seus resultados.

Este artigo procura justificar a importância da seção, apresentando algumas das principais tendências de pesquisas em educação química.

pesquisa, ensino de química

Este artigo foi publicado originalmente na revista *Química Nova na Escola* n. 1, 1995.

'compreensão', o professor superpõe essa idéia à de 'memorização' e à de 'proposição verdadeira', posto que ambas parecem de fato compatíveis com o verbalismo (as formas *verbatim*), a forma acabada, as tarefas padronizadas, a rotina, as formas mecânicas para fixação de conhecimentos/conteúdos/informações e até de procedimentos. O termo 'compreensão', no entanto, utilizado para expressar objetivos educacionais, jamais pode ser usado como referência ao produto de aprendizagem, mas sim a uma qualidade que se manifesta em qualquer processo de aprendizagem que possa ser válido em termos educativos. O que constitui compreensão não se pode padronizar, nem se pode definir cabalmente de forma operacional em termos tais que possam ser mensurados (Aragão, 1993).

Evidentemente, professores que se pautam em tal modelo dificilmente perceberão a necessidade de pesquisar sobre o ensino que desenvolvem, já que a pouca aprendizagem de seus alunos usualmente é por aqueles atribuída à falta de base e de interesse dos discentes e à falta de condições de trabalho na escola (não há laboratórios, os salários são aviltantes). Como para tais professores só há problemas de aprendizagem, não de ensino (!), não vêem razão ou necessidade para a pesquisa nesse campo.

Essa maneira simplista, retrógrada e, até mesmo, autoritária de conceber o processo de ensino certamente não deixa transparecer a complexidade que caracteriza todo ato de ensinar. Para enfocarmos tal complexidade, mesmo que resumidamente, torna-se importante destacarmos que a função do ensino não está centrada na transmissão de conhecimentos prontos e verdadeiros para alunos considerados 'tábulas rasas', isto é, mentes vazias a serem preenchidas com informações. Na realidade, pelo simples fato de estarem no mundo e de procurarem dar sentido às inúmeras situações com as quais se defrontam em suas vidas, os alunos já chegam a nossas aulas de química com idéias preconcebidas sobre vários fenômenos e conceitos químicos, idéias em geral distintas daquelas que lhes serão ensinadas. Para os alunos, suas concepções prévias ou alternativas fazem sentido, e por esse motivo são muitas vezes tão resistentes à mudança que comprometem a aprendizagem das idéias ensinadas, além de determinarem o entendimento e desenvolvimento das atividades apresentadas em aula.

Nessa perspectiva, a aprendizagem já não é mais entendida como uma simples recepção ou internalização de alguma informação recebida de fora, isto é, dita pelo professor, mas passa a ser encarada como reorganização, desenvolvimento ou evolução das concepções dos alunos. Em outros termos, a aprendizagem passa a ser concebida como mudança ou evolução conceitual. Conseqüentemente, o ensino, longe de ser centrado na simples transmissão de informações pelo professor, passa a ser conceituado como um processo que visa à promoção de tal evolução ou mudança nos alunos (Schnetzler, 1992).

Além disso, é importante, para entendermos a complexidade do ato de ensinar, considerarmos o objeto de estudo e de investigação dessa área: a educação química – à qual todos nós, professores de química, pertencemos.

A educação química é compreendida como uma área da química, embora se distinga das demais áreas dessa ciência (química orgânica, físico-química etc.) não só pelo seu objeto de estudo e de investigação mas também pelo pouco tempo de sua constituição como área. Diferentemente das demais, a educação química é muito jovem, não tendo mais de 30 anos em termos internacionais e sendo ainda adolescente em termos brasileiros, já que entre nós as primeiras pesquisas datam de 1978.

Frente ao pouco tempo de tradição como área de investigação, é natural que a educação química, tanto em termos internacionais como nacionais, não mereça ainda, por parte da comunidade química como um todo, a mesma credibilidade das outras áreas. O seu maior reconhecimento depende, fundamentalmente, da divulgação da sua capacidade de resolver problemas que não podem ser resolvidos pelas outras áreas da química, já que o domínio do conhecimento químico é uma condição necessária, mas não suficiente para se ter um bom processo de ensino-aprendizagem (Bunce e col, 1992).

Ao se concentrar basicamente nas relações que se estabelecem entre os três elementos constitutivos de tal processo – alunos, professor e conhecimento químico – e levando em conta as inúmeras variáveis que determinam o contexto social e político do processo educativo, a área de educação química, diferentemente das demais áreas da química, não possui teorias próprias que dêem conta de explicar e prever a comple-

xidade do ato de ensinar e de aprender um conhecimento específico, também fruto de uma construção humana, histórica e social.

Pelo fato de nosso objeto fundamental de estudo e investigação concentrar-se no processo de ensino-aprendizagem do conhecimento químico – diferentemente das outras áreas da química, que basicamente preocupam-se com interações entre átomos e moléculas, com a dinâmica e os mecanismos de transformações químicas –, nós, da área de educação química, nos envolvemos com interações entre pessoas (alunos e professores) e com a dinâmica do conhecimento nas aulas de química. Por isso, precisamos recorrer às contribuições teóricas da filosofia, da psicologia, da sociologia, da antropologia etc., e nelas encontrar suporte para buscarmos também delineamentos metodológicos para a realização de nossas pesquisas.

Se, portanto, o objetivo central da educação química é melhorar o ensino e a aprendizagem de química, as pesquisas nessa área versam, em sua maioria, sobre desenvolvimento curricular e de novos materiais de ensino e técnicas instrucionais, com avaliação de seus impactos; sobre a identificação de como os alunos entendem e atribuem significados às idéias químicas; sobre a proposição e a avaliação de modelos para a formação continuada de professores e, ainda, sobre a proposição de mecanismos para uma divulgação mais ampla da química e de sua importância social junto ao grande público. Buscam, sobretudo, identificar variáveis que afetam o ensino e a aprendizagem e propõem e avaliam modelos para o aperfeiçoamento do processo em sala de aula.

Apesar de ter apenas 30 anos, o rápido desenvolvimento da área e o interesse crescente de químicos em pesquisar sobre o ensino e a aprendizagem de química podem ser evidenciados pela publicação, usualmente mensal, de cerca de pelo menos 30 novos periódicos internacionais especializados em pesquisas sobre educação em ciências, das quais inúmeras versam sobre educação química.

No nosso caso, pesquisas sobre educação química têm sido usualmente publicadas na seção de educação da revista *Química Nova* da Sociedade Brasileira de Química (SBQ). No entanto, é nos anais das reuniões anuais da referida sociedade e das sete edições do Encontro Nacional de Ensino de Química (ENEQ) já ocorridas, que podemos encontrar um número mais expressivo de comunicações de pesquisa.

Por fim, um outro dado que evidencia o crescente desenvolvimento da educação química em nosso país diz respeito à realização sistemática de vários encontros regionais sobre ensino de química. Nesse particular, temos a realização anual dos EDEQs (Encontro de Debates sobre Ensino de Química), desde 1980, e dos ECODEQCs (Encontro Centro-Oeste de Debates sobre Ensino de Química e Ciências), a partir de 1989; dos ENNEQs (Encontro Norte-Nordeste de Ensino de Química) a partir de 1990, e dos ESEQs (Encontro Sudeste de Ensino de Química) desde 1992, que ocorrem, à semelhança dos ENEQs (Encontro Nacional de Ensino de Química), bianualmente, sendo que esse último começou a fazer história em 1982.

Com esse rápido desenvolvimento da área de educação química em termos internacionais e também nacionais, é de se esperar que as pesquisas tenham gerado avanços significativos no conhecimento e inúmeras contribuições potenciais para a melhoria do trabalho docente em química.

Principais tendências das pesquisas em educação química e suas contribuições para a melhoria do trabalho docente em química

Em termos históricos, o crescente interesse em pesquisas sobre educação em ciências – e, dentro dessa grande área, sobre educação química – foi o resultado direto do movimento de reforma curricular que ocorreu, principalmente nos Estados Unidos e Inglaterra, com o desenvolvimento dos projetos CBA (Sistemas Químicos), e CHEMS (Química: uma ciência experimental) e do Nuffield de Química, na década de 60.

Em oposição aos cursos tradicionais de química até então existentes, que se caracterizavam por serem muito extensos, descritivos, enfatizando o acúmulo de informações e o uso de demonstrações experimentais que visavam a confirmar o já ensinado na teoria (Pode, 1967), os projetos acima referidos procuravam enfatizar: i) a natureza e a estrutura da química e os processos de investigação científica; ii) a diferença entre observação e interpretação, entre resultados e esquemas conceituais; iii) a profundidade, e não a extensão do conteúdo; iv) o uso do laboratório para introduzir, explorar e sugerir problemas; v) o emprego de investi-

gações como base para o desenvolvimento do curso, e vi) discussões em sala de aula (Klopfer, 1971).

Segundo Kempa (1976), esse movimento deu origem a muitas áreas de investigação, como por exemplo a estrutura de conteúdo das várias disciplinas científicas, os objetivos da educação em ciências, a efetividade de diferentes abordagens instrucionais, os vários meios disponíveis para a comunicação de conceitos científicos e os efeitos dos novos currículos sobre a aprendizagem e atitude dos alunos com relação à ciência.

Outro aspecto positivo de tal movimento foi gerar a constituição de várias equipes de investigação, embora as pesquisas na época fossem fortemente apoiadas em contribuições da psicologia comportamental, em uma visão epistemológica empirista de ciência, e fossem desenvolvidas segundo modelos de investigação que privilegiavam uma abordagem quantitativa e estatística de resultados advindos de comparações entre grupos (controle e experimental).

Nesses primórdios das pesquisas na área, podemos entender que tais ênfases visassem, erroneamente, a conferir uma maior 'cientificidade' aos resultados, à semelhança das pesquisas nas áreas científicas. No entanto, os resultados pouco promissores da avaliação dos referidos projetos em termos da aprendizagem dos alunos e as críticas de mitificarem o método científico, de fazerem dos alunos pequenos cientistas e de enfatizarem o indutivismo e a aprendizagem por descoberta, levaram a comunidade de educadores em ciências, no final dos anos 70, a repensar as abordagens e os objetivos das investigações na área.

Contribuições do movimento de reforma curricular

- *A idéia de currículo em espiral*, que implica a seleção de conceitos fundamentais e em sua organização através de grandes temas centrais, promovendo um maior inter-relacionamento entre as informações químicas, em oposição à 'colcha de retalhos' que até então caracterizava o conteúdo de livros e de cursos secundários de química.

- *A ênfase no ensino experimental*, em oposição à tradição das aulas expositivas.

- *A não-dicotomia entre teoria e prática*, em oposição à tradicional separação entre disciplinas teóricas e experimentais.

- *As discussões em sala de aula*, em oposição à tradicional hegemonia do discurso do professor.

Os aspectos positivos dessas contribuições são ainda verificáveis em projetos de ensino de química concebidos na década de 80, inclusive em nosso país, como por exemplo o Proquim, da FE-UNICAMP; o GEPEQ, do IQ-USP; o Aprendendo Química, do COLTEC-UFMG, e o Construindo Conceitos Químicos, da UNIJUÍ.

As principais críticas feitas aos projetos naquela época se constituem também como contribuições para o avanço do conhecimento na área:

- *a ênfase na aprendizagem por descoberta*, através da qual o aluno constrói conceitos e princípios científicos a partir da observação e coleta de dados experimentais, sendo que para tal construção o aluno parte 'do zero'. Em outras palavras, o aluno era visto como 'tábula rasa';

- *a mitificação do método científico* como um método todo poderoso que leva à descoberta das verdades científicas a partir de observações objetivas e neutras. Tal método, decomposto em suas várias etapas de i) observação cuidadosa e coleta sistemática de dados experimentais; ii) busca de regularidades; iii) elaboração de generalizações, e iv) comunicação de 'verdades' era usualmente apresentado nas primeiras páginas dos livros ou era descrito, pelo professor, nas primeiras aulas de química.

Face a tais críticas e, principalmente, aos resultados pouco promissores da avaliação dos projetos curriculares, os educadores em ciências, que anteriormente imaginavam saber a melhor forma de ensinar, são levados, ao final dos anos 70, a buscar os *porquês* e os *como* do processo de ensino-aprendizagem. Nesse sentido passam, principalmente, a desenvolver investigações sobre como os alunos aprendem conceitos científicos.

Esses novos rumos das investigações sobre a educação em ciências implicaram que essas passassem a ser desenvolvidas segundo metodologias qualitativas de pesquisa com ênfase em estudo de casos, nas quais observações em sala de aula, realização de entrevistas, elaboração de textos e desenhos por

parte dos alunos passaram a ser os instrumentos mais freqüentemente utilizados para coleta de dados. Além disso, os pesquisadores passaram a se fundamentar em contribuições da psicologia cognitivista e a adotar posições epistemológicas mais racionalistas e contemporâneas de ciência que pressupõem a existência de estruturas teóricas prévias que orientam a observação científica. Assim, essa já não é mais considerada objetiva nem neutra, mas preparada e orientada por teorias e/ou modelos que, por serem construções humanas com propósitos explicativos e previsivos, são provisórias (Santos, 1991 e Cleminson, 1990).

Assim, de uma tradição centrada na transmissão de conhecimentos científicos prontos e verdadeiros para alunos considerados 'tábulas rasas', o processo de ensino-aprendizagem de ciências e química, no caso, passa a ser concebido, a partir dos anos 80, sob orientações construtivistas, cuja tônica passa a residir na construção e reconstrução ativa do conhecimento por parte do sujeito humano.

Baseadas nessa 'revolução' de concepções, centenas de pesquisas têm sido realizadas nestes últimos 15 anos em domínios conceituais específicos, constituindo o que é denominado na literatura 'movimento das concepções alternativas' (MCA). A amplitude de tal movimento pode ser evidenciada, por exemplo, no levantamento bibliográfico realizado por Pfundt e Duit em 1991, que registra até então cerca de duas mil pesquisas.

Dentre as 153 concernentes a temas e conceitos químicos, tem-se o predomínio de investigações envolvendo transformação química, equilíbrio químico, estrutura da matéria e soluções.

Os resultados dessas e de outras pesquisas mais recentes é que nos revelam, por exemplo, que os alunos compreendem as transformações químicas como uma justaposição de substâncias e não como interação entre suas partículas constituintes; que entre os reagentes há sempre um que é o principal, sendo este usualmente sólido ou ácido; que, no equilíbrio, as concentrações dos reagentes e produtos precisam ser iguais; que uma barra de metal dilata porque seus átomos dilatam, já que os alunos tendem a associar propriedades macroscópicas a entidades microscópicas.

O conhecimento de tais resultados e de outros relativos a outros conceitos químicos já pesquisados na literatura torna-se importante para nós, professores de química, porque baseando-nos nesse conhecimento podemos melhor organizar nosso ensino, tanto ao planejar estratégias e atividades de ensino que promovam a evolução das concepções 'errôneas' dos alunos em direção às idéias quimicamente aceitas como ao evitar que nosso ensino gere ou reforce a construção de concepções errôneas em nossos alunos.

Contribuições do movimento das concepções alternativas para a melhoria do trabalho do docente em sala de aula

- O aluno não é tábula rasa; é possuidor e construtor de idéias.
- O ensino e a aprendizagem não são sinônimos de transmissão e recepção de informações: a aprendizagem implica evolução conceitual, e o ensino, sua promoção.
- As concepções prévias dos alunos são resistentes à mudança e os fazem entender, diferentemente do professor, as atividades e os propósitos do processo de ensino. O processo de ensino-aprendizagem envolve explicitação, negociação e construção de significados. A linguagem não é congelada nem rígida.
- O mais importante é promover a evolução conceitual dos alunos, levando em conta suas concepções prévias acerca de conceitos fundamentais da química, e não o cumprimento integral do programa.
- O aluno não constrói conhecimentos sozinho; o professor é o mediador de tal construção.
- O professor precisa ser também um ouvinte e saber respeitar e valorizar as idéias de seus alunos. As aulas, então, precisam ser lugares de promoção de debates, discussões, especulações, não de transmissões de certezas.
- A função do professor é também a de lançar desafios para seus alunos, e propiciar a evolução de suas idéias, as quais passam a ser o centro do processo de avaliação do aluno.
- O processo de ensino não se configura em termos de uma apresentação seqüencial e linear de conceitos, mas exige com freqüência que os conceitos já abordados sejam retrabalhados sob novas

formas, para que sejam ampliados e consolidados pelos alunos, evitando dessa forma que esses retornem a suas concepções prévias.

- O professor precisa saber identificar as concepções prévias de seus alunos sobre o fenômeno ou conceito em estudo. Em função dessas concepções, precisa planejar, desenvolver e avaliar atividades e procedimentos de ensino que venham a promover evolução conceitual nos alunos em direção às idéias cientificamente aceitas. Enfim, deve atuar como professor-pesquisador.

Tais contribuições, no entanto, ainda têm sido pouco incorporadas pelos professores em seu trabalho docente (Schnetzler, 1994).

Por isso, nas palavras de Smith e Anderson (1984):

“(...) entre os resultados de aprendizagem importantes que a formação de professores deveria buscar, podemos citar os seguintes: i) um enfoque de aprendizagem baseado na evolução conceitual; ii) conhecimento de estratégias que sejam úteis para a consecução de evolução conceitual; iii) conhecimento das concepções alternativas mais freqüentes de alunos para vários temas ou conceitos científicos importantes, bem como de estratégias específicas para alterá-las; iv) habilidade para selecionar e adaptar materiais curriculares baseados em concepções alternativas mais comuns mantidas pelos estudantes e para reconhecê-las a partir de suas respostas, e vi) a visão de que a teoria é algo que se constrói para explicar as observações, em vez de algo que se deriva objetiva e diretamente delas.” (p. 697) [tradução nossa]

Não é nada gratificante constatar que dentre o grande número de pesquisas que constituem o movimento das concepções alternativas, muitas delas evidenciam que concepções ‘errôneas’ de alunos sobre inúmeros conceitos científicos importantes foram detectadas mesmo após eles terem freqüentado e sido aprovados em cursos de ciências. Se por um lado tais pesquisas comprovam a resistência à mudança das concepções prévias dos alunos, por outro apontam que a persistência das mesmas se deve ao fato da maioria dos professores de ciências ainda não as levarem em conta, pois concebem seus alunos como tábulas rasas e utilizam procedimentos de avaliação que solicitam a ‘resposta certa’, impedindo que os alunos manifestem como realmente entendem os conceitos (Driver e Erickson, 1983; Osborne e Wittrock, 1983; Gilbert e Watts, 1983; Hashweh, 1986).

O grande acúmulo de resultados relativos às concepções alternativas de alunos sobre inúmeros conceitos científicos importantes e o propósito dos pesquisadores de aprofundar investigações sobre os porquês e os ‘como’ do processo de ensino-aprendizagem de ciências com vistas à sua melhoria, promoveram a intensificação da realização de pesquisas, principalmente sobre *três grandes* linhas de investigação que, por sua vez, mantêm estreitas e importantes inter-relações: i) estratégias e modelos de ensino para a promoção de evolução conceitual nos alunos; ii) o papel da linguagem na construção dos conceitos científicos, e iii) o pensamento e a formação (continuada) de professores.

A principal justificativa para a realização de pesquisas na primeira linha (i) provém da resistência à mudança das concepções prévias dos alunos.

Sempre que um aluno adquire uma nova informação ou habilidade sobre um determinado conceito, esse muda ou se transforma; tal mudança parece ser fácil de ser promovida, pois tudo que o professor aparentemente teria de fazer seria propiciar a obtenção de informações e o desenvolvimento de habilidades por parte do aluno. Assim seria se o aluno fosse uma tábula rasa a ser preenchida com conhecimentos. Acontece que, felizmente, a mente dos alunos já está repleta de idéias por eles construídas ao longo de suas vidas. Por isso, o termo mudança ou evolução conceitual, conforme utilizado pelos pesquisadores da área, pressupõe, por parte do aluno, a consciência de sua concepção alternativa, a reconsideração de seu valor e precisão frente a uma nova concepção que lhe seja ensinada pelo professor, e a decisão de reestruturá-la, reformulá-la ou até substituí-la.

A principal justificativa para a segunda grande linha de investigações, isto é, a que estuda e pesquisa o

papel da linguagem na construção de conceitos científicos, assenta-se no fato de que a linguagem é o espaço onde construímos e expressamos nossas idéias, no qual interagimos com os outros e com o mundo. É no âmbito da linguagem que ensinamos química, ainda mais frente à enorme quantidade de conceitos altamente abstratos que não podem ser ‘experenciados’ pelos alunos, como os átomos, moléculas, elétrons, íons, ligações químicas, dentre outros. É no espaço de utilização da linguagem que os alunos aprendem, nas suas tentativas de atribuir significados a palavras estranhas que sempre usamos em nossas aulas e, também, a palavras que são usadas na linguagem cotidiana mas que no entanto denotam conceitos químicos cujos significados são muito diferentes daqueles empregados no dia-a-dia. Exemplos disso são as palavras solução, propriedade, equilíbrio, partícula – sendo que esta última, para nós professores, é sempre sinônimo de um constituinte invisível das substâncias, mas para os alunos significa ‘alguma coisa pequena’ mas concreta, como um grãozinho de areia ou de açúcar.

Assim, torna-se fundamental que o professor explicita os significados das palavras que utiliza em suas mensagens, bem como abra espaços frequentes em suas aulas para que seus alunos expressem seus significados a fim de atingirem a negociação e o consenso. Isso demanda que as aulas se tornem lugares de debate e discussões.

Finalmente, em termos da terceira grande linha de investigação, relativa ao pensamento do professor e a sua formação continuada, três justificativas muito fortes a sustentam.

A primeira delas é que a melhoria efetiva do processo de ensino-aprendizagem só acontece através da ação do professor, o que demanda, de sua parte, um contínuo processo de aprimoramento profissional e de reflexão crítica sobre sua prática.

A segunda justificativa pauta-se na necessidade de se superar o distanciamento entre o desenvolvimento de pesquisas no ensino de química e a utilização das mesmas para a melhoria desse ensino em sala de aula. Nesse sentido, há uma convicção crescente de que a pesquisa educacional precisa ser feita com a participação do professor, pois não é mais possível separar a atividade de professor da atividade de pesquisador, se pretendemos alcançar uma melhor qualidade de ensino. Em outras palavras, precisamos atuar como professores-pesquisadores, o que implica que tal binômio constitua o objetivo fundamental de cursos de licenciatura e de programas de formação continuada de professores.

Nas palavras de Maldaner (1994),

“O professor-pesquisador que se pretende seja construído é aquele capaz de refletir a sua prática de forma crítica, que vê a sua realidade de sala de aula carregada de teorias e intenções de achar saídas para os problemas que aparecem no dia-a-dia. É o professor-pesquisador que procura saber o pensamento do aluno e o coloca em discussão para possibilitar a construção de um conhecimento mais consistente, mais defensável, mais útil para a tomada de decisões. É o professor-pesquisador que vê a avaliação como parte do processo e ponto de partida para novas atividades e novas tomadas de rumo em seu programa de trabalho. É claro que um professor assim atua sob um referencial teórico claro sobre o que é ensino, o que é aprendizagem, como se dá o conhecimento humano, qual o verdadeiro objeto de trabalho de sua matéria. Tomar consciência do referencial que se tem é uma tarefa de cada professor-pesquisador. A melhor maneira de fazê-lo é a reflexão sobre a própria prática, ou sobre as transformações causadas em nossas salas de aula a partir de nossas atividades. Se essa reflexão for conduzida em grupos de estudo e de pesquisa de professores, cujo objeto é a própria atividade profissional, os resultados serão mais profundos e os avanços mais consistentes.” (p. 7)

Finalmente, a terceira razão que apontamos para justificar a importância dessa linha de investigação é que, no geral, os professores têm uma visão muito simplista da atividade docente, razão essa com a qual iniciamos este artigo. Ao reiterá-la nestas considerações finais, pretendemos realçar a importância da seção de pesquisa no ensino nesta revista dirigida ao professor de química.

Este artigo foi extraído dos textos das conferências proferidas pelas autoras respectivamente na edições VI e VII do Encontro Nacional de Ensino de Química, ocorridas em 1992 e 1994.

Referências bibliográficas

- ARAGÃO, R. M.R. Reflexões sobre ensino, aprendizagem, conhecimento. *Revista de Ciência e Tecnologia*, 2(3): 7-12, 1993. Conferência apresentada no VI Encontro Nacional de Ensino de Química, julho, Universidade de São Paulo.
- BUNCE, D.; GABEL, D.; HERRON, D. and JONES, L. Chemistry education research. Paper. The ACS Division of Chemical Education, 1992.
- CLEMINSON, A. Establishing an epistemological base for science teaching in the light of contemporary notions of the nature of science and of how children learn science. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(5): 429-446, 1990.
- DRIVER, R. and ERICKSON. Theories in action: some theoretical and empirical issues in the study of students conceptual framework in science. *Studies in Science Education*, 10: 37-60, 1993.
- GILBERT, J. and WATTS, M. Concepts, misconceptions and alternative conceptions: changing perspectives in science education. *Studies in Science Education*, 10: 61-98, 1983.
- HASHWEH, M.Z. Toward an explanation of conceptual change. *European Journal of Science Education*, 8(3): 229-249, 1986.
- KEMPA, R.F. Science education research: some thoughts and observations. *Studies in Science Education*, 3: 97-105, 1976.
- KLOPFER, L. Evaluation of learning in science. In: Bloom, B.; Hasting, T. and Madaus, G., *Handbook on formative and summative evaluation of student learning*. New York, McGraw-Hill Company, 1971, chapter 18: 561-641.
- MALDANER, O.A. A formação de grupos de professores-pesquisadores como fator de melhoria da qualidade educacional no ensino médio e fundamental. Trabalho apresentado no VII ENDIPE, Goiânia (GO) em 8 de junho, 1994.
- MIZUKAMI, M.G. *Ensino: as abordagens do processo*. São Paulo, E.P.U., 1986.
- OSBORNE, R. and WITTRICK, C. Learning science: a generative process. *Science Education*, 67(4): 489-508, 1993.
- PFUNDT, H. and DUIT, R. *Bibliography: students alternative frameworks and science education*. (3rd. edition), Kiel, IPN, 1991.
- PODE, J. Los cursos CBA y CHEMS: una crítica apreciativa. *Revista Iberoamericana de Educación Química*, 2(2): 58-64, 1967.
- SANTOS, M. E. *Mudança conceitual na sala de aula: um desafio pedagógico*. Lisboa, Livros Horizonte Ltda., 1991.
- SCHNETZLER, R.P. Construção do conhecimento e ensino de ciências. *Em Aberto*, 11(55): 17-22, 1992.
- _____. Do ensino como transmissão para um ensino como promoção de mudança conceitual nos alunos: um processo (e um desafio) para a formação de professores de química. Trabalho apresentado na XVI Reunião da ANPED, Caxambu (MG), em 13 de setembro, *Cadernos ANPED*: 55-89, 1994.
- _____. A pesquisa em ensino de química: avançando o conhecimento e contribuindo para o trabalho do professor. Conferência apresentada no VII Encontro Nacional e II Encontro Sudeste de Ensino de Química, 18 de julho, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte - MG, 1994.
- SMITH, E. and ANDERSON, C. Plants as producers: a case study of elementary science teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, 21(7): 685-698, 1984.

Para saber mais

Participe dos encontros regionais e nacionais de ensino de química promovidos pela Divisão de Ensino da Sociedade Brasileira de Química.

FUNÇÃO SOCIAL

O que Significa Ensino de Química para Formar o Cidadão?

Wildson Luiz P. dos Santos

Departamento de Química da Universidade de Brasília, Brasília - DF

Roseli Pacheco Schnetzler

Faculdade de Educação da Unicamp, Campinas - SP

A educação para a cidadania é função primordial da educação básica nacional, conforme dispõe a Constituição Brasileira e a legislação de ensino. Além disso, tal função tem sido defendida pelos educadores para o ensino médio, o qual inclui o ensino de química.

Mas o que significa ensinar química para o cidadão? Será que o cidadão precisa de conhecimentos em química? Será que o ensino de química que temos ministrado em nossas escolas tem preparado nossos jovens para o exercício consciente da cidadania? Será que ensinar química para o cidadão é o mesmo que preparar alunos para o vestibular?

Considerando que tais questões têm sido objeto de discussão nos Encontros de Ensino de Química, resolvemos desenvolver a presente pesquisa, visando a levantar características do ensino de química para formar o cidadão, enfocando reflexões sobre as questões acima. Para isso foram realizadas entrevistas com educadores químicos brasileiros¹, já que os mesmos constituem hoje uma comunidade científica consolidada, que vem defendendo a formação da cidadania como objetivo básico do ensino médio de química.

Metodologia da pesquisa

O trabalho foi desenvolvido mediante a análise do conteúdo de entrevistas semi-estruturadas realizadas com os referidos educadores, visando a investigar como entendem e configuram propostas relativas ao ensino de química para formar o cidadão.

A análise de conteúdo é um processo analítico que se aplica a discursos. É constituída por um conjunto de técnicas múltiplas que visam a interpretar o conteúdo das informações obtidas.

Adotando-se critérios objetivos, foram selecionados 12

Este artigo apresenta resultados de pesquisa realizada junto a educadores químicos brasileiros sobre as significações do ensino de química para formar o cidadão, sugerindo procedimentos curriculares que viabilizem o desenvolvimento dos alunos para o exercício consciente da cidadania.

*ensino médio de química, cidadania,
educação química*

Este artigo foi publicado originalmente na revista *Química Nova na Escola* n. 4, 1996.

educadores químicos. A análise do currículo dos mesmos evidencia que a clientela delimitada foi constituída por pessoas com formação acadêmica tanto em química, como em educação, com efetiva atuação na área de educação química e com larga experiência no magistério, no ensino superior, no ensino médio e em cursos de formação de professores.

A análise de conteúdo das entrevistas envolveu três etapas: a pré-análise, a codificação das informações e o tratamento e interpretação dos resultados.

A codificação consistiu na transformação sistemática dos dados brutos em unidades que expressaram seu conteúdo, o que implicou o recorte da 'fala' dos entrevistados em unidades de registro (UR). A unidade de registro é a unidade de significação da entrevista, que corresponde à proposição ou proposições ou, ainda, a fragmentos de proposições do entrevistado que contém um núcleo de sentido que tem significação para a análise.

Ainda na fase de codificação, processou-se a classificação temática, que consistiu em agrupar as unidades de registro em temas. Os temas classificados relacionam-se com os elementos curriculares e com aspectos de interesse específico, como as características do ensino de química atual.

Agrupadas todas as URs em seus respectivos temas, passou-se à etapa de categorização. Para isso, as URs foram classificadas em categorias, as quais representam uma idéia comum de várias URs dos 12 entrevistados.

Para cada categoria, calculou-se a porcentagem de entrevistados que expressaram proposições a seu respeito. Ao final, foram montadas tabelas para cada tema, contendo as suas categorias com as respectivas porcentagens (Tabelas 1 a 6). Logo após, foi feita análise e interpretação do conteúdo dessas tabelas.

Análise e interpretação dos dados

Pela análise do conteúdo das entrevistas, ficou evidente que, na opinião dos entrevistados, é essencial que sejam adotadas, no Brasil, propostas de ensino de química com objetivo de formação da cidadania.

Os educadores justificaram a necessidade do ensino de química para formar o cidadão apresentando argumentos relativos às influências da química na sociedade. Tais influências passam a exigir do cidadão comum um mínimo de conhecimento químico para poder participar da sociedade tecnológica atual.

A seguir são apresentadas as principais conclusões extraídas de alguns temas categorizados na

Tabela 1 – Objetivos do ensino de química para formar o cidadão.

Nº	Categorias	%
1	Desenvolver a capacidade de participar, de tomar decisões criticamente	92
2	Compreender os processos químicos relacionados com a vida cotidiana	83
3	Avaliar as implicações sociais decorrentes das aplicações tecnológicas da química	75
4	Formar o cidadão em geral, não o especialista	75
5	Compreender a natureza do processo de construção do conhecimento científico	75
6	Compreender a realidade social em que está inserido, para que possa transformá-la	58

análise de conteúdo que apontam características do ensino de química para formar o cidadão e que o diferenciam do atual ensino de química.

Objetivos

Dos objetivos propostos pelos educadores químicos (Tabela 1), sobressai o referente ao desenvolvimento da capacidade de participar e tomar decisões criticamente, o qual caracteriza o objetivo central do ensino para formar o cidadão. Entende-se o termo 'criticamente', empregado pelos entrevistados, como sendo a capacidade de tomar decisões fundamentadas em informações e ponderadas as diversas conseqüências decorrentes de tal posicionamento.

Nesse sentido, os educadores evidenciaram que há necessidade de o aluno adquirir conhecimento mínimo de química para poder participar com maior fundamentação na sociedade atual. Assim, o objetivo básico do ensino de química para formar o cidadão compreende a abordagem de informações químicas fundamentais que permitam ao aluno participar ativamente na sociedade, tomando decisões com consciência de suas conseqüências. Isso implica que o conhecimento químico aparece não como um fim em si mesmo, mas com objetivo maior de desenvolver as habilidades básicas que caracterizam o cidadão: participação e julgamento.

Sendo assim, na concepção dos educadores entrevistados, o conhecimento químico passa a ter papel importante e, ao mesmo tempo, diferente do que tem sido caracterizado pelo ensino atual. Conforme se pode verificar na Tabela 1, a função do ensino de Química deve ser a de desenvolver a capacidade de tomada de decisão, o que segundo os entrevistados implica a necessidade de vinculação entre o conteúdo trabalhado e o contexto social em que o aluno está inserido.

Em termos gerais, as informações químicas para o cidadão, mencionadas pelos entrevistados, são aquelas relacionadas com o manuseio e utilização de substâncias; o consumo de produtos industrializados; a segurança do trabalhador; os efeitos da química no meio ambiente; a interpretação de informações químicas veiculadas pelos meios de comunicação; a avaliação de programas de ciência e tecnologia, e a compreensão do papel da química e da ciência na sociedade.

Um outro objetivo importante destacado pelos educadores é apresentar ao aluno uma concepção de ciência como processo em construção. Tal concepção enfatiza, também, o papel social da ciência, o qual é melhor compreendido quando se leva em conta seu caráter histórico.

Conteúdo programático

Na categorização das unidades de registro sobre o conteúdo programático foram elaboradas três tabelas. Na primeira, (Tabela 2) são apresentados os elementos curriculares e considerações gerais sobre o conteúdo programático. Nas demais (Tabelas 3 e 4), são enumerados os temas químicos sociais e os tópicos químicos fundamentais. A seguir, comentamos as principais considerações que podem ser extraídas dessas tabelas.

a) Conteúdo mínimo

A maioria dos educadores entrevistados (83%) considera que os conteúdos programáticos devem conter um núcleo comum mínimo de tópicos químicos fundamentais (Tabela 2). Tal constatação demonstra a necessidade de os cidadãos dominarem um mínimo de informações químicas.

Por outro lado, a maioria dos entrevistados considera que a adoção de conceitos básicos em todos os programas não pressupõe sua padronização, como acontece atualmente. Na opinião dos mesmos, os professores devem ter liberdade no processo de planejamento do ensino. Assim, os cursos de química para o cidadão podem ser estruturados de diferentes maneiras, desde que englobem o mínimo de conceitos químicos fundamentais e que atendam aos objetivos gerais propostos para aquele ensino. Tal idéia é expressa nas palavras de um dos entrevistados:

Tabela 2 – Considerações gerais sobre o conteúdo programático.

Nº	Categorias	%
1	Temas químicos sociais	100
2	Linguagem química simplificada	92
3	Cálculos químicos sem tratamento algébrico excessivo	92
4	Concepção de ciência como atividade humana em construção e aspectos históricos que caracterizem tal concepção	92
5	Experimentos químicos simples	92
6	O conteúdo programático deve conter um núcleo conceitual mínimo de tópicos químicos fundamentais	83
7	Aspectos microscópicos do conteúdo químico, por meio de modelos simples	83
8	Aspectos macroscópicos do conteúdo químico	75
9	Concepção do que é química e de seu papel social	67
10	Os conteúdos programáticos não devem ser padronizados	58
11	Os temas químicos sociais devem ser preferencialmente de caráter regional	58

Não se deve impor a ninguém o que se vai trabalhar. (...) Cada grupo deve ter a liberdade de decidir sobre o que deve ser ensinado.

Essas considerações demonstram, também, o importante papel atribuído ao professor, dentro de uma proposta de ensino para a cidadania. Nesse sentido, ele precisa dominar o conteúdo químico para saber selecionar os conceitos mais relevantes para seus alunos, ao mesmo tempo que deve ter uma visão crítica sobre as implicações sociais da química, para poder contextualizar os conceitos selecionados.

Isso é evidenciado pela categoria 1 da Tabela 2, onde, na opinião de todos os educadores, o conteúdo programático deverá estar inserido em temas químicos sociais. Tais temas, comentados a seguir, referem-se a assuntos relacionados ao conhecimento químico que afetam diretamente a sociedade, como por exemplo os recursos energéticos e a poluição ambiental (Tabela 3).

b) Temas químicos sociais

Os temas químicos sociais desempenham papel fundamental no ensino de química para formar o cidadão, pois propiciam a contextuali-

Tabela 3 – Temas químicos sociais.

Nº	Categorias	%
1	Química ambiental	83
2	Metais, metalurgia e galvanoplastia	58
3	Química dos materiais sintéticos	50
4	Recursos energéticos	50
5	Alimentos e aditivos químicos	42
6	Minerais	42
7	Energia nuclear	42
8	Medicamentos	33
9	Química na agricultura	33
10	Bioquímica	25
11	Água	25
12	Processos industriais	25
13	Petróleo, petroquímica	25
14	Drogas	17
15	Sabões e detergentes	17
16	Plásticos	17
17	Tintas	8
18	Geoquímica	8
19	Vestuário	8
20	Materiais importados pelo Brasil	8
21	Química da arte	8
22	Recursos naturais	8

Tabela 4 – Tópicos químicos fundamentais.

Nº	Categorias	%
1	Propriedades das substâncias e dos materiais	100
2	Constituição da matéria	92
3	Transformações químicas	92
4	Aspectos cinéticos das transformações químicas	75
5	Aspectos energéticos das transformações químicas	75
6	Química do carbono	75
7	Aspectos quantitativos das transformações químicas	67
8	Aspecto dinâmico das transformações químicas	58
9	Soluções	50
10	Ligações químicas	50
11	Funções químicas inorgânicas	42
12	Energia nuclear e radioatividade	33
13	Classificação periódica dos elementos químicos	25
14	Estudo dos gases	8

zação do conteúdo químico com o cotidiano do aluno, condição essa enfatizada pelos educadores como sendo essencial para o ensino em estudo. Além disso, os temas químicos permitem o desenvolvimento das habilidades básicas relativas à cidadania, como a participação e a capacidade de tomada de decisão, pois trazem para a sala de aula discussões de aspectos sociais relevantes, que exigem dos alunos posicionamento crítico quanto a sua solução.

A inclusão no conteúdo programático desses temas químicos sociais atende também aos objetivos discutidos no item anterior, de os alunos compreenderem os processos químicos do cotidiano, de avaliarem as implicações sociais das aplicações da química e de compreenderem a realidade social em que estão inseridos. Tais temas podem abordar, ainda, outro objetivo levantado, referente à concepção do papel social da química.

Todavia, para que os temas sejam abordados dentro dos objetivos mencionados acima, os mesmos devem receber um tratamento adequado. Nesse sentido, é importante destacar a preocupação central apresentada por vários entrevistados com referência à necessidade de não ser feita uma abordagem aleatória desses temas. Segundo eles, é importante que a discussão dos temas seja feita através da fundamentação em torno dos conceitos químicos e que haja organização conceitual em seu estudo, de forma a respeitar os pré-requisitos.

Alguns entrevistados destacaram que a abordagem dos temas químicos sociais não pode se dar no sentido apenas da curiosidade, da informação jornalística, da discussão ideológica, da mera citação descontextualizada da aplicação tecnológica de determinados princípios ou, ainda, da simples compreensão dos conceitos químicos relativos ao tema, sem uma discussão crítica de suas implicações sociais.

Tais preocupações evidenciam que, no ensino para o cidadão, a abordagem dos temas tem de ser fundada na integração entre conceitos químicos e na discussão dos aspectos sociais.

A importância da contextualização dos temas químicos sociais é evidenciada, ainda, pelo fato de a maioria dos entrevistados preferir a seleção de temas regionais, vinculados diretamente ao aluno, à adoção de temas gerais. Essa preferência pode ser deduzida também da análise da Tabela 3, a qual evidencia uma pequena concordância entre os educadores quanto à listagem de temas sugeridos.

Levando em conta tais considerações, pode-se concluir que os temas químicos sociais não têm um fim em si mesmo, mas sim uma função de contextualizar o conhecimento químico.

c) Linguagem química

Um outro elemento curricular indicado refere-se à linguagem química (Tabela 2). Sobre essa deve-se considerar que, apesar de os educadores ressaltarem a importância de seu estudo, enfatizaram que isso não poderá ser feito de forma exagerada nem através da memorização de diversos nomes de substâncias que na sua maioria não têm relevância social. Nesse sentido, foi destacado pelos entrevistados que a linguagem química deve ser vista de maneira simplificada, mas de modo a permitir ao aluno compreender sua importância para o conhecimento químico, bem como seus princípios gerais, a fim de que ele possa interpretar o significado correspondente da simbologia química tão frequentemente empregada nos meios de comunicação.

Os entrevistados consideraram importante também o conteúdo programático do ensino para o cidadão envolver cálculos químicos, pois esses são fundamentais para a compreensão da fenomenologia química, bem como para a solução de problemas práticos do cotidiano (Tabela 2). Todavia, destacou-se também que tais cálculos, assim como a linguagem química, não devem ser explorados de maneira exaustiva, nem pela utilização de algoritmos sem significado para o aluno. Foi enfatizada, ainda, a importância desse estudo ser precedido por uma compreensão qualitativa dos fenômenos a eles relacionados.

d) Papel social da ciência

Os educadores enfatizaram a importância de os alunos adquirirem uma concepção de ciência como atividade humana em construção, o que pode ser feito, segundo os entrevistados, por meio de estudos de aspectos históricos do conhecimento químico (Tabela 2).

Dentro dessa concepção construtivista de ciência, cinco dos entrevistados enfatizaram a importância de se incluir no conteúdo a compreensão do significado dos modelos científicos. Além disso, foi enfatizada a importância do aluno compreender o conceito de química e seu papel social, o que implica sua caracterização como ciência investigativa e a necessidade de compreender os aspectos relativos à filosofia da ciência, para adquirir concepção ampla do conceito de química e de seu papel social.

e) Experimentação

Outro elemento curricular importante enumerado pelos entrevistados foi a experimentação (vide Tabela 2). Essa atividade curricular contribui para a caracterização do método investigativo da ciência em questão.

Por outro lado, os entrevistados apontaram que não é necessária a utilização de laboratórios sofisticados, nem uma ênfase exagerada em sua utilização. A importância da inclusão da experimentação está na caracterização de seu papel investigativo e de sua função pedagógica em auxiliar o aluno na compreensão dos fenômenos químicos.

Ficou evidenciado, também, que o papel da experimentação não deve ser a 'formação de cientistas', tal como foi concebido pelos projetos inovadores de ensino de ciências da década de 60.

f) Abordagem do conteúdo e a articulação entre os níveis macroscópico e microscópico do conhecimento químico

Os educadores consideraram que o conteúdo deve englobar aspectos tanto do nível macroscópico (fenomenológico) quanto do microscópico (teórico-conceitual; atômico-molecular)². Além disso, enfatizaram que o nível microscópico deve ser abordado pelo estudo de modelos simplificados, acessíveis aos alunos, e pela compreensão anterior de aspectos macroscópicos sobre propriedades dos ma-

teriais e suas transformações. Além disso, foi destacada a necessidade de haver articulação entre esses dois níveis, de forma que o aluno consiga compreender a estreita relação entre eles.

Essa caracterização constitui-se em mais uma diferença do ensino atual, uma vez que nesse a abordagem dos níveis em questão é feita de maneira inversa ao proposto pelos educadores. Para o estudo das substâncias, por exemplo, foi enfatizada a importância dessas serem inicialmente abordadas macroscopicamente, pela caracterização de suas propriedades físicas, para posteriormente se chegar ao estudo de seus atributos microscópicos. Além disso, foi destacado que no estudo de sua constituição não deve ser adotado o modelo atômico orbital, devido a sua complexidade.

Já a organização do conteúdo, na maioria dos livros didáticos de química usualmente utilizados pelos professores, inverte tal processo, pois não há articulação entre os níveis macroscópico e microscópico, feita por meio de problematizações. Nesse sentido, em geral, o conteúdo começa a partir do estudo do átomo, sem uma abordagem prévia dos aspectos macroscópicos das substâncias. Essas, por sua vez, mesmo quando tratadas no início dos livros, enfatizam muito mais sua natureza elementar, que serve como critério de classificação para as substâncias simples e compostas, do que sua caracterização pelas propriedades físicas. Além disso, o modelo atômico orbital é por demais enfatizado na maioria daqueles livros didáticos.

g) Extensão do conteúdo

Pode-se concluir, da análise dos elementos curriculares que compõem o conteúdo programático, que sua seleção tem como critério básico o atendimento ao objetivo de embasar o indivíduo sobre os assuntos fundamentais para sua vida enquanto cidadão. Isso significa que o conteúdo químico deve ser abordado de modo a ter significação social para o aluno.

Nesse sentido, um dos entrevistados afirmou:

Conceitos e conteúdos não devem ter um fim em si mesmos, mas sim serem trabalhados a partir de idéias gerais que lhes dêem um contexto.

Essa caracterização pode ser depreendida também pela consideração de sete entrevistados de que o ensino para o cidadão não deve ser essencialmente 'conteudista', no sentido de que não deve haver a preocupação de estudar todos os tópicos de química nem de aprofundá-los excessivamente. Nesse sentido, os educadores consideraram ser mais fundamental o aluno compreender adequadamente os conceitos químicos que são básicos para o cidadão do que ter um estudo amplo de vários conceitos sem sua devida compreensão. Isso se constitui em outra diferença com relação ao ensino atual, uma vez que nesse a listagem de conteúdos envolve um elevado número de tópicos químicos.

Compreender tais diferenças é fundamental para que não haja deturpação dos objetivos centrais que norteiam o ensino de química para a cidadania e para que se compreenda o significado dos conteúdos abordados nesse ensino. Com tal concepção é que se discute o item a seguir sobre os tópicos químicos fundamentais propostos pelos educadores.

h) Tópicos químicos fundamentais

As especificações dos entrevistados sobre o conteúdo químico essencial para o cidadão foram apresentadas, na maioria das vezes, na forma de tópicos químicos, e pelo detalhamento de conceitos específicos.

Nesse sentido, deve-se destacar que a listagem de tópicos sugerida não implica a inclusão, nos tópicos correlatos dos atuais livros didáticos dirigidos ao ensino médio de química, do conteúdo programático de todos os conceitos usualmente adotados. Isso porque, conforme já enfatizado, há diferenças significativas nos critérios de seleção de tais conceitos entre o ensino para o cidadão e o

ensino atual.

A diferença de concepções quanto ao conteúdo programático citada acima pode ser evidenciada pelas citações a seguir, de vários entrevistados.

Ao se definir o ensino de química para formar o cidadão como uma proposta de ensino no nosso país, isto implicará fazer-se uma revisão muito grande de conteúdo.

Os programas atuais estão 'ultracarregados', porque o cidadão vive muito bem sem necessitar de uma série de conhecimentos.

Existem muitos conceitos no conteúdo programático de química que devem ser descartados, pois são obsoletos, são inúteis, como, por exemplo, os conceitos de isótono e isóbaros.

Com base nessas citações e analisando a Tabela 4, verifica-se que os tópicos químicos mais fundamentais para o cidadão giram em torno do estudo das substâncias, de suas propriedades, constituição e transformações químicas. Isso demonstra que o essencial para o cidadão é adquirir uma visão básica sobre o que vem a ser química e compreender os principais aspectos gerais relativos ao seu objeto básico de estudo — os materiais e suas transformações — o que também pode ser depreendido das citações a seguir.

“Os conceitos fundamentais da química são encontrados nas muitas definições de química. A química é a ciência que estuda as transformações, procurando interpretá-las, entendê-las e prevêê-las. Então, acho que nós temos que ensinar que a química estuda transformações.”

Eu acho que é fundamental a concepção de transformação química. Nesse sentido, é importante entender a transformação de maneira mais abrangente, de forma a relacioná-la com outros conceitos e princípios, pois essa transformação envolve energia, ocorre em um determinado tempo em uma determinada proporção. Então, da própria noção de transformação se deve estudar algumas coisas vinculadas que são importantes, assim como as noções quantitativas, os aspectos qualitativos, as propriedades das substâncias...

Dessa última citação, depreende-se outro aspecto básico diferenciador do ensino atual, a estrutura organizacional do conteúdo programático. Pois, enquanto os conteúdos usuais dos atuais livros didáticos abordam os tópicos químicos de maneira isolada, sem vínculo com os assuntos anteriores e baseada na divisão clássica em química geral, físico-química e química orgânica, no conteúdo sugerido pelos educadores há a proposição de se estudar conceitos básicos sempre vinculados ao conceito central 'transformação química'.

Todas essas considerações evidenciam que o ensino de química para formar o cidadão pautase numa estrutura curricular bastante diferente da atual estrutura dos cursos de química de nível médio.

Atividades de ensino-aprendizagem

Ao serem questionados a respeito das atividades de ensino adequadas à formação da cidadania, os entrevistados em geral se detiveram mais em explicitar princípios metodológicos que em especificar sugestões de atividades.

Apesar da baixa frequência das categorias relacionadas a esse tema, pode-se constatar que as atividades sugeridas são caracterizadas pela participação ativa dos alunos, que estimulam o desenvolvimento da participação crítica e da capacidade de tomada de decisão (Tabela 5). As atividades

Tabela 5 – Sugestões de atividades de ensino-aprendizagem.

Nº	Categorias	%
1	Debates em sala de aula	75
2	Desempenho de papéis, simulações	25
3	Leitura, análise e discussão de textos	25
4	Solução de problemas	25
5	Visitas a indústrias	17
6	Método investigativo	17
7	Utilização de computador	17
8	Método da redescoberta	8
9	Método de projetos	8
10	Pesquisa bibliográfica	8
11	Projeção de filmes e vídeos	8

sugeridas são: debates, desempenho de papéis, simulações, solução de problemas, visitas, projetos, pesquisa bibliográfica e projeção de filmes.

Para os educadores, as atividades precisam ser desenvolvidas de forma a garantir uma participação ativa do aluno. Essa constatação é evidenciada na categoria de maior porcentagem, que expressa a concepção da maioria dos entrevistados quanto à necessidade da participação e ao seu papel no processo de construção de conhecimento pelo aluno. Isso nos leva a concluir que, na concepção dos educadores, as atividades mais recomendadas são aquelas que propiciem uma participação efetiva do aluno e que desencadeiem

seu processo de construção de conhecimento.

Finalmente, pode-se levantar como possível hipótese, para explicar os baixos índices apresentados no presente tema, o fato de que na concepção dos educadores o aspecto fundamental para o ensino está mais em seu processo de organização e de abordagem do conteúdo, por meio de princípios metodológicos adequados, que na utilização de técnicas de ensino. Isso porque, como já comentado, os entrevistados enfatizaram muito mais os princípios do que as atividades. Tal constatação caracteriza, então, uma visão de ensino não tecnicista, por parte dos educadores entrevistados.

O ensino de química atual e a formação da cidadania

As informações encontradas nesse tema vêm reafirmar várias conclusões já discutidas nos temas anteriores, pois as críticas destacadas referem-se a pontos contrários aos apontados como caracterizadores do ensino de química para formar o cidadão.

A tese geral apresentada pelos educadores é a de que o ensino de química atual não tem atendido às necessidades de um curso voltado à formação da cidadania (Tabela 6). Isso implica reformulação e adoção de várias medidas que venham a mudar tal situação. Implica, ainda, desenvolvimento de estudos sobre propostas curriculares que abranjam desde a adoção de conteúdos mais relevantes até sugestões de estratégias de ensino e de avaliação que se adaptem aos objetivos relacionados com a cidadania.

Tabela 6 – Considerações a respeito do ensino atual de química e a formação da cidadania.

Nº	Categorias	%
1	O ensino atual não tem atendido ao objetivo de formação da cidadania	92
2	O tratamento dos conteúdos programáticos não tem sido adequado para propiciar aprendizagem significativa	92
3	O conteúdo programático do ensino atual não está adequado para a formação da cidadania	83
4	Os professores não têm assumido uma postura comprometida com a formação da cidadania	50
5	O processo de avaliação atual não está adequado	25
6	Os alunos atualmente têm uma postura passiva e dogmática	25

Finalmente, pode-se destacar que as críticas ao ensino atual de química abrangem desde a postura passiva dos alunos na sala de aula, a qual pode ser explicada pela maneira como eles têm sido considerados na escola, até os métodos de avaliação. Os educadores enfatizaram que o ensino de química atual não atende nem aos objetivos da formação da cidadania nem a outro objetivo educacional; ou seja, sua desestruturação é tal que a maioria dos entrevistados afirmou que ele não serve para nada.

Conclusões

A análise aqui apresentada evidencia a necessidade urgente de se buscar um redirecionamento para a função do ensino de química atual e um levantamento de subsídios para sua transformação.

Conclui-se, assim, que a implantação do ensino de química para formar o cidadão implica a busca de um novo paradigma educacional que venha reformular a atual organização desse ensino. E, nesse sentido, não basta apenas incluir alguns temas sociais ou dinâmicas de simulação ou debates em sala de aula. É preciso ter claro que ensinar para a cidadania significa adotar uma nova maneira de encarar a educação, pois o novo paradigma vem alterar significativamente o ensino atual, propondo novos conteúdos, metodologias, organização do processo de ensino-aprendizagem e métodos de avaliação.

Para que isso ocorra, torna-se imprescindível o comprometimento dos professores no sentido de recuperar a verdadeira função da educação, buscando, por meio de uma nova postura frente ao aluno, contribuir de fato para a construção de uma sociedade democrática, cujos membros sejam cidadãos conscientes e comprometidos com a própria transformação dessa sociedade.

Este artigo foi extraído de

SANTOS, Wildson L. P. dos. *O ensino de química para formar o cidadão: principais características e condições para a sua implantação na escola secundária brasileira*. Dissertação de mestrado, Campinas: Faculdade de Educação da Unicamp, 1992.

Notas

¹Neste artigo, a expressão “educador químico” refere-se a profissional que possui formação acadêmica em Química e desenvolve projetos e/ou pesquisas em ensino de Química.

²O nível macroscópico caracteriza-se pela visualização concreta ou pelo manuseio de materiais ou substâncias e de suas transformações, bem como pela descrição, análise ou determinação de suas propriedades, enquanto o nível microscópico caracteriza-se por uma natureza atômico-molecular, isto é, envolvendo explicações baseadas em conceitos abstratos como átomo, molécula, íon etc., para racionalizar, entender e prever o comportamento das substâncias e de suas transformações.

Para saber mais

BUFFA, Ester; ARROYO, Miguel e NOSELLA, Paolo. *Educação e cidadania: Quem educa o cidadão?* São Paulo: Cortez & Autores Associados, 1987. 94 p.

CANIVEZ, Patrice. *Educar o cidadão?* Trad. Estela dos S. Abreu, Cláudio Santoro. Campinas, SP: Papyrus, 1991. 241 p.

CHASSOT, Attico Inácio. *Catalisando transformações na educação*. Ijuí: Editora Unijuí, 1993. 174 p.

COVRE, Maria de Lourdes Manzini. *O que é cidadania*. São Paulo: Editora Brasiliense, 1991. 78 p.

FERREIRA, Nilda Teves. *Cidadania: uma questão para a educação*. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1993. 264 p.

Imagens de Ciência

em Manuais de Química Portugueses

Carlos Campos

Escola Secundária de Rio Tinto, Gandomar
- Portugal

Antonio Cachapuz

Universidade de Aveiro, Aveiro - Portugal

Desde a última década, assiste-se a um movimento de reformas nos currículos de ciências pela incorporação de aspectos relacionados com a natureza da ciência e da construção do conhecimento científico. Constatou-se a necessidade de articular, em bases mais sólidas, o ensino das ciências com perspectivas epistemológicas contemporâneas, de sentido racionalista/construtivista, que alguns autores denominam 'nova' filosofia da ciência (Abimbola, 1983; Cleminson, 1990).

Pretende-se, assim, possibilitar a construção, por parte dos alunos, de concepções de ciência e da construção do conhecimento científico mais adequadas a uma visão atual da ciência e dos cientistas, e dotar a aprendizagem científica de valores educativos, éticos e humanísticos que permitam ir além da simples aprendizagem de fatos, leis e teorias científicas.

O manual escolar (ME) de química, sendo um instrumento didático habitual e majoritariamente utilizado por professores e alunos, exerce uma influência marcante no processo de ensino-aprendizagem, sendo portanto relevante para as concepções de ciência e de cientistas construídas pelos alunos. Assim, num estudo quase normativo sobre as características do ensino da física e química em Portugal (Cachapuz *et al.*, 1989), 92,5 por cento dos 521 professores inquiridos indicaram os manuais como uma das fontes de informação mais importantes, e 77 por cento desses professores utilizam com frequência, ou quase sempre, o livro didático de física e química selecionado pela escola na preparação das suas aulas.

É freqüente os manuais de ciências apresentarem uma ciência descontextualizada, separada da sociedade e da vida cotidiana; conceberem o método científico como um conjunto de regras fixas para encontrar a 'verdade', começando a abordagem dos temas invariavelmente pela observação dos fenômenos, e apresentarem uma imagem estereotipada do cientista como gênio isolado que descobre teorias, omitindo-se o papel da comunidade

Este artigo conta com a significativa contribuição de dois educadores químicos portugueses que identificam imagens ou concepções sobre a natureza da ciência e da construção do conhecimento científico veiculadas por manuais escolares (livros didáticos) portugueses dirigidos ao ensino secundário de Química. Além disso, os autores analisam a adequação de tais concepções com relação a perspectivas epistemológicas de natureza racionalista/construtivista e discutem suas implicações na elaboração de materiais didáticos e na formação de professores.

Livros didáticos de química, livros didáticos portugueses, concepções de ciência, perspectiva empirista, perspectiva racionalista

Este artigo foi publicado originalmente na revista *Química Nova na Escola* n. 6, 1997.

científica na construção e validação dessas teorias (Porrúa & Perez-Froiz, 1994). Essas concepções de ciência e da construção do conhecimento científico veiculadas pelos manuais, que seguem predominantemente uma orientação empirista e acumulativa e não marcada por aspectos qualitativos de tipo histórico, tecnológico, sociológico e humanístico, têm sido referidas e/ou corroboradas por estudos de diversos autores (Garrison & Bentley, 1990; Gallagher, 1991; Stinner, 1992; Solbes & Vilches, 1992; Eltinge & Roberts, 1993; Soong & Yager, 1993; Meichtry, 1993). Com o processo de implementação da nova reforma curricular em Portugal, a análise de concepções de ciência veiculadas por manuais de ciências assume uma relevância maior.

A utilização dos livros didáticos de ciências como corpo de análise tem sido feita já há muito tempo, estando os objetivos de investigação relacionados com as preocupações, em cada época, da comunidade dos educadores em ciência. Em essência, tais preocupações têm sido no âmbito pedagógico. Contudo, os estudos sobre MEs relacionados com a natureza da ciência e da construção do conhecimento científico foram realizados fundamentalmente na última década, dada a recente importância atribuída pela comunidade educativa às concepções de alunos e professores sobre a natureza da ciência e da construção do conhecimento científico no processo de ensino-aprendizagem das ciências.

Não se trata de analisar, no presente estudo, as concepções epistemológicas dos autores de manuais de química. No entanto, sendo muitos desses autores professores do ensino secundário, e dada a existência de estudos que apontam para concepções de professores sobre a natureza da ciência e da construção do conhecimento científico de cunho empirista/indutivista (Cawthorn & Rowell, 1978; Hodson, 1985; Cachapuz & Praia, 1992; Praia & Cachapuz, 1994a, 1994b), partiu-se da hipótese de trabalho de que os manuais escolares de química veiculam, em essência, imagens sobre a natureza da ciência e da construção do conhecimento científico não consonantes com concepções racionalistas/construtivistas, sendo fortemente marcados por perspectivas empiristas/indutivistas.

Objetivos do estudo

Pressupõe-se que os MEs, na interpretação própria que fazem dos objetivos e orientações metodológicas dos programas, veiculam concepções sobre a natureza da ciência e da construção do conhecimento científico e que é possível identificar tais concepções, pelo menos de um modo substancial, pela análise do conteúdo dos mesmos.

De acordo com esse quadro de argumentos, foram definitivos os seguintes objetivos para este estudo:

i) identificar imagens sobre a natureza da ciência e da construção do conhecimento científico, veiculadas por manuais de química do ensino secundário, em particular no tratamento do tema ácido-base;

ii) analisar a consonância de tais imagens com uma visão moderna da natureza da ciência e da construção do conhecimento científico, de sentido racionalista/construtivista.

A escolha do tema ácido-base levou em conta a sua centralidade no currículo dos alunos (vertente pedagógica) e a viabilidade da exploração, por parte dos manuais, de questões relativas à história da ciência, às relações ciência/tecnologia/sociedade e à metodologia científica, três importantes dimensões de estudo (vertente epistemológica).

Procedimentos metodológicos

Dada a preocupação em compreender a natureza epistemológica das imagens veiculadas pelos manuais, optou-se por um método de análise qualitativo: a análise de conteúdo. Duas técnicas de análise de conteúdo têm tido larga aplicação em ciências sociais e educação. A primeira, usada

neste estudo, envolve a aplicação subjetiva de um esquema de classificação por parte do investigador ao fenómeno em estudo, e pode ser qualitativa ou quantitativa. A segunda utiliza computadores na atribuição de códigos numéricos às palavras retiradas de textos e às relações entre elas, sendo uma técnica quantitativa (Eltinge & Roberts, 1993). Em ambas, fidelidade e validade são uma preocupação central. A primeira técnica referida levanta problemas de concordância entre codificadores, dada a subjetividade na aplicação das categorias, e a segunda levanta o problema da obtenção de resultados inválidos, já que o computador retira as palavras e as frases dos contextos que lhes dão significado. O critério usado neste estudo para a escolha de manuais de química do ensino secundário português levou em conta a sua aceitação pelas escolas, selecionando-se os quatro mais escolhidos, em âmbito nacional, no ano letivo de 1994/95. Para cada um dos manuais analisou-se a natureza epistemológica das imagens de ciência presentes no capítulo relativo ao tópico "reações de ácido-base", não só a partir de mensagens explícitas (conteúdo manifesto), mas também inferindo a natureza dessas imagens pelo modo como eram apresentadas aos alunos as leis e teorias de ácido-base e, ainda, o tipo de atividades que eram propostas (conteúdo latente).

Dimensões e categorias de conteúdo

As dimensões e categorias de conteúdo utilizadas na análise foram definidas *a priori*, a partir de um quadro teórico consonante com os princípios orientadores da 'nova' filosofia da ciência, com clara relevância educacional. Esse procedimento é adequado quando "a interação entre o quadro teórico de partida do analista, os problemas concretos que pretende estudar e o seu plano de hipóteses permitem a formulação de um sistema de categorias (...) definidas *a priori*" (Vala, 1986). Na definição das categorias de conteúdo, levou-se também em conta as características concretas do tema e materiais a analisar, ou seja, a viabilidade da presença de tais categorias em manuais escolares de química.

Relacionadas com a visão do mundo da ciência, da sua metodologia e da natureza da sua atividade, bem como do importante movimento, em âmbito internacional, de inclusão nos currículos de ciências da história da ciência e de uma abordagem CTS dos conteúdos científicos, foram escolhidas três dimensões de análise: metodologia da ciência (MC), relações ciência/tecnologia/sociedade (CTS) e história da ciência (HC).

Para cada dimensão de análise foram definidas diversas categorias tentativamente exclusivas, embora surjam eventuais intersecções entre elas, pois todas se referem a algum aspecto da natureza da ciência e da construção do conhecimento científico, aspectos esses que se interligam uns com os outros.

Instrumento de análise

Cada categoria foi operacionalizada segundo duas perspectivas dominantes, uma de sentido empirista/positivista (A) e outra de sentido racionalista/construtivista (B) (Tabelas 1, 2 e 3). Essa classificação teve por objetivo enquadrar a análise em duas tendências dominantes, sendo tal classificação meramente convencional para efeitos de análise e não pretende reduzir o espectro epistemológico a essas duas posições extremas, entre as quais certamente existem situações intermediárias.

Na operacionalização das categorias, levou-se em conta dois aspectos importantes relacionados à estrutura dos manuais: um deles é a maneira como os manuais apresentam aos alunos os diferentes conteúdos; o outro tem a ver com o tipo e forma de estruturar as atividades propostas aos alunos.

Fidelidade e validade

O problema da validade da análise diz respeito a todas as etapas de uma análise de conteúdo.

Tabela 1 – Categorias da dimensão *metodologia da ciência* (MC).

Categoria	Perspectiva	
	A (empirista/positivista)	B (racionalista/construtivista)
MC 1 Método Científico	<p>* No ME, as leis e teorias científicas são apresentadas utilizando-se um mesmo procedimento, como, por exemplo, observação-hipótese-experiência-resultado-conclusões. Pode-se mesmo chegar-se ao extremo de apresentar essa seqüência de passos como sendo o método científico, em que as leis e teorias são estabelecidas por indução.</p> <p>* As atividades propostas aos alunos são esquematizadas segundo aquele conjunto de “passos”.</p>	<p>* O ME evidencia pluralismo metodológico na apresentação das leis e teorias científicas.</p> <p>* Propõe-se aos alunos atividades diversificadas, desde o planejamento e execução de experiências, para questionar suas idéias ou as sugeridas pelo manual, à coleta de materiais, organização de informação, pesquisa bibliográfica ou interpretação de textos científicos.</p>
MC 2 Relação Teoria /Observação	<p>* Parte-se da observação atenta e completa dos fenômenos para estabelecer as leis e teorias científicas. Estas surgem como generalizações de enunciados observacionais.</p> <p>* O papel das hipóteses é pouco levado em conta ou simplesmente ignorado, na relação entre teoria e observação.</p>	<p>* Apresentam-se os pressupostos, as teorias e os modelos levados em conta na elaboração de hipóteses, clarificando-se, assim, os critérios segundo os quais se realizarão as observações.</p> <p>* Propõem-se atividades que permitem aos alunos elaborar hipóteses com base nos conhecimentos disponíveis, e a selecionar aspectos observados que as apoiem ou refutem.</p>
MC 3 Papel do Trabalho Experimental	<p>* As experiências aparecem no ME com uma lógica confirmatória, ou seja, no sentido de confirmar determinadas afirmações, sendo o aluno orientado para as conclusões pretendidas, através da seleção dos aspectos que deve observar.</p> <p>* Freqüentemente, a experiência é feita sem que se esclareça o porquê da sua realização.</p> <p>* Nas atividades propostas aos alunos é enfatizada a coleta e organização dos ‘dados’ da experiência e a descoberta de regularidades.</p>	<p>* As experiências são precedidas da formulação de problemas e são propostas para lhes dar resposta ou para os clarificar.</p> <p>* O ME esclarece as hipóteses de trabalho quando da realização das experiências, incentivando os alunos a selecionarem as observações que as corroboram ou não.</p> <p>* Faz-se uma avaliação crítica dos resultados das experiências e/ou incentiva-se os alunos a fazê-lo.</p>

A validade interna (metodológica) do estudo decorre da articulação lógica do sistema de categorias utilizado com os princípios orientadores da ‘nova’ filosofia da ciência (quadro teórico), condição primeira para a validade do instrumento de análise. Essa, por sua vez, foi feita por dois investigadores com experiência em estudos ligados à epistemologia da ciência, que analisaram de maneira independente uma primeira versão do instrumento. Do debate, em separado, e com cada um dos investigadores, resultou a versão final das Tabelas 1, 2 e 3. Considerada em sentido lato, a validade do estudo é função da fidelidade dos resultados. Neste estudo entendeu-se a fidelidade como traduzindo a concordância de outros investigadores com os resultados obtidos (fidelidade

Tabela 2 – Categorias da dimensão *relações ciência/tecnologia/sociedade* (CTS).

Categoria	Perspectiva	
	A (empirista/positivista)	B (racionalista/construtivista)
CTS 1 Contextos na Apresentação dos Temas	<p>* Na abordagem dos temas, apresenta-se o conhecimento científico como um conjunto de fatos, leis e teorias que valem por si mesmos.</p> <p>* Tem-se pouco em conta a utilidade da ciência/tecnologia no dia-a-dia dos alunos, não se recorrendo a contextos que lhes são familiares no estabelecimento dos conceitos científicos.</p>	<p>* No ME, os temas são desenvolvidos num contexto com relevância social e tecnológica, mostrando-se as implicações da ciência/tecnologia sobre o homem/ambiente/patrimônio e a sociedade em geral.</p> <p>* Procura-se implicar os alunos em problemas sociais, tecnológicos e éticos da atualidade, incentivando-os a expressar suas opiniões, cientificamente fundamentadas, sobre eles.</p>
CTS 2 Ciência /Tecnologia e Progresso Social	<p>* O ME apresenta a ciência /tecnologia como fator absoluto de progresso e com capacidade quase ilimitada para resolver os problemas que se impõem hoje à Humanidade.</p> <p>* Ignoram-se ou não se realçam as implicações sociais da ciência/tecnologia, assim como a influência da sociedade no desenvolvimento das mesmas.</p>	<p>* O ME apresenta a ciência/tecnologia como uma atividade em progresso, mas enfatiza suas limitações, erros e dúvidas, características de qualquer atividade humana, podendo apresentar exemplos de insucessos e/ou de problemas ainda não resolvidos pela comunidade científica.</p>
CTS 3 Relação entre Ciência e Tecnologia	<p>* A tecnologia aparece desarticulada em relação à ciência. Apresentam-se aplicações tecnológicas de alguns aspectos da ciência, mas quase sempre em paralelo ao desenvolvimento dos temas, ou no final dos capítulos.</p>	<p>* Enfatiza-se a interligação entre ciência e tecnologia. Essas surgem como um empreendimento que influencia e é influenciado pela sociedade.</p> <p>* Parte-se, eventualmente, de problemas tecnológicos para introduzir conceitos, leis e teorias científicas.</p>

Tabela 3 – Categorias da dimensão *história da ciência* (HC).

Categoria	Perspectiva	
	A (empirista/positivista)	B (racionalista/construtivista)
HC 1 Evolução Histórica	<p>* No ME, a história da ciência ou não existe ou é apresentada com caráter meramente factual— por exemplo, em “boxes” à parte do texto principal, onde se transcrevem datas relativas a cientistas e descobertas, ou episódios históricos desligados dos conceitos e teorias que estão sendo abordados.</p>	<p>* O ME aproveita períodos de controvérsia científica (por exemplo, química do oxigênio, teoria atômica, modelos de átomo ou outros), para mostrar a evolução dos conceitos e teorias, as dúvidas, os erros e as limitações na construção do conhecimento científico.</p>
HC 2 Papel dos Cientistas e da Comunidade Científica	<p>* O ME apresenta o trabalho científico como obra de cientistas isolados, intelectualmente geniais, ignorando-se, em cada época histórica, o papel das comunidades científicas e o intercâmbio entre as equipes de investigadores.</p>	<p>* Apresenta-se o cientista inserido numa comunidade científica, à qual cabe, em última análise, a decisão final sobre o seu trabalho. Enfatiza-se o intercâmbio e, por vezes, a competitividade entre equipes de investigação no avanço da ciência.</p>

DIMENSÃO DE ANÁLISE: METODOLOGIA DA CIÊNCIA (MC)
CAPÍTULO: ÁCIDO-BASE - MANUAL M3.

Categoria	Resultados da análise
MC 1 Método Científico	<p>A análise deste capítulo do manual não parece indicar que é seguido sempre o mesmo conjunto de 'passos' para introduzir conceitos e teorias de ácido-base.</p> <p>Se o papel do solvente, nas características ácidas de uma solução, é apresentado através da observação do comportamento do HCl(g) em água e no tolueno, já a teoria de Bronsted-Lowry (pares conjugados) é apresentada como uma nova interpretação da reação do HCl(g) com a água. No entanto, o manual não explica o porquê do abandono da teoria de Arrhenius e a necessidade de adotar a teoria dos pares conjugados. Sendo essa teoria utilizada ao longo de todo o capítulo, poderá parecer aos alunos como a única e "verdadeira".</p> <p>Há algumas atividades, para os alunos, diferentes dos clássicos "exercícios". Porém, não se inclui o planejamento de experiências por parte dos alunos, a coleta de materiais, organização de informação ou pesquisa bibliográfica.</p> <p>As experiências propostas seguem sempre uma lógica confirmatória, em que os alunos confirmam leis e teorias expostas no livro-texto.</p> <p>Pode-se concluir que esse manual, nesse capítulo, evidencia pouco pluralismo metodológico.</p>

DIMENSÃO DE ANÁLISE: METODOLOGIA DA CIÊNCIA (MC)
CAPÍTULO: ÁCIDO-BASE - MANUAL: M1

Categoria	Resultados da análise
MC 2 Relação Teoria/ Observação	<p>O livro de trabalhos práticos enfatiza a coleta e organização de "dados" da experiência e a "descoberta" de regularidades. Porém, as leis são apresentadas previamente aos alunos, quer no livro texto, quer na "Introdução" dos trabalhos práticos. O papel das hipóteses, na relação entre teoria e observação, está completamente ausente quer no livro de trabalhos práticos quer no livro-texto.</p> <p>Não são propostas quaisquer atividades que permitam aos alunos elaborar hipóteses, com base nos seus conhecimentos disponíveis. As observações surgem sem que o manual esclareça os critérios utilizados para tal. A relação teoria/observação parece ser:</p> <p>Leis/teorias —> Observação —> Confirmação das leis/teorias (lógica confirmatória aliada a concepções empiristas/indutivistas)</p>

DIMENSÃO DE ANÁLISE: RELAÇÕES C/T/S (CTS)
CAPÍTULO: ÁCIDO-BASE - MANUAL: M4

Categoria	Resultados da análise
CTS 1 Contextos na Apresentação dos Temas	<p>A abordagem do tema ácido-base é feita, nesse manual, de uma forma predominantemente acadêmica/disciplinar, em que as leis e teorias valem por si. Aparece, unicamente, no final do capítulo (p.160), um "box" de leitura sobre as chuvas ácidas, estando à parte do texto principal.</p> <p>O tema das chuvas ácidas poderia ter sido integrado ao texto principal, como próprio objeto de estudo, partindo-se dele para introduzir conceitos, leis e/ou teorias. Pode-se concluir que a contextualização do tema ácido-base está praticamente ausente. Não há atividades para os alunos que impliquem problemas sociais e tecnológicos, o que poderia ser facilmente feito através da análise das conclusões de várias conferências, que têm tido lugar por todo o mundo, sobre questões ambientais e, concretamente, sobre as chuvas ácidas (por exemplo, a Conferência do Rio e os problemas políticos e sociais que nela foram levantados). Assim, pode-se afirmar que a influência da sociedade no desenvolvimento da ciência/tecnologia está ausente.</p>

Categoria	Resultados da análise
HC1 Evolução Histórica	A utilização da história da ciência é feita com caráter meramente factual, ao longo do texto e em dois “boxes” no início do capítulo, com biografias resumidas de Arrhenius e de Bronsted.É apresentada a teoria de dissociação eletrolítica de Arrhenius, num “box” à parte do texto principal, mas não se explicam as limitações da teoria de Arrhenius, que dão significado ao surgimento de outras teorias como a de Bronsted-Lowry. Essa teoria pode aparecer, para os alunos, como a “verdadeira”.Pode-se concluir que o manual, nesse capítulo, não utiliza a HC para mostrar a evolução dos conceitos de ácido-base. Não aproveita qualquer período de controvérsia científica para mostrar como as teorias ácido-base foram construídas, e em que ambiente histórico e cultural se inseriam.

intercodificadores) e do mesmo investigador em momentos diferentes (fidelidade intracodificador), (Robson, 1993). Em relação à primeira, dois juízes analisaram, de modo independente, os resultados da aplicação do instrumento de análise a cada um dos manuais, tendo-se verificado concordância em termos globais entre as suas conclusões e as dos autores do estudo. No sentido de avaliar a concordância de critérios utilizados em função do tempo, reanalisou-se um dos manuais, quatro meses depois da primeira versão estar concluída. Constatou-se que as diferenças entre os resultados, naqueles dois momentos, eram pontuais, não acarretando modificação no resultado global a que se chegou.

Resultados da análise

Dada a extensão dos resultados da aplicação do instrumento de análise para cada manual e para cada categoria de conteúdo, apresenta-se a seguir, a título ilustrativo, extratos da argumentação utilizada em relação a algumas categorias.

Discussão dos resultados

Quanto às mensagens explícitas dos manuais, relacionadas com a natureza da ciência e da construção do conhecimento científico, em um deles (M3) são freqüentes mensagens compatíveis com uma perspectiva racionalista/construtivista, sendo no entanto questionável a maneira como as traduz em propostas didáticas no capítulo ácido-base. Excetuando-se um ou outro texto para análise crítica e alguma atividade para os alunos diferente dos tradicionais exercícios acadêmicos, esse manual não se diferencia dos demais em questões essenciais, tais como a problematização, a contextualização dos conceitos ou a abordagem de um período histórico de controvérsia em torno das teorias de ácido-base. O manual M1 aborda, explicitamente, o conhecimento científico como partindo da observação/experiência e apresenta as leis e teorias científicas como resultantes da ‘descoberta’ de regularidades nas observações efetuadas. Esse manual explicita uma perspectiva claramente empirista/indutivista da ciência e da construção do conhecimento científico, embora no capítulo sobre ácido-base o esquema indutivista apareça ‘falseado’, sendo as leis e teorias apresentadas previamente aos alunos, no livro texto, inserindo-se as observações/experiências, que são propostas aos alunos numa lógica confirmatória. Os manuais M2 e M4 praticamente não explicitam mensagens com relevância epistemológica.

Pode-se concluir que os manuais analisados, quando expressam concepções sobre a natureza da ciência e da construção do conhecimento científico, sejam de raiz empirista/indutivista ou racionalista/construtivista, não as traduzindo em propostas didáticas coerentes com concepções

que defendem.

A análise do capítulo ácido-base dos quatro manuais, em relação às três dimensões de análise consideradas, parece corroborar a hipótese de trabalho de que se partiu neste estudo.

No que diz respeito à dimensão 'metodologia da ciência', todos os manuais apresentam, de uma forma mais ou menos acentuada, uma lógica confirmatória na apresentação das atividades experimentais, isto é, pretendem que os alunos obtenham 'dados' a partir de uma dada experiência para confirmar uma lei ou teoria científica. As experiências não são precedidas, na sua maioria, de nenhuma problematização, sendo a avaliação dos resultados feita em função do que se espera confirmar. Os manuais analisados praticamente não apresentam aos alunos atividades que fomentem o pluralismo metodológico e o desenvolvimento de diferentes competências do trabalho científico, como o planeamento de experiências partindo de hipóteses a serem elaboradas pelos alunos ou sugeridas pelo manual, a coleta de materiais, a organização de informação e a pesquisa bibliográfica. Apenas o manual M3 apresenta no capítulo sobre ácido-base a leitura e interpretação de textos científicos e propõe atividades para os alunos que não se limitam à realização de exercícios académicos e/ou resolução de problemas numéricos fechados.

No que diz respeito às relações C/T/S, a perspectiva dominante nos manuais analisados é académica/disciplinar, com a apresentação de eventuais aplicações tecnológicas de alguns aspectos da ciência. Não é enfatizada a contextualização social e tecnológica dos diferentes conteúdos, e nunca se parte de problemas sociais e tecnológicos para introduzir conceitos, leis e teorias de ácido-base.

No que diz respeito à dimensão 'história da ciência', os manuais analisados, embora utilizem a história da ciência no capítulo sobre ácido-base, fazem-no de maneira exclusivamente factual e quase sempre à margem do texto principal. Nenhum dos manuais utiliza um período de controvérsia científica (por exemplo, a teoria oxigénia de ácido de Lavoisier ou a teoria da dissociação eletrolítica de Arrhenius) para ilustrar como foram construídas e validadas as teorias ácido-base. Excetuando o manual M3, não se exemplifica o papel da comunidade científica na construção e validação das teorias ácido-base.

Implicações para a formação de professores

A reflexão sobre concepções de ciência veiculadas por manuais de química poderá apoiar estratégias para uma formação epistemológica adequada de professores de física e química, no sentido da compreensão das grandes metas que são propostas, nos dias de hoje, à educação em ciências, e conduzir a uma modificação das suas práticas pedagógicas, tornando-as mais consonantes com perspectivas racionalistas/construtivistas. A questão é pertinente, já que este estudo aponta para concepções veiculadas pelos manuais analisados que, em essência, contribuem pouco para essa formação e, mais importante ainda, para a construção de imagens adequadas sobre a natureza da ciência e da construção do conhecimento científico por parte dos alunos.

Os manuais analisados não facilitam a consecução de alguns objetivos gerais dos novos programas de ensino de física e química, em Portugal, como os que dizem respeito ao uso da história da ciência, ao tratamento das relações C/T/S ou à implementação junto aos alunos de processos do trabalho científico.

O fato de terem sido analisados apenas quatro manuais de química do ensino secundário constitui uma das limitações deste estudo. No entanto, a metodologia usada na análise pode inspirar estudos futuros de caráter mais exaustivo, eventualmente estudos comparativos com manuais escolares de química brasileiros, do mesmo ou diferente nível de ensino.

Uma das implicações do presente estudo é a necessidade de planejar cursos de formação para

professores em que se trabalhem aspectos epistemológicos. Esses cursos deverão ser centrados em contextos específicos da prática pedagógica como, por exemplo, no ensino do tema ácido-base. Não são pois cursos de epistemologia geral, mas antes espaços de formação em que se ajudarão os professores a reconhecer as suas próprias concepções epistemológicas, mobilizadas na exploração de um dado tema da química.

Uma segunda implicação deste estudo é sugerir alternativas na elaboração de materiais didáticos, a serem usados por alunos e professores, que facilitem a construção de concepções mais adequadas sobre a natureza da ciência e da construção do conhecimento científico. De fato, uma das dificuldades na implementação de estratégias na sala de aula que explorem períodos históricos de controvérsia científica, que sensibilizem os alunos para a natureza dinâmica da ciência, para as suas relações complexas com a sociedade e a tecnologia e mostre o papel da comunidade científica na construção e validação das teorias científicas, reside não só na ausência de formação epistemológica dos professores mas também na inexistência de materiais didáticos, em particular publicações em língua portuguesa, acerca daqueles períodos de controvérsia. Nesse sentido, os autores elaboraram um guia com o objetivo de auxiliar os professores de química, onde são fornecidos dados históricos e bibliográficos de alguns períodos de controvérsia em torno dos conceitos e teorias de ácido-base, a saber, sobre Robert Boyle e o uso dos indicadores (século XVII), o 'princípio oxigênio'¹ de ácido de Lavoisier, a controvérsia de Davy com a escola química francesa em torno desse princípio (primeira metade do século XIX), a teoria de dissociação eletrolítica de Arrhenius e a oposição da comunidade dos químicos da época a essa teoria, e a construção das diferentes teorias de ácido-base ao longo do século XX. Esse guia pretende ser uma contribuição para que os professores possam fazer uma seleção de textos históricos, concretamente em relação ao tópico ácido-base, de modo que a sua exploração com os alunos lhes facilite a compreensão do caráter provisório das teorias científicas atualmente aceitas, das características da atividade científica e das relações da ciência com outras áreas do saber. A sua exploração no âmbito de uma experiência de formação contínua de professores, por nós já efetuada, será foco de discussão de um próximo trabalho.

Nota

¹"Princípio oxigène" mostra a idéia de Lavoisier, em 1789, de que o oxigênio era a substância formadora de todos os ácidos. Isso está na etimologia da palavra: oxi= ácido e gyne = gerador, que passa a ser o nome do gás, em substituição ao ar-desflogisticado, proposto anteriormente por Priestley.

Referências bibliográficas

- ABIMBOLA, I.O. The relevance of the 'new' philosophy of science for the science curriculum. *School Science and Mathematics*, v. 83, n. 8, p. 181-193, 1983.
- CACHAPUZ, A. et. al., O ensino-aprendizagem da física e química: resultados globais de um questionário a professores, Grupo INEA, Universidade de Aveiro, 1989.
- CACHAPUZ, A. & PRAIA, J. An analysis of the conceptions about the nature of scientific knowledge of portuguese secondary science teachers, comunicação apresentada na Annual NARST Meeting, Boston, 1992.
- CAWTHORN, E.R. & ROWELL, J.A. Epistemology and science education. *Studies in Science Education*, v. 5, p. 31-59, 1978.
- CLEMINSON, A. Establishing an epistemological base for science teaching in the light of contemporary notions of the nature of science and of how children learn science. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 27, n. 5, p. 429-445, 1990.
- ELTINGE, E.M. & ROBERTS, C.W. Linguistic content analysis: a method to measure science as inquiry in textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 30, n. 1, p. 65-83, 1993.

GALLAGER, J.J. Prospective and practicing secondary school science teacher's knowledge and beliefs about the philosophy of science, *Science Education*, v. 75, n. 1, p. 121-133, 1991.

GARRISON, J.W. & BENTLEY, M.L. Teaching the scientific method: the logic of confirmation and falsification. *School Science and Mathematics*, v. 90, n. 3, p. 188-197, 1990.

HODSON, D. Philosophy of science, science and science education. *Studies in Science Education*, v. 12, p. 25-57, 1985.

M1: LOURENÇO, M.G. & TADEU, V. *Química, 10º ano de escolaridade*, Porto Editora, 1994.

M2: CORRÊA, C.; NUNES, A. & ALMEIDA, N. *Química - 10º*, Porto Editora, 1994.

M3: NUNES DOS SANTOS, A.M. & TEODORO, V.D. *Química - 10º*, Didáctica Editora, 1994.

M4: PEREIRA, A., CAMÕES, F. *Química - 10º ano*, Texto Editora, 1994.

MEICHTRY, Y.J. The impact of science curricula on student view about the nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 30, n. 5, p. 429-443, 1993.

PORRÚA, J.C. & PEREZ-FROIZ, M. Epistemología y formación del profesorado, Actas do IV Encontro Nacional de Docentes de Ciências da Natureza, Universidade de Aveiro, 1994.

PRAIA, J. & CACHAPUZ, A. Para uma reflexão em torno das concepções epistemológicas dos professores de ciências, ensino básico (3º Ciclo) e secundário: um estudo empírico. *Revista Portuguesa de Educação*, v. 7, n. 1 e 2, p. 37-45, 1994a.

PRAIA, J. & CACHAPUZ, A. Un análisis de las concepciones acerca de la naturaleza del conocimiento científico de los profesores portugueses de la enseñanza de las ciencias, *Enseñanza de las Ciencias*, v. 12, n. 3, p. 350-354, 1994b.

ROBSON, C. *Real world research*, U.K.: Blackwell Publishers, 1993.

SOLBES, J. & VILCHES, A. El modelo constructivista y las relaciones ciencia/técnica/sociedad (CTS), *Enseñanza de las Ciencias*, v. 10, n. 2, p. 181-186, 1992.

SOONG, B.C. & YAGER, R.E. The inclusion of STS material in the most frequently used science textbooks in U.S. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 30, n. 4, p. 339-349, 1993.

STINNER, A. Science textbooks and science teaching: from logic to evidence, *Science Education*, v. 76, n.1, p. 1-16, 1992.

VALA, J. A análise de conteúdo, in: *Metodologia das ciências sociais*, 8a. ed., Edições Afrontamento, 1986.

Para saber mais

Sobre livros didáticos de química

LOPES, A.C. Livros didáticos: obstáculos ao aprendizado da ciência química. I - obstáculos animistas e realistas. *Química Nova*, v. 15, n. 3, p. 254-261, 1992.

_____. Livros didáticos: obstáculos verbalistas e substancialistas ao aprendizado da ciência química. *Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos*, v. 74, n. 177, p. 309-334, 1993.

_____. A concepção de fenômeno no ensino de química brasileiro através dos livros didáticos. *Química Nova*, v. 17, n. 4, p. 338-41, 1994.

MORTIMER, E. A evolução dos livros didáticos de química destinados ao ensino secundário. *Em Aberto*, Ano 7, n. 40, p. 25-41, 1988.

SCHNETZLER, R. Um estudo sobre o tratamento do conhecimento químico em livros didáticos dirigidos ao ensino secundário de Química de 1875 a 1978. *Química Nova*, v. 4, n. 1, p. 6-15, 1981.

Construindo Conhecimento Científico na Sala de Aula

**Rosalind Driver, Hilary Asoko,
John Leach e Philip Scott**

Faculdade de Educação da Universidade
de Leeds, Leeds - Reino Unido

Eduardo Mortimer*

Faculdade de Educação da Universidade
Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte -
MG

O compromisso central de uma posição construtivista - de que o conhecimento não é diretamente transmitido mas construído ativamente pelo aprendiz - é compartilhado por diferentes tradições de pesquisa no ensino das ciências. Uma dessas tradições concentra-se na construção individual de significados e nas várias teorias informais que as pessoas desenvolvem sobre os fenômenos naturais (Carey, 1985; Carmichael *et al.*, 1990; Pfundt e Duit, 1985), como resultado das interações individuais dos aprendizes com os eventos físicos de sua vida diária (Piaget, 1970). A aprendizagem em sala de aula, a partir dessa perspectiva, é vista como algo que requer atividades práticas bem elaboradas que desafiem as concepções prévias do aprendiz, encorajando-o a reorganizar suas teorias pessoais. Uma outra tradição descreve o processo de construção de conhecimento como consequência da aculturação do aprendiz nos discursos científicos (por exemplo, Edwards e Mercer, 1987; Lemke, 1990). Outros, ainda, vêem o processo como um aprendizado das práticas científicas (Rogoff e Lave, 1984). O nosso próprio trabalho tem se concentrado no estudo de como os alunos recorrem a seu conhecimento informal e como esse interage com as formas científicas de conhecimento introduzidas na sala de aula (por exemplo, Johnston e Driver, 1990; Scott, 1993; Scott *et al.*, 1994). Existe uma variedade de descrições dos processos de construção do conhecimento. Parece ser necessário esclarecer essas perspectivas distintas e suas inter-relações.

Uma outra questão que precisa ser esclarecida entre os educadores em ciências é a relação que vem sendo proposta entre a visão construtivista da aprendizagem e suas implicações pedagógicas. De fato, Millar (1989) afirma que perspectivas particulares sobre a aprendizagem não resultam necessariamente em práticas pedagógicas

O presente artigo enfoca a importante temática da construção de conhecimento científico em sala de aula e a relação entre as idéias científicas e idéias informais dos estudantes. A publicação deste artigo também significa uma homenagem da comunidade de educadores químicos brasileiros à grande pesquisadora em ensino de ciências que foi Rosalind Driver, falecida em outubro de 1997.

*processo de aprendizagem, idéias científicas,
idéias informais, pedagogia*

Este artigo foi publicado originalmente na revista *Química Nova na Escola* n. 9, 1999.

específicas. Além disso, as tentativas de articular as abordagens 'construtivistas' à didática das ciências (Driver e Oldham, 1986; Fensham *et al.*, 1994; Osborne e Freyberg, 1985) têm sido criticadas com base no pressuposto de que tais práticas pedagógicas estão fundamentadas em uma visão empirista da natureza da ciência (Matthews, 1992; Osborne, 1993), argumento que será posteriormente analisado neste texto.

Neste artigo, vamos apresentar nossa visão de como os vários fatores da experiência pessoal, da linguagem e da socialização inter-relacionam-se no processo de aprendizagem das ciências em sala de aula e discutir as relações problemáticas entre conhecimento científico, aprendizagem das ciências e pedagogia.

A natureza do conhecimento científico

Qualquer relato sobre ensino e aprendizagem das ciências precisa levar em consideração a natureza do conhecimento a ser ensinado. Embora trabalhos recentes sobre a natureza da ciência enfatizem que as práticas científicas não podem ser caracterizadas de modo unitário simplista, ou seja, que não existe uma única 'natureza da ciência' (Millar *et al.*, 1993), existem alguns compromissos centrais ligados às práticas científicas e ao conhecimento que têm implicações para o ensino da ciência. Defendemos que, na educação em ciências, é importante considerar que o conhecimento científico é, ao mesmo tempo, simbólico por natureza e socialmente negociado. Os objetos da ciência não são os fenômenos da natureza, mas construções desenvolvidas pela comunidade científica para interpretar a natureza. Hanson (1958) fornece uma ilustração eloqüente sobre a diferença entre os conceitos da ciência e os fenômenos do mundo, em seu relato sobre os esforços intelectuais de Galileu para explicar o movimento de queda livre. Durante vários anos Galileu realizou medidas de objetos em queda, representando a aceleração em termos das mudanças na velocidade do objeto em uma dada distância, uma formulação que levou a relações complexas e deselegantes. Uma vez que ele começou a pensar em termos de mudança de velocidade em um dado intervalo de tempo, a aceleração constante de objetos em queda se tornou evidente. A noção de aceleração não emergiu de forma não problemática das observações, mas lhes foi imposta. O conhecimento científico em muitos domínios, seja nas explicações do comportamento de circuitos elétricos, no fluxo de energia através de ecossistemas ou na rapidez das reações químicas, consiste de entidades definidas formalmente e de relações que se supõe existirem entre elas. O fato é que, mesmo em domínios relativamente simples da ciência, os conceitos usados para descrever e modelar o domínio não são revelados de maneira óbvia pela leitura do 'livro da natureza'. Ao contrário, esses conceitos são construções que foram inventadas e impostas sobre os fenômenos para interpretá-los e explicá-los, muitas vezes como resultado de grandes esforços intelectuais.

Uma vez que esse conhecimento tenha sido construído e acordado dentro da comunidade científica, torna-se parte da forma não problemática de ver as coisas, aceita dentro dessa comunidade. Como resultado, o mundo simbólico da ciência é hoje povoado por entidades como átomos, elétrons, íons, campos e fluxos, genes e cromossomos; ele é organizado por idéias como a da evolução e inclui procedimentos de medida e experimentos. Essas entidades ontológicas e conceitos organizadores, assim como a epistemologia e as práticas das ciências a eles relacionadas, dificilmente serão descobertas por indivíduos através de suas próprias observações do mundo natural. O conhecimento científico, como conhecimento público, é construído e comunicado através da cultura e das instituições sociais da ciência.

Existem estudos, na área de história e sociologia das ciências, que vêem o conhecimento que emerge da atividade dentro da comunidade científica como relativista e resultante exclusivamente de processos sociais (Collins, 1985; Latour e Woolgar, 1979). Além disso, essa posição relativista argumenta que não há como saber se esse conhecimento é um reflexo 'verdadeiro' do mundo, e

que a noção de 'progresso' científico é, portanto, problemática. Esse aparente 'irracionalismo' e relativismo das ciências é, no momento, motivo de controvérsia nos estudos sobre as ciências e na educação em ciências. Mas uma perspectiva do conhecimento científico como socialmente construído não implica logicamente uma posição relativista. Ao propor uma ontologia realista, Harré (1986) sugere que o conhecimento científico é limitado pela própria estrutura do mundo tal como ele é, e que o progresso científico tem base empírica, mesmo que seja socialmente construído e validado (uma posição que consideramos convincente).

Quer se adote ou não uma perspectiva relativista, a visão do conhecimento científico como socialmente construído e validado tem implicações importantes para a educação em ciências. Isso significa que a aprendizagem das ciências envolve ser iniciado nas formas científicas de se conhecer. As entidades e idéias científicas, que são construídas, validadas e comunicadas através das instituições culturais da ciência, dificilmente serão descobertas pelos indivíduos por meio de sua própria investigação empírica; aprender ciências, portanto, envolve ser iniciado nas idéias e práticas da comunidade científica e tornar essas idéias e práticas significativas no nível individual. O papel do professor de ciências, mais do que organizar o processo pelo qual os indivíduos geram significados sobre o mundo natural, é o de atuar como mediador entre o conhecimento científico e os aprendizes, ajudando-os a conferir sentido pessoal à maneira como as asserções do conhecimento são geradas e validadas. Portanto, essa perspectiva pedagógica difere fundamentalmente da perspectiva empirista.

Aprendizagem das ciências como atividade individual

Embora Piaget não tenha se referido a si mesmo como 'construtivista' a não ser tardiamente em sua vida (Piaget, 1970), a perspectiva de que o conhecimento é construído pelo sujeito cognoscente é central em sua posição. Como reflete sua afirmação "l'intelligence organise le monde en s'organi-

Rosalind Driver

Quando o eu estava preparando esta tradução, fui comunicado do falecimento da profa. Rosalind Driver, principal articuladora



deste artigo. Ros foi uma das mais proeminentes figuras da educação em ciências neste século. Seu trabalho com Jack Easley, publicado em 1978 no *Studies in Science Education*, sob o título de "Pupils and paradigms: a review of literature related to concept development in adolescent science students", é considerado um marco na criação do programa de pesquisa sobre concepções alternativas dos estudantes, que dominou a cena na educação em ciências na década de

80. Dinâmica e inquieta, Ros esteve sempre à frente do movimento construtivista no ensino de ciências e soube perceber como ninguém a crise que foi se instalando nesse programa de pesquisa a partir do fim da década de 80. Este artigo representa uma tentativa de refletir sobre essa crise e sugerir novos rumos ao movimento.

Todos que tiveram a honra e o privilégio de conviver e trabalhar com a excelente figura humana que foi Ros Driver podem avaliar a dor que sua morte significou para seus amigos e colaboradores. Para seus leitores e admiradores nos quatro cantos do mundo, fica a sensação de uma perda irreparável para a educação em ciências. Espero que a publicação deste artigo em português provoque nos leitores e leitoras as mesmas inquietações, questionamentos e buscas de novos rumos que marcaram a vida de Rosalind Driver.

sant elle-même” (“a inteligência organiza o mundo organizando a si mesma” – 1937, p. 311), a preocupação central de Piaget foi com o processo pelo qual os seres humanos constroem seu conhecimento do mundo. Em termos amplos, Piaget postulou a existência de esquemas cognitivos que são formados e se desenvolvem por meio da coordenação e da internalização das ações de um indivíduo sobre os objetos do mundo. Esses esquemas se desenvolvem como resultado de um processo de adaptação a experiências mais complexas (através do processo que Piaget denominou *equilíbrio*). Novos esquemas, portanto, passam a existir pela modificação dos antigos. Assim, o desenvolvimento intelectual é visto como uma adaptação progressiva dos esquemas cognitivos individuais ao ambiente físico. Piaget reconheceu que a interação social poderia ter um papel na promoção do desenvolvimento cognitivo, por exemplo ao tornar disponíveis para a criança pontos de vistas diferentes por meio da discussão. Para que aconteça o desenvolvimento, no entanto, é essencial que haja equilíbrio em nível individual.

Embora mais tarde em sua vida Piaget tenha tratado da relação entre os esquemas individuais de conhecimento e a história das ciências (Piaget e Garcia, 1989), e na verdade sua questão básica fosse essencialmente epistemológica, o enfoque central de grande parte de seu programa de pesquisa foi o modo como os indivíduos conferem significado ao mundo físico por meio do desenvolvimento de estruturas e operações lógicas independentes de conteúdo. De forma contrastante, o programa de pesquisa sobre o raciocínio científico das crianças que emergiu nos últimos 20 anos tem como foco os esquemas de conhecimento em domínios específicos no contexto da aprendizagem das ciências pelas crianças. As concepções das crianças sobre os fenômenos físicos já foram documentadas em uma ampla variedade de domínios da ciência (Carmichael *et al.*, 1990; Driver *et al.* 1985; Pfundt e Duit, 1985; West e Pines, 1985). Embora esse campo de pesquisa tenha como foco o conhecimento específico por domínio e não os esquemas gerais de raciocínio, ele possui muito em comum com a perspectiva piagetiana, podendo conduzir a perspectivas pedagógicas semelhantes. Ambas vêem o significado como sendo construído pelos indivíduos e afirmam que o significado depende dos esquemas de conhecimento existentes no indivíduo. A aprendizagem acontece quando esses esquemas são modificados pelo processo de reequilíbrio. Esse processo requer uma atividade mental interna e tem como resultado a modificação de um esquema anterior de conhecimento. A aprendizagem é vista, portanto, como algo que envolve um processo de mudança conceitual. As abordagens do ensino de ciências baseadas nessa perspectiva concentram-se em fornecer às crianças experiências físicas que induzam ao conflito cognitivo e, assim, encorajam os aprendizes a desenvolver novos esquemas de conhecimento que são mais bem adaptados à experiência. As atividades práticas apoiadas por discussões em grupo formam a essência dessas práticas pedagógicas (vide, por exemplo, Nussbaum e Novick, 1982; Rowell e Dawson, 1984). A partir dessa perspectiva individual, as salas de aula são lugares onde as pessoas estão ativamente engajadas umas com as outras, na tentativa de compreender e interpretar fenômenos por si mesmas, e onde a interação social em grupos é vista como algo que fornece o estímulo de perspectivas diferentes sobre as quais os indivíduos possam refletir. O papel do professor é fornecer as experiências físicas e encorajar a reflexão. As concepções das crianças são consideradas e questionadas de maneira respeitosa. Na passagem a seguir, Duckworth descreve claramente os tipos de intervenções que são úteis:

O que você quer dizer? Como você fez isso? Por que você diz isso? Como é que isso se encaixa no que acabamos de dizer? Poderia me dar um exemplo? Como você chegou a isso? Em cada caso, essas perguntas são primeiramente uma maneira de o interlocutor tentar compreender o que o outro está entendendo. Entretanto, em cada caso elas vão, também, engajar os pensamentos do outro e levá-los um passo adiante. (1987, p. 96-97.)

Assim, as atividades e intervenções do professor são descritas como promovendo o pensamento e a reflexão por parte dos alunos, solicitando argumentos e evidências em apoio às afirmações. Há, em nosso ponto de vista, uma omissão significativa por parte dessa perspectiva sobre a construção de conhecimento. O desenvolvimento das estruturas cognitivas dos aprendizes é visto como resultado da interação dessas estruturas com aspectos de uma realidade *física* externa, sendo o processo de significação estimulado pela interação entre pares. No entanto, as interações dos aprendizes com as realidades *simbólicas*, com as ferramentas culturais da ciência, não são substancialmente consideradas.

Além disso, ao ver a aprendizagem como algo que envolve a substituição de antigos esquemas de conhecimento por novos, essa perspectiva ignora a possibilidade de os indivíduos terem esquemas conceituais plurais, cada um apropriado a contextos sociais específicos. (Os cientistas, afinal, entendem perfeitamente o que significam frases como "Feche a porta para o frio não entrar"). No lugar de reequilibrações sucessivas, argumenta-se que a aprendizagem pode ser mais bem caracterizada por construções paralelas relacionadas a contextos específicos (Solomon, 1983). A noção de 'perfil epistemológico' de Bachelard (1940/1968) pode ser útil aqui. Em vez de construir uma única e poderosa idéia, os indivíduos podem apresentar maneiras diferentes de pensar, ou seja, um perfil conceitual dentro de domínios específicos. Por exemplo, uma visão contínua da matéria é normalmente adequada para lidar com as propriedades e o comportamento das substâncias sólidas na vida cotidiana. Perspectivas diferentes podem, entretanto, ser utilizadas. Uma visão quântica da matéria é epistemológica e ontologicamente diferente de uma visão atomista, e ambas são diferentes de um modelo contínuo. Essas três perspectivas podem formar o perfil conceitual de um indivíduo para os sólidos, e cada uma pode ser apropriada a um contexto diferente. Assim, um químico que trabalha em uma reação de síntese pode achar mais útil considerar os átomos partículas materiais do que um conjunto de singularidades matemáticas em campos de força (Mortimer, 1993).

Aprendizagem das ciências como construção social do conhecimento

Enquanto a perspectiva individual sobre a construção do conhecimento privilegia as experiências físicas e seu papel na aprendizagem das ciências, uma perspectiva socioconstrutivista reconhece que a aprendizagem envolve a introdução em um mundo simbólico. Isso está bem explicitado na introdução de Bruner ao trabalho de Vygotsky:

O projeto Vygotskyano é descobrir o modo como os membros aspirantes de uma cultura aprendem de seus tutores, os vicários de sua cultura, a entender o mundo. Este mundo é um *mundo simbólico* no sentido de que ele consiste de sistemas de crenças conceitualmente organizados, delimitados por regras sobre as coisas que existem, sobre como atingir os objetivos e sobre o que deve ser valorizado. Não existe nenhuma maneira, nenhuma mesmo, através da qual o ser humano poderia ter domínio desse mundo sem a ajuda e a assistência de outras pessoas, pois, na verdade, esse mundo são os outros (Bruner, 1985, p. 32).

A partir dessa perspectiva, o conhecimento e o entendimento, inclusive o entendimento científico, são construídos quando os indivíduos se engajam socialmente em conversações e atividades sobre problemas e tarefas comuns. Conferir significado é, portanto, um processo dialógico que envolve pessoas em conversação e a aprendizagem é vista como o processo pelo qual os indivíduos são introduzidos em uma cultura por seus membros mais experientes. À medida que isso acontece, eles 'apropriam-se' das ferramentas culturais por meio de seu envolvimento nas atividades dessa cultura. Um membro mais experiente de uma cultura pode ajudar um membro menos experiente estruturando as tarefas, tornando possível que ele as desempenhe e internalize o processo, ou seja, convertendo-as em ferramentas para controle consciente.

Existe aqui uma questão importante para a educação em ciências. Se a construção do conhecimento for vista apenas como processo individual, isso é semelhante ao que tem sido tradicionalmente identificado como aprendizagem por descoberta. Se, no entanto, os aprendizes tiverem de ter acesso aos sistemas de conhecimento da ciência, o processo de construção do conhecimento tem de ultrapassar a investigação empírica pessoal. Quem aprende precisa ter acesso não apenas às experiências físicas, mas também aos conceitos e modelos da ciência convencional. O desafio está em ajudar os aprendizes a se apropriarem desses modelos, a reconhecerem seus domínios de aplicabilidade e, dentro desses domínios, a serem capazes de usá-los. Se ensinar é levar os estudantes às idéias convencionais da ciência, então a intervenção do professor é essencial, tanto para fornecer evidências experimentais apropriadas como para disponibilizar para os alunos as ferramentas e convenções culturais da comunidade científica. O desafio é como alcançar com êxito esse processo de enculturação na rotina da sala de aula comum. Além disso, os desafios são especialmente importantes quando a perspectiva científica que o professor está apresentando é conflitante com os esquemas de conhecimento prévio dos alunos.

Idéias científicas informais e conhecimento de senso comum

Os jovens possuem vários esquemas de conhecimento utilizados para interpretar os fenômenos com que se deparam no seu dia-a-dia. Esses esquemas são fortemente apoiados pela experiência pessoal e pela socialização em uma visão de senso comum. Pesquisas feitas em todo o mundo já demonstraram que as idéias científicas informais das crianças não são totalmente idiossincráticas. Dentro de domínios específicos das ciências existem maneiras informais de modelar e interpretar os fenômenos que são encontrados entre crianças de diferentes países, línguas e sistemas educacionais. Uma das áreas mais exaustivamente estudadas é o raciocínio informal sobre mecânica. Aqui existe uma concepção comum de que é necessário uma força constante para manter um objeto em movimento constante (Clement, 1982; Gunstone e Watts, 1985; Viennot, 1979). Essa noção difere da física newtoniana, que associa força à mudança na condição de movimento, ou seja, à aceleração. Entretanto, não é difícil entender que experiências como empurrar objetos pesados ou pedalar uma bicicleta possam ser vistas como coerentes com a noção de que “movimento constante implica força constante”. Em outro domínio, aquele do raciocínio sobre as substâncias materiais, as crianças não vêem problema em considerar a matéria algo que aparece e desaparece. Quando um tronco de madeira queima até ser reduzido a um amontoado de cinzas, as crianças afirmam que a matéria “se foi com o fogo” (Andersson, 1991). As crianças mais velhas podem reconhecer que existem produtos gasosos originários do fogo. No entanto, eles não são vistos como substâncias, mas como algo que tem propriedades etéreas (Meheut *et al.*, 1985). “Os gases, afinal, não podem ter massa ou peso; se não, por que não caem?” De fato, para muitas crianças a idéia de que o ar ou um gás possa ter peso é totalmente implausível. Muitos chegam a postular que eles têm peso negativo, porque tendem a fazer as coisas subirem (Brook *et al.*, 1989; Stavy, 1988). Um raciocínio semelhante é utilizado sobre o papel dos gases nos processos biológicos, como a fotossíntese, a respiração e a degradação (Leach *et al.*, no prelo).

Esses são apenas alguns exemplos dos tipos de idéias informais que prevalecem no raciocínio de jovens e adultos. Em domínios como os aqui referidos, sustentamos que existem coisas em comum nas maneiras informais de raciocinar, em parte porque os membros de uma cultura compartilham formas de falar e de se referir a fenômenos específicos. Além disso, as maneiras como os indivíduos experimentam os fenômenos naturais são limitadas pela própria realidade.

No que tange às experiências do dia-a-dia das pessoas, as idéias informais são, na maioria das vezes, perfeitamente adequadas para interpretar e orientar as ações. As fogueiras *de fato* queimam

até virar um monte de cinzas – uma maneira muito usada para livrar-se do lixo indesejado. Se você deseja que um piano continue a ser mover, você precisa *de fato* de empurrá-lo com um esforço constante. Não é de admirar que as idéias que são usadas e cuja utilidade é comprovada sejam então representadas na linguagem do dia-a-dia. Expressões do tipo “leve como o ar” ou “o fogo consumiu tudo” refletem e apóiam idéias informais subjacentes. Argumentamos, portanto, que as idéias informais não são apenas visões pessoais do mundo, mas refletem uma visão comum, representada por uma linguagem compartilhada. Essa visão compartilhada constitui o ‘senso comum’, uma forma socialmente construída de descrever e explicar o mundo.

Durante a infância, as idéias das crianças se desenvolvem como resultado da experiência e da socialização, transformando-se em visões ‘do senso comum’. Para crianças muito pequenas (entre 4 e 6 anos), o ar existe apenas como vento ou brisa – os pequeninos não conceituam o ar como substância material. A noção do ar como ‘coisa’ normalmente torna-se parte dos modelos de mundo das crianças entre 7 e 8 anos. Essa coisa é então conceitualizada como algo que ocupa espaço, mas que não tem peso, ou que tem um peso negativo ou a propriedade de se elevar (‘upness’ – Brook *et al.*, 1989). Esse exemplo ilustra uma questão muito mais geral: as entidades – o ar como coisa, por exemplo – que são tidas como reais pelas crianças podem ser bastante diferentes para crianças em faixas etárias diferentes. Em outras palavras, as estruturas ontológicas cotidianas da criança desenvolvem-se com a experiência e com a utilização da linguagem dentro de uma cultura. Essa mudança corresponde ao que outros autores descrevem como uma reestruturação radical das concepções específicas por domínio das crianças (vide Carey, 1985; Vosniadou e Brewer, 1992).

As formas ‘de senso comum’ de explicar os fenômenos, conforme exposto aqui, representam o conhecimento do mundo descrito dentro da cultura do dia-a-dia. Elas diferem do conhecimento da comunidade científica de várias maneiras. Obviamente, o senso comum e a ciência diferem nas entidades ontológicas que contêm. As entidades tidas como reais dentro do discurso do dia-a-dia diferem das entidades da comunidade científica. Em segundo lugar, o raciocínio de senso comum, embora possa apresentar certa complexidade, também tende a ser tácito ou a não ter regras explícitas. O raciocínio científico, por outro lado, é caracterizado pela formulação explícita de teorias que podem ser comunicadas e inspecionadas à luz da evidência. Em ciências, esse processo envolve vários cientistas comunicando-se uns com os outros. Embora o conhecimento tácito tenha, inquestionavelmente, o seu lugar na ciência, a necessidade de ser explícito na formulação de uma teoria é central para o empreendimento científico. Em terceiro lugar, o raciocínio do dia-a-dia é caracterizado pelo pragmatismo. As idéias são julgadas por sua utilidade para fins específicos ou em situações específicas e, como tal, orientam as ações das pessoas. A busca científica, por outro lado, tem o objetivo adicional de construir um quadro geral e coerente do mundo. O compromisso científico, portanto, não é satisfeito por modelos situacionalmente específicos, mas por modelos que tenham maior generalidade e escopo.

Aprendizagem das ciências envolvendo processos individuais e sociais

Vamos considerar agora o que vemos como as implicações das distinções entre senso comum e raciocínio científico para a aprendizagem das ciências. Já argumentamos que aprender ciências não é uma questão de simplesmente ampliar o conhecimento dos jovens sobre os fenômenos – uma prática talvez mais apropriadamente denominada estudo da natureza – nem de desenvolver e organizar o raciocínio do senso comum dos jovens. Aprender ciências requer mais do que desafiar as idéias anteriores dos alunos mediante eventos discrepantes. Aprender ciências envolve a introdução das crianças e adolescentes a uma forma diferente de pensar sobre o mundo natural e de explicá-lo; é tornar-se socializado, em maior ou menor grau, nas práticas da comunidade científica,

com seus objetivos específicos, suas maneiras de ver o mundo e suas formas de dar suporte às assertivas do conhecimento. Antes que isso possa acontecer, no entanto, os indivíduos precisam engajar-se em um processo pessoal de construção e de atribuição de significados. Caracterizado dessa maneira, aprender ciências envolve tanto processos pessoais como sociais. No plano social, o processo envolve ser introduzido aos conceitos, símbolos e convenções da comunidade científica. Entrar nessa comunidade de discurso não é algo que os alunos descobrem por conta própria, assim como nunca aprenderiam por conta própria a falar esperanto.

Tornar-se socializado nas práticas discursivas da comunidade científica não significa, no entanto, abandonar o raciocínio do senso comum. Os seres humanos participam de múltiplas comunidades de discurso paralelas, cada uma com práticas e objetivos específicos. Atualmente existe bastante interesse por parte da comunidade de educação em ciências no processo de mudança conceitual. Aprender ciências está sendo caracterizado por alguns como a promoção de uma mudança conceitual das idéias informais dos alunos para as idéias da comunidade científica (Hewson, 1981; Posner *et al.*, 1982; West e Pines, 1985). O problema que vemos nessa caracterização é que não deveríamos esperar que os estudantes necessariamente abandonassem suas idéias do senso comum, como resultado do ensino de ciências. Como já argumentamos anteriormente, os estudantes podem continuar a usar essas idéias para se comunicar dentro dos contextos sociais apropriados (Solomon, 1983).

Alguns pesquisadores caracterizam a aprendizagem das ciências como o reflexo de padrões de mudança semelhantes que ocorreram na própria ciência, por meio da reestruturação progressiva das teorias implícitas dos alunos (Carey, 1985; Chinn e Brewer, 1993; McCloskey, 1983; Vosniadou e Brewer, 1987). Embora reconheçamos que a aprendizagem das ciências envolve algum tipo de reestruturação de idéias, argumentamos que a visão da aprendizagem como mudança de teoria coloca uma ênfase exagerada na semelhança entre as idéias informais dos alunos e as teorias científicas. É a natureza implícita e situada dessas idéias informais que as distingue das teorias científicas. Além disso, aprender ciências na escola significa mais do que mudar de um conjunto de teorias para outro; significa, em primeiro lugar, estar articulado de modo consciente sobre o que constitui as teorias.

Uma perspectiva social da aprendizagem em salas de aula reconhece que uma maneira importante de introduzir os iniciantes em uma comunidade de conhecimento é através do discurso no contexto de tarefas relevantes. As salas de aula de ciências estão sendo reconhecidas, atualmente, como comunidades caracterizadas por práticas discursivas distintas (Lemke, 1990). Ao serem engajados nessas práticas, os estudantes são socializados em uma comunidade específica do conhecimento, um processo descrito como aprendizado cultural (Rogoff e Lave, 1984; Seely Brown *et al.*, 1989). As práticas discursivas nas salas de ciências diferem substancialmente das práticas de argumentação e pesquisa científica que ocorrem dentro das várias comunidades de cientistas profissionais; isso não surpreende, se considerarmos as diferenças entre as escolas e os vários contextos institucionais das ciências em termos de objetivos e relações de poder. Essa disjunção já foi reconhecida, e alguns pesquisadores em ensino de ciências estão experimentando maneiras de organizar as salas de aula de modo a refletir formas específicas de investigação colaborativa que possam ajudar os estudantes a dominar gradualmente algumas das normas e práticas características das comunidades científicas (Eichinger *et al.*, 1991; Roseberry *et al.*, 1992).

A aprendizagem na sala de aula de ciências

Nesta seção, vamos identificar algumas das práticas discursivas que apóiam a construção conjunta do conhecimento científico por professores e alunos e que também refletem aspectos da

argumentação científica. Apresentamos episódios curtos de ensino e aprendizagem nas salas de aula de ciências, baseando-nos nas perspectivas pessoais e sociais sobre a aprendizagem, a fim de interpretar o que acontece em cada caso. Os exemplos foram retirados de estudos que estamos conduzindo em colaboração com professores, em salas de aula de ciências na Inglaterra, nas quais foi chamada a atenção, explicitamente, para as diferenças entre o raciocínio informal dos alunos sobre um tópico específico e a visão científica (Scott *et al.*, 1992).

Os episódios não têm como finalidade apresentar casos exemplares de ensino e aprendizagem. Na verdade, eles foram escolhidos para ilustrar as maneiras como os alunos desenvolvem significados pessoais dentro do contexto social da sala de aula, como é feita a apropriação dos significados científicos e como as diferenças ontológicas e epistemológicas entre as visões informal e científica podem criar obstáculos para a compreensão individual.

Raios de luz: negociando “novas ferramentas conceituais” - novas entidades ontológicas

Uma classe de alunos entre 8 e 9 anos de idade participou de uma série de aulas introdutórias sobre a luz (vide Asoko, 1993). As crianças nessa idade tendem a considerar a luz como fonte ou efeito (Guesne, 1985), mas têm menos possibilidade de conceituar a luz como algo que existe no espaço e que se desloca a partir de uma fonte. O professor, Michael, estava interessado em ajudar a turma a desenvolver a idéia de que a luz viaja pelo espaço e que se desloca em linha reta. Uma vez estabelecida a concordância de que a luz viaja em linha reta, ele planejou apresentar a representação convencional dos ‘raios’ de luz.

A princípio, o professor Michael convidou a classe a pensar sobre a luz da sala de aula, e todas as crianças concordaram que se tratava da luz do sol. A seguir ele explorou com elas essa noção um pouco mais, perguntando de onde vem a luz do sol.

Aluno 1: Do sol.

Michael: Quer dizer que a luz que está entrando naquela janela veio do sol? (várias respostas simultâneas)

Aluno 2: Vem do calor, porque é tão quente que faz uma luz brilhante.

Michael: Então como é que ela chega aqui? Se é a luz do sol, como é que pode estar aqui também? Martyn?

Aluno 3: Porque o sol está brilhando sobre nós.

Michael: Mas ele está a 93 milhões de milhas daqui – então como é que a luz do Sol pode estar aqui nesta mesa?

Aluno 4: É por causa da camada de ozônio? (Seguiu-se uma curta interação entre eles, em que vários alunos deram suas idéias sobre o buraco na camada de ozônio que permitia que mais luz do sol passasse, e então Michael recolocou sua pergunta).

Michael: Mas como é que a luz do sol chega até aqui?

Aluno 5: Ela viaja até aqui.

Michael: Coulton disse, e essas são suas palavras exatas, que “ela viaja até aqui”. Em outras palavras, a luz se move do Sol até aqui...

Aluno 5: Sim.

Michael: 93 milhões de milhas. Está certo?

Alunos: Sim (coro de muitas vozes)

Nessa interação, Michael indicou que a idéia do sol brilhando sobre nós poderia ser mais bem elaborada e, com as contribuições da turma, focalizou a idéia da luz como algo que viaja de sua fonte, percorrendo o espaço. Sua interação com a classe, à medida que a idéia foi sendo explorada,

fornece uma indicação de que essa é uma idéia geralmente aceita como plausível, um aspecto importante na construção conjunta do conhecimento em sala de aula.

A idéia de que a luz viaja foi desenvolvida um pouco mais através de uma atividade prática feita em grupos. Cada grupo de três a quatro crianças recebeu um jogo de equipamentos contendo uma lâmpada de 12 V, colocada em uma posição central sob uma caixa de cartolina octogonal de aproximadamente 35 cm de diâmetro, colocada sobre uma grande folha de papel. Foi cortada uma fresta de 12 cm de altura por 0,5 cm de largura em cada uma das oito faces. Foi então pedido às crianças para pensar sobre o que veriam quando a luz fosse acesa e para desenhar, na folha de papel, o que esperavam ver. Quase todas as crianças desenharam linhas num ângulo de 90 graus em relação às faces, a partir da fresta, para indicar o caminho da luz. As linhas variavam em comprimento, de 2 a 3 cm até aproximadamente 30 cm. Quando todas as crianças haviam feito pelo menos uma previsão, todas as lâmpadas foram acesas simultaneamente na sala escura. O efeito espetacular causou certa empolgação e não pouca surpresa, quando as crianças perceberam que, em vez de percorrer apenas uma distância curta, os raios de luz continuaram por toda a folha, podendo ser vistos, num plano vertical, quando chegavam a uma superfície como a parede ou os corpos das crianças.

Michael reuniu a turma para discutir suas observações. Ele desenhou, no quadro, o plano da caixa octogonal. Traçando uma linha para representar a trajetória da luz, ele comentou que todos haviam feito previsões sobre a posição da linha que estavam de acordo com o que eles tinham visto, mas acrescentou que várias pessoas na sala acharam que a luz iria parar.

Michael: Está certo?

Aluno 1: Não, ela continua.

Michael: Ela continua. Quanto mais ela continuaria?

Aluno 2: Até o final. Ela continua toda a vida.

Aluno 3: Continua toda a vida, isto...

Aluno 4: Ela não pode parar. Você não pode parar a luz sem desligá-la.

Nessa seqüência, a noção de que a luz “continua toda a vida” novamente é interpretada como um discurso compartilhado. Michael então convidou as crianças a desenhar mais linhas sobre o seu desenho a fim de mostrar para onde vai a luz. Depois que elas terminaram, Michael começou a usar as palavras *raio de luz* para descrever a trajetória da luz.

Nesse conjunto de seqüências, Michael estava introduzindo às crianças, por meio do discurso, a *maneira científica de ver as coisas*, tornando essa visão plausível no contexto de uma experiência memorável. Tendo se convencido de que as crianças tinham uma representação mental para “o caminho pelo qual a luz viaja”, ele introduziu a convenção ou representação simbólica do raio de luz, uma ferramenta cultural que seria utilizada em aulas subseqüentes. Ao longo de toda a seqüência, foi surgindo uma estória coerente, uma estória que Michael verificava, através de feedbacks, ser comum a toda a turma. Esse processo de desenvolver um significado compartilhado entre professor e alunos é central àquilo que Edwards e Mercer (1987) chamam de *conhecimento comum* na sala de aula. Esse conhecimento comum ou discurso compartilhado passou a se referir a uma nova estrutura ontológica sobre a luz, uma estrutura na qual a luz viaja, e viaja em linha reta (representada simbolicamente por ‘raios de luz’) por longas distâncias.

A pressão do ar: estruturando (scaffolding) “uma nova maneira de explicar” - conflito entre o senso comum e a perspectiva científica

O processo pelo qual os alunos desenvolvem novas maneiras de explicar podem envolver interações dialógicas entre professor e alunos ou entre pequenos grupos de alunos. Nessas

interações, o adulto (ou um colega mais competente) fornece aquilo que Bruner (1986) chamou de 'andaime' (*scaffolding*) para a aprendizagem dos alunos enquanto eles constroem novos significados para si mesmos.

Numa seqüência instrucional sobre a pressão do ar entre alunos de 11 e 12 anos (Scott, 1993), o professor desenvolveu, por meio de demonstrações e conversa com a classe, uma nova maneira de explicar vários fenômenos simples (como, por exemplo, por que uma garrafa plástica murcha quando o ar é retirado de dentro dela). Essa nova maneira de explicar baseava-se nas diferenças entre a pressão do ar dentro e fora da garrafa. Foi pedido à turma para trabalhar em grupos a fim de usar essa idéia de diferença de pressão para explicar outros fenômenos - por exemplo, como borrachas de sucção, a exemplo dos desentupidores de pia, grudam em superfícies lisas ou como um líquido pode ser sugado para uma pipeta.

Nas passagens que se seguem, vemos exemplos de um adulto experiente tentando 'andaimear' (*to scaffold*) o raciocínio dos estudantes em termos do modelo de diferença de pressão. Vemos também as maneiras como as teorias informais dos alunos, como por exemplo a idéia de que "o vácuo suga", influenciam na formação de sentido pelos indivíduos.

Christa e Adele completaram uma atividade com as borrachas de sucção e ficaram surpresas com a força que precisaram fazer para retirá-las de uma superfície lisa. Elas então discutiram sua explicação para o fato:

Christa: É uma superfície lisa e não existe ar na borracha, então há menos ar dentro do que fora, por isso ela gruda.

Adulto: Então, o que é que empurra... o que é que faz grudar?

Christa: O ar.

Adele: A sucção.

Adulto: O que é sucção?

Adele: É algo que puxa... algo que puxa para baixo...

Adulto: Uns minutinhos atrás, você disse que tinha a ver com o ar empurrando aqui fora.

Adele: Sim.

Adulto: Então você também disse que tinha a ver com sucção. Trata-se da mesma explicação, ou são explicações diferentes?

Adele: São quase... (Adele não tem certeza e interrompe sua fala).

O adulto então lembrou as duas meninas da demonstração anterior do colapso da garrafa plástica, que elas explicaram em termos de diferença na pressão do ar dentro e fora. As meninas então voltaram a pensar no caso das borrachas de sucção.

Adulto: Agora, onde é que estão a parte de dentro e de fora?

Adele: Bem... esta é a parte de dentro (indica a parte de baixo da borracha de sucção)

Adulto: Sim... certo.

Adele: É, e esta é a parte de fora.

Adulto: Ok. – Você pode usar a mesma explicação usada para a garrafa, para poder explicar o que acontece aqui? (O adulto volta a se referir à garrafa plástica que murchou).

Adele: Tem alguma coisa a ver com gravidade?

Adulto: Por que você está dizendo isto?

Adele: Puxando para baixo.

Após uma conversa adicional, Adele e o adulto concordaram que a gravidade pode estar agindo mesmo quando não existe ar, e que são, portanto, coisas diferentes. Eles continuaram a pensar nas

borrachas de sucção:

Adele: Está agarrado no fundo... ele [o ar] sai todo pelas laterais.

Adulto: Tudo bem, mas e o ar do lado de fora?

Christa: O ar de fora está empurrando para baixo.

Adele: Então fica difícil puxar para cima.

Nesse trecho, o adulto estruturou o curso do raciocínio, primeiro lembrando às meninas da explicação que a turma construiu para o fenômeno ocorrido com a garrafa plástica e, a seguir, ajudando-as a fazer a ligação com o caso da borracha de sucção ao levá-las a pensar no ar dentro e fora da borracha.

Logo em seguida, Adele levantou uma outra questão:

Adele: Como é que quando você prende a borracha, e então você puxa para um canto da mesa e ela solta?

Adulto: Ah, esta é uma ótima pergunta. Vocês querem analisar isto um minutinho?

Adele: É que...

Christa: Não, deixa eu mostrar o que acontece. É o ar, ele consegue entrar de volta, não consegue?

Adele: É, ele volta para dentro, então o ar empurra para cima, não é?

As duas: É.

Aqui, o adulto retirou o apoio ou *scaffolding*, tornando-se apenas um espectador interessado, e as próprias garotas usaram com confiança a explicação baseada na diferença de pressão. No entanto, uma pergunta final de Christa sugere que ainda pode haver problemas:

Adulto: Agora... (pausa longa) vocês têm alguma pergunta a respeito?

Christa: Por que... por que o ar empurra para baixo... quando o ar sai pelas laterais? Por que o ar empurra para baixo?

A pergunta de Christa sugere que, embora ela tivesse tido êxito (com o apoio do adulto) em construir a explicação com base na diferença de pressão para esse caso, a situação ainda não é plausível para ela ("Por que o ar empurra para baixo?"). Na verdade, é bastante improvável que qualquer experiência ou explicação anterior sobre o ar estático pudesse apoiar a idéia de que ele exerce tanta pressão. A nova maneira de explicar desafia as idéias dos alunos sobre aquilo que o ar pode e não pode fazer; desafia suas ontologias pessoais sobre o ar.

Os exemplos aqui apresentados chamam a atenção para o ponto fundamental de que domínios diferentes da ciência envolvem tipos diferentes de aprendizagem. No primeiro exemplo, os jovens alunos pareciam ter pouca dificuldade em compreender e acreditar que a luz viaja e persiste, a menos que seja bloqueada. Eles adotaram o discurso científico e usaram as idéias de forma produtiva. A situação no segundo exemplo parece ser bastante diferente. O professor havia envolvido os alunos nas atividades e no discurso a fim de apoiá-las na construção da visão científica, e mesmo assim vemos as alunas passando por dificuldades para tornar aqueles modelos da ciência significativos e apropriá-los à realidade de cada uma. Sugerimos que essas diferenças nas reações dos alunos podem, em parte, ser explicadas ao se considerar as demandas ontológicas e epistemológicas de aprendizagem nos domínios distintos da ciência que estão sendo estudados. No entanto, o que é comum em ambos os casos é o processo pelo qual o professor, familiarizado com o modo de ver científico, torna acessíveis aos alunos as ferramentas culturais da ciência, apoiando a (re)construção de suas idéias por meio do discurso sobre eventos físicos comuns.

Resumo e comentários finais

A visão de que o conhecimento científico é socialmente construído, validado e comunicado é central neste artigo. Apresentamos uma perspectiva de aprendizagem das ciências como processo de *enculturação* e não de descoberta, argumentando que o estudo empírico do mundo natural não resultará em conhecimento científico porque o conhecimento científico é, por natureza, discursivo. Mostramos que os alunos de ciências possuem representações cotidianas sobre os fenômenos que a ciência explica. Essas representações são construídas, comunicadas e validadas dentro da cultura do dia-a-dia. Elas se desenvolvem à medida que os indivíduos convivem dentro de uma cultura. Mostramos que existem diferenças epistemológicas e ontológicas entre o raciocínio cotidiano e o raciocínio científico. Embora a aprendizagem das ciências envolva interações sociais, no sentido de que as ferramentas culturais da ciência precisam ser apresentadas aos alunos, defendemos a posição de que os indivíduos precisam entender de forma pessoal as maneiras de ver o mundo que lhes foram apresentadas. Se as representações cotidianas de certos fenômenos naturais forem muito diferentes das representações científicas, a aprendizagem acaba sendo difícil. Já argumentamos que a relação entre as visões de aprendizagem e a pedagogia é problemática e que não existem regras simples para a prática pedagógica que emergem de uma visão construtivista da aprendizagem. Existem, no entanto, aspectos importantes do processo de mediação que podem ser identificados. Para que os alunos adotem formas científicas de conhecer, é essencial que haja intervenção e negociação com uma autoridade, normalmente o professor. Nesse aspecto, o ponto crítico é a natureza do processo dialógico. O papel do professor, como autoridade, possui dois componentes importantes. O primeiro deles é introduzir novas idéias ou ferramentas culturais onde for necessário e fornecer apoio e orientação aos estudantes a fim de que eles próprios possam dar sentido a essas idéias. O outro é ouvir e diagnosticar as maneiras como as atividades instrucionais estão sendo interpretadas, a fim de subsidiar as próximas ações. O ensino visto nessa perspectiva é, portanto, também um processo de aprendizagem para o professor. Aprender ciências na sala de aula requer que as crianças entrem numa nova comunidade de discurso, numa nova cultura; o professor é o guia, quase sempre pressionado, dessa excursão, que faz a mediação entre o mundo cotidiano das crianças e o mundo da ciência.

O que foi apresentado aqui difere fundamentalmente do programa educacional positivista, cuja ênfase reside na racionalidade técnica e na apresentação não-problemática do conhecimento a ser adquirido. Participando das atividades discursivas das aulas de ciências, os alunos vão sendo socializados nas formas de conhecimento e nas práticas da ciência escolar. Isso representa uma grande demanda para os educadores: O desafio está em criar, entre os alunos, uma perspectiva crítica sobre a cultura científica. A fim de desenvolver tal perspectiva, os alunos precisarão estar conscientes dos objetivos variados do conhecimento científico, de suas limitações e das bases sobre as quais se assentam suas asserções. Um desafio crucial para o cotidiano da sala de aula é, portanto, transformar esses aspectos epistemológicos no foco explícito do discurso e, assim, socializar os alunos na perspectiva crítica da ciência como forma de conhecimento.

Agradecimentos

Os autores agradecem os comentários feitos por Robin Millar a uma versão anterior deste trabalho, bem como as valiosas sugestões feitas por revisores anônimos.

Nota do tradutor

1. No original, "is burnt away". É difícil encontrar uma expressão semelhante em português.

*Este artigo foi originalmente publicado em *Educational Research*, v. 23, n. 7, p. 5-12, 1994. Sua tradução, feita por Eduardo F. Mortimer, foi autorizada pela American Educational Research Association.

Referências bibliográficas

- ANDERSSON, B. Pupils' conceptions of matter and its transformations (age 12-16). *Studies in Sci. Educ.*, v. 18, p. 53-85, 1990.
- ASOKO, H. First steps in the construction of a theoretical model of light: a case study from primary school classroom. In: *Proceedings of the Third International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*. Ithaca, NY: Misconceptions Trust, 1993.
- BACHELARD, G. *The philosophy of no*. Nova Iorque: The Orion Press, 1968. Trad. de *La philosophie du non* de G.C. Waterston, 1940.
- BROOK, A.; DRIVER, R. e HIND, D. *Progression in science: the development of pupil's understanding of physical characteristics of air across the age range 5-16 years*. Reino Unido: Centre for Studies in Science and Mathematics Education, University of Leeds, 1989.
- BRUNER, J. Vigotsky: a historical and conceptual perspective. In: J. Wertsch (Ed.), *Culture, communication and cognition: Vygotskian perspectives*. Cambridge, Inglaterra: Cambridge University Press, 1985.
- BRUNER, J. *Actual minds, possible worlds*. Cambridge, MA: Harvard Univ. Press, 1986.
- CAREY, S. *Conceptual change in childhood*. Cambridge, MA: MIT Press, 1985.
- CARMICHAEL, P.; DRIVER, R.; HOLDING, B.; PHILLIPS, I.; TWIGGER, D. e WATTS, M. *Research on students' conceptions in science: a bibliography*. Reino Unido: Centre for Studies in Science and Mathematics Education, University of Leeds, 1990.
- CHINN, C. e BREWER, W. The role of anomalous data in knowledge acquisition: a theoretical framework and implications for science instruction. *Review of Educational Research*, v. 63, n. 1, p. 1-50, 1993.
- CLEMENT, J. Students' preconceptions in introductory mechanics. *American Journal of Physics*, v. 50, n. 1, p. 66-71, 1992.
- COLLINS, H.M. *Changing order*. Londres: Sage Publications, 1985.
- DRIVER, R.; GUESNE, E. e TIBERGHIE, A. (Eds.) *Children's ideas in science*. Milton Keynes, Inglaterra: Open University Press, 1985.
- DRIVER, R. Oldham, V. A constructivist approach to curriculum development in science. *Studies in Science Education*, v. 13, p. 105-122, 1986.
- DUCKWORTH, E. *The having of wonderful ideas and other essays on teaching and learning*. Nova Iorque: Teachers' College Press, 1987.
- EDWARDS, D. e MERCER, N. *Common knowledge — the development of understanding in the classroom*. Londres: Routledge, 1987.
- EICHINGER, D.; ANDERSON, C.W.; PALINSCAR, A.S. e DAVID, Y. An illustration of the roles of content knowledge, scientific argument and social norms in collaborative problem solving. Artigo apresentado no Annual Meeting of the American Educational Research Association, Chicago, IL, Abril, 1991.
- FENSHAM, P.; GUNSTONE, R. e WHITE, R. (Eds.). *The content of science*. Londres: Falmer Press, 1994.
- GUESNE, E. Light. In: DRIVER, R.; Guesne, E. e Tiberghien, A. (Eds.) *Children's ideas in science*, p. 10-32. Milton Keynes, Inglaterra: Open University Press, 1985.
- GUNSTONE, R. e WATTS, M. Children's understanding of force and motion. In: Driver, R., Guesne, E., Tiberghien, A. (Eds.) *Children's ideas in science* (p. 85-104). Milton Keynes, Inglaterra: Open University Press, 1985.
- HANSON, N.R. *Patterns of discovery*. Cambridge, Inglaterra: Cambridge University Press, 1958.
- HARRÉ, R. *Varieties of realism*. Oxford: Blackwell, 1986.
- HEWSON, P.W. A conceptual change approach to learning science. *European Journal of Science Education*, v. 3, n. 4, p. 383-396, 1981.
- JOHNSTON, K. e DRIVER, R. *A constructivist approach to the teaching of the particulate theory of matter: a report on a scheme in action*. Reino Unido: Centre for Studies in Science and Mathematics Education, University of Leeds, 1990.
- LATOURETTE, B. e WOOLGAR, S. *Laboratory life: the social construction of scientific facts*. Londres: Sage, 1979.
- LEACH, J.; DRIVER, R.; SCOTT, P. e WOOD-ROBINSON, C. Children's ideas about ecology 2: Ideas about the cycling of matter found in children aged 5-16. *International Journal of Science Education* (no prelo).
- LEMKE, J.L. *Talking science. language, learning and values*. Norwood, NJ: Ablex, 1990.
- MATTHEWS, M.R. Constructivism and empiricism: an incomplete divorce. *Research in Science Education*, v. 22, p. 299-307, 1992.

MCCLOSKEY, M. Intuitive physics. *Scientific American*, v. 248, p. 122-130, 1983.

MEHEUT, M.; SALTIEL, E. e TIBERGHIEU, A. Pupils' (11-12 years old) conceptions of combustion. *European Journal of Science Education*, v. 7, n. 1, p. 83-93, 1985.

MILLAR, R. Constructive criticisms. *International Journal of Science Education*, v. 11, n. 5, p. 587-596, 1989.

MILLAR, R.; DRIVER, R.; LEACH, J. e SCOTT, P. *Students' understanding of the nature of science: Philosophical and sociological foundations of the study*. Working Paper 2 from the project The Development of Understanding of the Nature of Science. Reino Unido: Centre for Studies in Science and Mathematics Education, University of Leeds, 1993.

MORTIMER, E.F. Studying conceptual evolution in the classroom as conceptual profile change. In: *Proceedings of the Third International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*. Ithaca, NY: Misconceptions Trust, 1993.

NUSSBAUM, J. e NOVICK, S. Alternative frameworks, conceptual conflict and accommodation. *Instructional Sci.*, v. 11, p. 183-208, 1982.

OSBORNE, J. Beyond constructivism. In: *Proceedings of the Third International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*. Ithaca, NY: Misconceptions Trust, 1993.

OSBORNE, R. e FREYBERG, P. *Learning in science: the implications of children's science*. Auckland: Heinemann, 1985.

PFUNDT, H. e DUIT, R. *Bibliography: student's alternative frameworks and science education*. Kiel: IPN, 1985.

PIAGET, J. *La construction de réel chez l'enfant*. Neuchâtel: Delachaux et Niestlé, 1937.

PIAGET, J. *Genetic epistemology*. Trad. de E. Duckworth. Nova Iorque: Columbia University Press, 1970.

PIAGET, J. e GARCIA, R. *Psychogenesis and the history of science*. Nova Iorque: Columbia University Press, 1989.

POSNER, G.J.; STRIKE, K.A.; HEWSON, P.W. e GERTZOG, W.A. Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science Education*, v. 66, n. 2, p. 211-227, 1982.

ROGOFF, B. e LAVE, J. *Everyday cognition: its development in social context*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1984.

ROSEBERRY, A.; WARREN, B. e CONANT, F. *Approaches to scientific discourse: findings from language minority classrooms* (Working Paper n. 1-92). Cambridge, MA: TERC, 1992.

ROWELL, J.A. e DAWSON, C. Equilibration, conflict and instruction: a new class-oriented perspective. *European Journal of Science Education*, v. 7, n. 3, p. 331-344, 1984.

SCOTT, P. Overtures and obstacles: teaching and learning about air pressure in a high school classroom. In: *Proceedings of the Third International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*. Ithaca, NY: Misconceptions Trust, 1993.

SCOTT, P.; ASOKO, H. e DRIVER, R. Teaching for conceptual change: a review of strategies. In: R. Duit, F. Goldberg e H. Niedderer (Eds.). *Research in physics learning: theoretical issues and empirical studies*. Kiel, Alemanha: Schmidt & Klannig, 1992. p. 310-329.

SCOTT, P.; ASOKO, H.; DRIVER, R. e EMBERTON, J. Working from children's ideas: an analysis of constructivist teaching in the context of a chemistry topic. In: Fensham, P., Gunstone, R., White, R. (Eds.) *The content of science*. Londres: Falmer Press, 1994.

SEELY BROWN, J.; COLLINS, A. e DUGUID, P. Situated cognition and the culture of learning. *Educ. Researcher*, v. 18, n. 1, p. 32-42, 1989.

SOLOMON, J. Learning about energy: How pupils think in two domains. *European Journal of Science Education*, v. 5, n. 1, p. 49-59, 1983.

STAVY, R. Children's conceptions of gas. *International Journal of Science Education*, v. 10, n. 5, p. 552-560, 1988.

VIENNOT, L. Spontaneous reasoning in elementary dynamics. *European Journal of Science Education*, v. 1, n. 2, p. 205-222, 1979.

VOSNIADOU, S. e BREWER, W.F. Theories of knowledge restructuring in development. *Review of Educ. Research*, v. 57, p. 51-67, 1987.

VOSNIADOU, S. e BREWER, W.F. Mental models of the earth: a study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, v. 24, p. 535-585, 1992.

WEST, L. e PINES, A. *Cognitive structure and conceptual change*. Orlando, FL: Academic Press, 1985.

Modelos de Ensino de Equilíbrio Químico -

Algumas Considerações Sobre o que Tem Sido Apresentado em Livros Didáticos no Ensino Médio

Algumas considerações sobre modelos e modelos de ensino

O significado mais comum da palavra 'modelo' relaciona-se com manequins ou miniaturas, isto é, uma representação concreta de alguma coisa. Talvez por isso muitas pessoas pensem em modelos como cópias da realidade. Todavia, em ciência devemos considerar modelos não só como representações de objetos, mas também de eventos, processos ou idéias (Gilbert and Boulter, 1995). Devemos considerar ainda que eles não existem apenas para descrever tais entidades, mas que também provêm a base para o desenvolvimento de explicações. Um outro aspecto relevante é que modelos são criados a partir de idéias na mente de uma pessoa. Sendo assim, independente da forma de expressão de um determinado modelo, podemos considerar que ele existe, inicialmente, como um *modelo mental*.

A elaboração de um modelo mental é uma atividade conduzida por indivíduos, sozinhos ou em grupo. O resultado de tal atividade pode ser expresso através de ações, fala, escrita ou outra forma simbólica. Então, aquilo que conhecemos de um modelo mental é o que chamamos de *modelo expresso* (Gilbert and Boulter, 1995). Um modelo mental pode ser expresso através de desenhos, analogias, diagramas, gráficos, esquemas ou outra forma de linguagem que seja mais conveniente. Às vezes, o modelo expresso diverge do modelo mental que o originou devido à dificuldade em expressar um raciocínio, ou mesmo à escolha de uma linguagem inadequada. É importante que professores saibam reconhecer essas divergências, pois elas representam uma limitação em relação ao acesso aos modelos mentais e aos processos de desenvolvimento desses modelos. Em relação ao ensino de química, tal aspecto adquire uma importância maior em função do

Vânia S.O. Milagres

Escola Estadual Henrique Diniz,
Belo Horizonte - MG

Rosária S. Justi

Departamento de Química da Universidade
Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte -
MG

Modelos de ensino são desenvolvidos freqüentemente com o objetivo de auxiliar os alunos na compreensão de idéias aceitas cientificamente. Considerando o papel que os mesmos podem desempenhar na aprendizagem de aspectos abstratos de química, torna-se importante que professores reflitam sobre como elaborá-los e/ou sobre como analisar aqueles já existentes. Neste artigo são analisados modelos de ensino sobre 'equilíbrio químico' apresentados por livros didáticos destinados ao ensino médio.

modelos de ensino, equilíbrio químico, livros didáticos

Este artigo foi publicado originalmente na revista *Química Nova na Escola* n. 13, 2001.

nível de abstração envolvido tanto nas entidades que são modeladas quanto nos processos de entendimento de tais modelos. É importante considerar também a possibilidade de divergência entre modelos expressos pelos autores de livros didáticos e o modo como os alunos os entendem.

Os modelos expressos que são aceitos socialmente após testes pelos cientistas profissionais são chamados *modelos consensuais* (Gilbert and Boulter, 1995).

Na tentativa de facilitar o aprendizado de ciências são desenvolvidos *modelos de ensino* (Gilbert and Boulter, 1995). O desenvolvimento desses modelos tem o propósito de *ajudar os alunos a entenderem modelos consensuais*. A elaboração de um modelo de ensino é um processo complexo, pois ele deve preservar a estrutura do modelo consensual e lidar com o conhecimento prévio dos alunos a fim de que eles construam sua própria compreensão. Sendo assim, *um modelo de ensino representa uma maneira diferente de apresentar um modelo consensual e não simplesmente uma simplificação do mesmo* (Justi, 1997). Tais modelos são normalmente apresentados em forma de objetos concretos, desenhos, analogias e simulações diversas.

Aspectos metodológicos da pesquisa realizada

Considerando a importância de modelos de ensino e o fato de a maioria dos professores utilizar livros didáticos no ensino de química, pretendeu-se, nesta pesquisa, analisar a presença de modelos de ensino em livros didáticos de química destinados ao ensino médio. O tema escolhido foi 'equilíbrio químico', em função de as explicações cientificamente aceitas para vários aspectos envolvidos em equilíbrios químicos fundamentarem-se em modelos abstratos e dinâmicos que poderiam dar margem à elaboração de vários modelos de ensino interessantes. Considerando que o principal objetivo de modelos de ensino é ajudar os alunos a entenderem algum aspecto do conteúdo, os critérios de análise foram definidos visando a fundamentar conclusões sobre em que medida os modelos de ensino apresentados nos livros didáticos cumprem realmente tal função.

A escolha dos livros para a realização desta pesquisa baseou-se no fato de serem livros muito utilizados nas escolas e também disponíveis para a análise. Em função desta pesquisa ter fundamentado a elaboração de uma monografia de licenciatura desenvolvida durante um período letivo (Milagres, 1999), decidiu-se analisar apenas três dos livros mais frequentemente utilizados nas escolas de ensino médio de Belo Horizonte:

- *Química moderna 2*, de Geraldo Camargo de Carvalho (Editora Scipione, 1995).
- *Química*, de João Usberco e Edgard Salvador (Editora Saraiva, 1996).
- *Química, na abordagem do cotidiano*, de Francisco Miragaia Peruzzo e Eduardo Leite do Canto (Editora Moderna, 1998).

Ao longo deste artigo, com o propósito de facilitar a leitura, estes livros serão chamados de livros A, B e C, respectivamente.

A primeira etapa desta pesquisa consistiu na identificação dos modelos de ensino presentes nos livros e de sua função no capítulo. Em um segundo momento foi realizada a análise dos modelos considerando alguns aspectos particulares de cada um deles. Esses aspectos se relacionaram com seu tipo (gráficos, desenhos, analogias e esquemas) e com a possível contribuição de cada um deles para uma melhor compreensão do tema pelos alunos.

Comentários sobre os modelos de ensino encontrados nos livros

Visão geral

A leitura dos capítulos referentes a 'equilíbrio químico' nos livros resultou na identificação de 22 modelos de ensino no livro A, 16 no livro B e 21 no livro C. Nas tabelas a seguir estão indicados os tipos de cada um desses modelos de ensino, assim como sua função em cada um dos livros. Em relação ao

tipo dos modelos de ensino, as classificações 'macro', 'micro' e 'representacional' referem-se ao nível do sistema que está sendo representado. Em relação à função, é apresentada uma descrição geral.

Em relação ao tipo, o Tabela 1 mostra que a maioria (73%) dos modelos de ensino presentes nos livros didáticos corresponde a desenhos de sistemas macroscópicos, sem ou com o acréscimo de descrições dos mesmos no nível representacional. Em termos percentuais, seguem-se esquemas (10%), gráficos e desenhos de aspectos microscópicos (7% cada) e analogias (2%). Considerando que as explicações relativas à existência do estado de equilíbrio e aos processos de tal estado ser atingido e deslocado situam-se no nível microscópico, pode-se afirmar que poucos modelos de ensino têm como tema algum aspecto essencial para a compreensão de idéias relativas ao conceito de equilíbrio químico. Tal afirmativa é corroborada pela análise da Tabela 2, onde se observa que apenas 3 dos 59 (5%) modelos de ensino têm como objetivo *explicar* algum aspecto relacionado com a existência ou deslocamento do estado de equilíbrio. Todos os outros visam a ilustrar algum aspecto, sendo, em muitos casos, apenas exemplos de sistemas em equilíbrio (29%) ou aspectos que não contribuem diretamente para a compreensão de tais sistemas (22%).

Analogias

Surpreendentemente, foi encontrada apenas uma analogia entre os modelos de ensino identificados nos livros analisados. Ela é apresentada na forma ilustrativa na capa do capítulo de equilíbrio do livro B. Um aspecto importante é que ela pode trazer grandes problemas para a compreensão do conceito de equilíbrio químico, uma vez que representa um equilíbrio de forças, aspecto que não pode ser transposto para um equilíbrio químico. Além disso, os autores não apresentam nenhum comentário em relação a tal ilustração, o que colabora para que os alunos pensem em equilíbrio de forças no contexto de equilíbrios químicos.

Desenhos

Em relação aos desenhos, é interessante analisá-los a partir das informações das Tabelas 1 e 2 e de aspectos inerentes à sua natureza. Antes disto, porém, um comentário merece ser feito em relação a todos eles: apesar de os desenhos terem sido encontrados envolvendo todos os níveis - macro, micro e representacional (às vezes de forma associada), em nenhum deles a questão da *dinamicidade* dos sistemas químicos foi destacada. Isso, com certeza, contribui para a dificuldade dos alunos em

Tabela 1 – Freqüência dos modelos de ensino em relação ao seu tipo.

Tipo de modelo de ensino	Livro A	Livro B	Livro C	Total
Analogia	-	1	-	1
Desenho macro	9	5	9	23
Desenho micro	1	-	-	1
Desenho macro e micro	2	1	-	3
Desenho macro e representacional	5	3	9	17
Desenho micro e representacional	1	2	-	3
Esquema macro	1	-	-	1
Esquema representacional	-	2	1	3
Esquema macro e representacional	1	-	-	1
Esquema micro e representacional	1	1	-	2
Gráfico e desenho macro	-	1	1	2
Gráfico e esquema	1	-	1	2

Tabela 2 – Frequência dos modelos de ensino em relação à sua função.

Nº	Descrição da função	Livro A	Livro B	Livro C	Total
1	Explicar aspectos relacionados com existência ou deslocamento do estado de equilíbrio	1	1	1	3
2	Ilustrar aspectos relacionados com a existência do estado de equilíbrio ou o processo de o mesmo ser atingido	6	3	5	14
3	Ilustrar exemplos de sistemas em equilíbrio	7	7	3	17
4	Ilustrar aspectos relacionados com o deslocamento do estado de equilíbrio	3	1	6	10
5	Ilustrar aspectos não relacionados ao conceito de equilíbrio	5	3	5	13
6	Ilustrar direções de deslocamento de equilíbrio por diferentes fatores	-	-	1	1
7	Ilustrar aspecto contrário ao conceito de equilíbrio	-	1	-	1

entenderem como ocorrem as reações e como o estado de equilíbrio é atingido.

Apenas 3 dos 59 modelos de ensino identificados relacionavam-se com *explicações*. Dentre esses, um era constituído de desenho, mas associado ao nível representacional. Como o que está representado no referido desenho são modelos moleculares do tipo “bola”, a associação do mesmo com o nível representacional é plenamente justificável no sentido de explicar o conteúdo envolvido (pares conjugados ácido-base).

Todos os demais desenhos têm como objetivo *ilustrar* algum aspecto. Entretanto, independentemente do aspecto ilustrado, alguns deles foram inseridos no meio do texto, o que, de certa forma, pode prender mais a atenção do aluno, enquanto outros foram inseridos na lateral das páginas, podendo, com facilidade, passar despercebidos pelos alunos.

Os aspectos ilustrados com maior frequência pelos desenhos foram exemplos de sistemas em equilíbrio e aspectos não relacionados ao conceito de ‘equilíbrio químico’ (27% cada).

Em relação aos desenhos de exemplos, alguns foram considerados interessantes por associarem, por exemplo, visões macro e representacional do mesmo sistema. Por outro lado, outros foram considerados desnecessários. Por exemplo, o livro C mostra o “galinho do tempo” em duas cores diferentes. A não necessidade do desenho é justificada por ele representar um exemplo muito simples - podendo ser facilmente lembrado pelos alunos - e pelo fato de a diferença de cores ter sido citada no texto que antecede o desenho.

Foram classificados como aspectos não relacionados ao conceito de equilíbrio químico: a formação de soluções ou de misturas de soluções, situações experimentais como condições para medida de grau de ionização da água, recolhimento de gás em recipiente contendo água ou diferença de brilho de lâmpada em função do grau de dissociação de ácidos cujas soluções foram usadas no circuito, além de diferentes estruturas da água em diferentes estados físicos. Alguns deles evidenciavam aspectos de procedimentos experimentais descritos no texto - o que poderia justificar sua presença. Entretanto, algumas vezes tal procedimento se resumia à adição de colheres de substâncias diferentes em recipientes contendo água - aspecto muito simples para justificar a presença de um modelo de ensino.

Surpreendentemente, aspectos relacionados com a existência do estado de equilíbrio ou com o processo de tal estado ser atingido - centrais para a compreensão do conceito - foram ilustrados em

apenas 23% dos desenhos. Também entre eles existem bons e maus modelos de ensino. Como exemplos de bons modelos de ensino desse grupo, podemos citar aqueles que mostram a variação de cores em um sistema até que esse atinja o equilíbrio (encontrados nos livros A e C). Entendemos que eles são modelos importantes e fornecem uma contribuição muito grande para entender como o estado de equilíbrio é atingido porque há a ajuda das cores mostrando o andamento da reação. Considerando que o sistema representado em ambos não é facilmente reproduzido na maioria das escolas, a presença dos mesmos é importante.

Dentre os desenhos desse grupo que não são tão bons como modelos de ensino podemos citar, por exemplo, aquele no qual se ilustra o sistema circulatório humano enfatizando-se a existência de sangue de duas “cores” (encontrado no livro B). Primeiramente, é possível que o aluno entenda que o sangue possui diferentes cores, o que não é verdade. Em segundo lugar, existe no desenho uma divisão linear de cores, dando a entender que há um “lugar específico” onde a modificação acontece. Percebe-se que a intenção do autor ao inserir esse desenho pode ter sido boa, uma vez que os equilíbrios envolvidos na circulação sanguínea são muito importantes e, como tal, merecem ser entendidos pelos alunos (vide artigo sobre tampões, neste número). Entretanto, a forma como o desenho foi apresentado e comentado parece não favorecer a compreensão de aspectos relevantes.

Finalmente, os outros 21% dos desenhos têm a função de ilustrar aspectos relacionados com o deslocamento do estado de equilíbrio - tema também importante dentro do conteúdo em questão. Em muitos deles, tal deslocamento foi representado através de relacionamento do nível macroscópico com os níveis micro ou representacional. Em alguns deles tal relacionamento foi essencial para que a questão do deslocamento do equilíbrio fosse enfatizada, como, por exemplo, quando se associaram fórmulas de substâncias a sistemas homogêneos (recipientes contendo um líquido azul) que, de outra forma, não seriam diferenciados. Por outro lado, representações envolvendo simultaneamente os níveis macro e micro tendem a trazer dificuldades para os alunos na questão da própria constituição da matéria. Para entender melhor esse ponto, considere-se os desenhos apresentados nos livros A e B (reproduzidos nas Figuras 1 e 2).

Em ambos os desenhos a representação das partículas envolvidas nos sistemas aparece “flutuando” em um meio colorido. Os alunos podem atribuir dois significados diferentes a tal meio: a representação macroscópica do sistema ou os espaços entre as partículas. Nos dois casos a compreensão do próprio sistema estará comprometida: no primeiro em função, dentre outros fatores, da desproporção de tamanho entre as partículas e o sistema total e, no segundo, pela dúvida gerada sobre a constituição dos espaços entre as partículas. Qualquer que seja o caso, o comprometimento do entendimento de questões tão básicas da química não justifica a apresentação de desenhos nos quais os dois níveis são representados simultaneamente.

Como destacado em comentários anteriores, algumas vezes as cores utilizadas nos desenhos podem confundir o aluno. A impressão inicial que se tem é que o desenho colorido chama a atenção e aumenta a capacidade de entendimento do sistema em questão. Entretanto, apenas em alguns casos isso é verdade. A partir da análise de todos

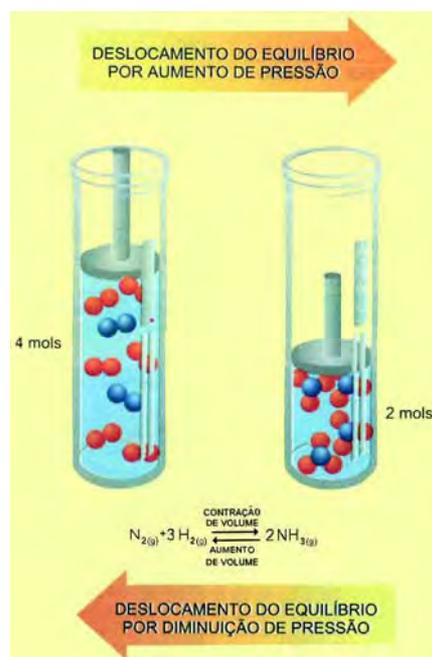


Figura 1 – Modelo de ensino encontrado na p. 221 do livro A.

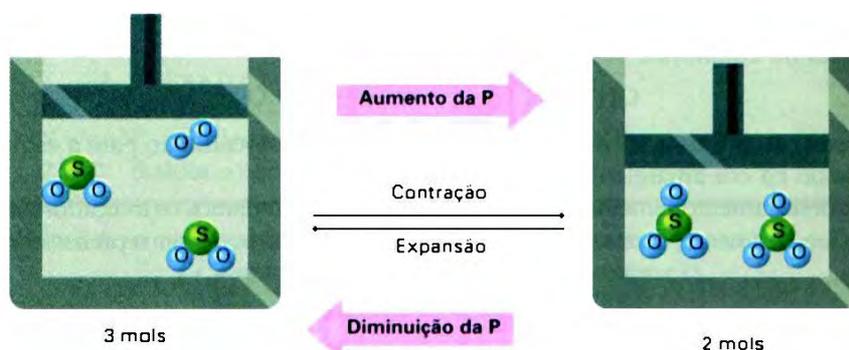


Figura 2 – Modelo de ensino encontrado na p. 390 do livro B.

os desenhos coloridos apresentados nos livros analisados, concluiu-se que em 32% deles as cores podem contribuir para um melhor entendimento por parte dos alunos; em 55% as cores tendem a confundir os alunos e nos 13% restantes elas parecem não influenciar o modo como os alunos entendem o conteúdo envolvido.

Nos modelos em que as cores contribuem para o entendimento do conteúdo, elas são ferramentas importantes nesse processo. Nos livros A e C foram encontrados desenhos que ilustram bem esse caso. Eles mostram como a mudança de coloração de um sistema permite acompanhar a ocorrência de uma reação e definir o instante em que o estado de equilíbrio é atingido. Tal aspecto não seria convenientemente representado em um desenho sem cores.

Outros desenhos em que o uso de cores se mostra importante são as representações de modelos moleculares do tipo bolas. Neles as cores são usadas na diferenciação dos átomos. Tal aspecto poderia ser representado a partir de outro recurso, mas tudo indica que as cores o fazem mais evidente para os alunos.

Existem também desenhos em que o uso de uma única cor pode confundir os alunos. Isso é o que acontece quando, por exemplo, os livros B e C apresentam, respectivamente, cinco e sete desenhos de recipientes contendo um líquido azul. O problema é que em cada um deles a cor azul representa uma solução diferente. Esse tipo de desenho não pode ser considerado útil para que os alunos entendam o conteúdo, uma vez que eles são induzidos a pensar que todas as soluções têm a mesma cor.

Outro modelo (encontrado no livro B) que também chama a atenção pelas cores é aquele em que um mesmo recipiente contém as duas cores que um indicador adquire nas situações ionizado e não ionizado. Isso pode causar problemas, pois os alunos poderiam pensar que veriam essas cores nitidamente como apresentado no desenho, o que sabemos não acontecer.

Gráficos

Inicialmente é necessário esclarecer que muitos modelos científicos consensuais são expressos com a utilização de gráficos. Nesta pesquisa, os gráficos considerados como modelos de ensino foram aqueles que, além da representação dos aspectos cientificamente aceitos, apresentam também outros elementos (como cores e, principalmente, presença de desenhos ou esquemas associados) que têm como objetivo nitidamente contribuir para uma maior compreensão dos alunos.

No tópico 'equilíbrio químico', gráficos são utilizados para se representar (i) a variação das concentrações dos reagentes e produtos em função do tempo, e (ii) as velocidades de reação em função do tempo. A introdução de tais gráficos no ensino pretende favorecer o entendimento de que (i)

as velocidades das reações direta e inversa se igualam quando o sistema atinge o equilíbrio, e (ii) as concentrações de reagentes e produtos permanecem constantes a partir do instante em que o equilíbrio é atingido.

Em alguns gráficos foram usadas cores diferentes para especificar curvas relativas a reagentes e produtos. Nesses casos, acompanhando cada uma das curvas de diferentes cores, os alunos podem perceber que as concentrações dos reagentes diminuem enquanto as concentrações dos produtos aumentam e que, após um certo tempo, ambas se tornam constantes.

Um dos gráficos encontrados no livro C mostra a variação da concentração de um sistema antes de o equilíbrio ser atingido e depois de uma perturbação no mesmo. Os elementos adicionados a tal gráfico (informações sobre adição ou retirada de compostos e sobre o que acontece no sistema em intervalos de tempo distintos) ajudam na compreensão de como o sistema chega novamente ao equilíbrio após uma perturbação do mesmo.

Dentre os modelos de ensino que envolvem gráficos, dois (reproduzidos nas Figuras 3 e 4) nos pareceram interessantes. Em ambos os casos estão associados desenhos evidenciando as diferentes cores do sistema $N_2O_4 = 2NO_2$ em instantes distintos do processo de o equilíbrio ser atingido. Assim, o aluno pode “ver” a ocorrência da reação ao mesmo tempo que, através do gráfico, acompanha o processo de o estado de equilíbrio ser atingido. No modelo do livro B encontra-se associado apenas um desenho a cada gráfico, quando o sistema já atingiu o equilíbrio. Apesar disso fornecer uma visão incompleta do processo, considerou-se que ele também favorece a interpretação dos gráficos. Do nosso ponto de vista, associações de desenhos com gráficos são importantes e deveriam ser utilizadas por todos os autores com o propósito de evitar que as idéias se formem isoladamente na cabeça dos alunos. É preciso que esses aprendam a interpretar gráficos e a associação dos desenhos pode contribuir bastante para isso.

Esquemas

Em geral, a função básica dos esquemas é ajudar os alunos a compreenderem de uma forma mais simplificada algum conteúdo. Nesta pesquisa, os esquemas que aparecem nos livros foram

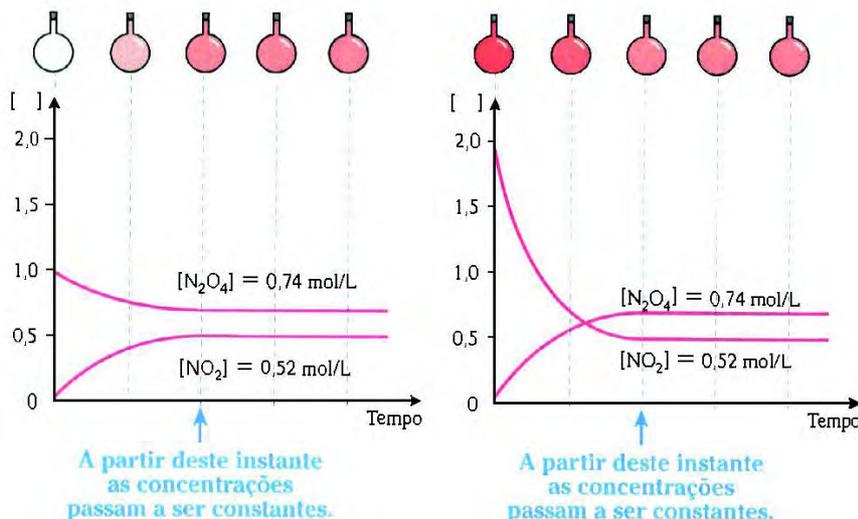


Figura 3 – Modelo de ensino encontrado na p. 292 do livro C.

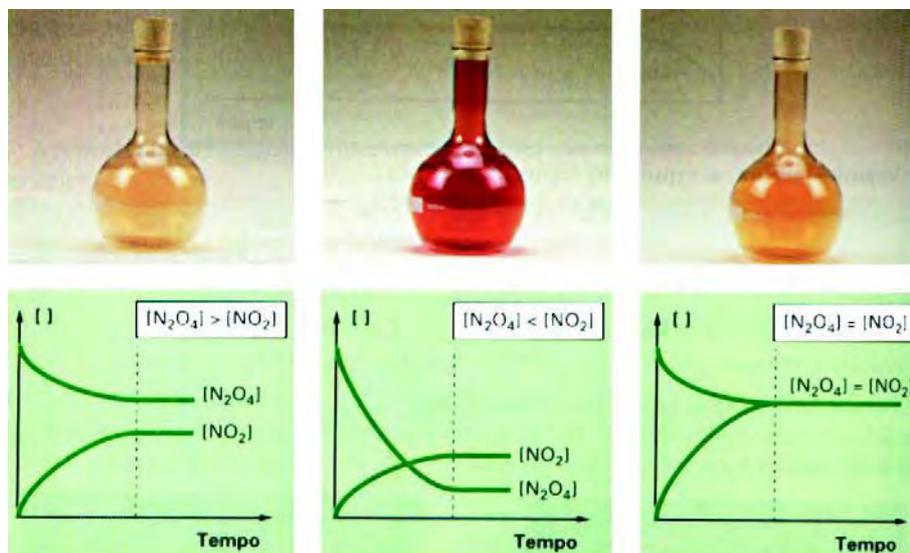


Figura 4 – Modelo de ensino encontrado na p. 370 do livro B.

analisados com o propósito de verificar se explicam algum aspecto do conteúdo ou só ajudam na memorização desses aspectos.

Na primeira perspectiva, como exemplo, pode-se destacar dois esquemas encontrados no livro B, nos quais quantidades de ácidos fracos e fortes, assim como dos íons gerados na dissociação dos mesmos, são representadas por retângulos de alturas diferentes. Acreditou-se que a visualização de tais quantidades realmente favorece a compreensão dos processos representados pelos desenhos.

Por outro lado, o livro C apresenta um exemplo típico de esquema que visa à memorização de deslocamentos de equilíbrio. Nele são representadas apenas setas para a direita ou para a esquerda de acordo com a forma como o sistema reage a uma alteração do estado de equilíbrio. Esse tipo de esquema não contribui para o entendimento, mas sim para que os alunos decorem aquilo que está escrito nas setas. Por isso, não se considerou que tais esquemas sejam adequados como modelos de ensino em livros destinados ao ensino médio - nível em que os conceitos químicos são formados.

Conclusões

A análise dos livros permitiu perceber que algumas vezes os modelos de ensino são usados de maneira inadequada pelos autores de livros didáticos. Por exemplo, a maioria dos desenhos somente descreve ou ilustra algum sistema, não fundamentando nenhuma discussão de idéias. Além disso, alguns desenhos estão colocados na lateral das páginas, o que pode não chamar a atenção dos alunos. Aspectos como esses parecem indicar que o próprio autor não vê utilidade no modelo de ensino que acrescenta ao seu texto.

Outro aspecto que merece ser destacado é a ausência de modelos de ensino que lidam com a dinâmica do estado de equilíbrio. Em momento algum, nenhum dos três livros apresentou a idéia de equilíbrio dinâmico. Nesse ponto, analogias poderiam ser bastante úteis. Como exemplo, pode-se citar uma analogia que, inclusive, é apresentada em outros livros: a de uma pessoa correndo em uma esteira. Nessa situação, o aluno pode perceber o significado de uma situação dinâmica (uma pessoa correndo) resultando em algo estático (a não modificação da posição dessa pessoa). Todavia, deve-

mos ressaltar que na utilização desta, ou de qualquer analogia, é imprescindível que o professor discuta com os alunos quais aspectos podem ser transpostos da analogia para uma situação de equilíbrio químico e quais são as limitações da analogia, isto é, quais aspectos da situação análoga não se aplicam aos sistemas químicos. No caso do exemplo citado, dentre outros aspectos, seria importante que o professor enfatizasse o fato de que a velocidade da pessoa e da esteira só se igualam quando a pessoa atinge a velocidade da esteira, quer dizer, o fato de tal velocidade ser determinada previamente por um dos componentes do sistema (no caso, a esteira) - o que não acontece em sistemas químicos em equilíbrio.

O uso do modelo molecular de bolas também é um aspecto que deve ser enfatizado. Modelos moleculares desse tipo podem ser ótimos modelos de ensino, pois permitem que os alunos "vejam" os átomos. Todavia, a utilização dos mesmos nos livros se dá através de representações bidimensionais dos mesmos, que nem sempre são facilmente "visualizadas" tridimensionalmente pelos alunos. Essa é, sem dúvida, uma limitação de materiais escritos, mas tal dificuldade dos alunos poderia ser minimizada caso os autores de livros didáticos chamassem atenção para esse aspecto e os desenhos fossem apresentados de forma interligada com explicações sobre o constante movimento envolvido nas reações. Como os livros não trazem esses esclarecimentos, cabe ao professor ressaltar a questão da dinamicidade, a fim de que os alunos possam aprender 'equilíbrio químico' de modo mais abrangente e adequado.

A questão das cores nos modelos também torna-se polêmica, visto que, muitas vezes, elas podem confundir o aluno. De fato, nos três livros analisados, o número de modelos nos quais as cores confundem o aluno é bem maior que o número de modelos nos quais as mesmas contribuem para o entendimento do conteúdo. Mais uma vez, cabe ao professor identificar as possíveis causas de confusão, discutir com os alunos e, talvez, elaborar outros modelos de ensino mais compatíveis com a realidade deles.

A partir da análise realizada nesta pesquisa e das conclusões decorrentes da mesma, é relevante finalizar esse relato destacando a importância de o professor, ao trabalhar com qualquer material instrucional, ou ao elaborar seus próprios modelos de ensino, considerar o potencial que modelos de ensino têm para, simultaneamente, relevar idéias prévias dos alunos e contribuir para a aprendizagem de conceitos químicos de forma mais coerente com os modelos consensuais. Além disso, é importante que não sejam cometidos deslizes na elaboração e utilização de modelos de ensino que possam resultar no não cumprimento de sua função.

Referências bibliográficas

GILBERT, J.K. e BOULTER, C.J. Stretching models too far. Artigo apresentado na *Reunião Anual da Associação Americana de Pesquisa Educacional* ("American Educational Research Association"). São Francisco (EUA), 22-26 abril, 1995.

JUSTI, R. *Models in the teaching of chemical kinetics*. Tese de doutorado não publicada. Reading (Inglaterra): Universidade de Reading, 1997.

MILAGRES, V.S.O. *Modelos de ensino de equilíbrio químico encontrados em livros para o ensino médio*. Monografia de licenciatura. Belo Horizonte: Departamento de Química da UFMG, 1999.

Para saber mais

MONTEIRO, I.G. e JUSTI, R.S. Analogias em livros didáticos de química brasileiros destinados ao ensino médio. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 5, n. 2, 2000 (<http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm> - consulta em 1/4/2001).

PEREIRA, M.P.B.A. Dificuldades de aprendizagem. II - Uso de analogias e modelos. *Química Nova*, v. 12, n. 2, p. 182-187, 1989.

CONCEPÇÕES SOBRE O PAPEL DA **LINGUAGEM** NO PROCESSO DE ELABORAÇÃO CONCEITUAL **EM QUÍMICA**

Andréa Horta Machado

Colégio Técnico da Universidade Federal
de Minas Gerais, Belo Horizonte - MG

André Luis Alves Moura

Departamento de Química da Universidade
Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte -
MG

Por que falar sobre a linguagem se a aula é de química? Mol, átomo, soluções, equilíbrio, partículas, energia de ativação... são palavras que constituem nosso cotidiano de professoras e professores de química, palavras que utilizamos em nossas aulas, conceitos que pretendemos 'ensinar' a nossos alunos.

Sobre esse 'ensinar' conceitos químicos na sala de aula, muito se tem pesquisado. A importância, o sentido e as contribuições da pesquisa para o ensino de química foram muito bem apontados por Schnetzler e Aragão em QNE, 1995, nº 1, no entanto muitas questões ainda permanecem em aberto. Já se compreende que o processo de elaboração de conceitos na sala de aula é extremamente complexo e envolve uma série de fatores difíceis de se ter sob controle. É exatamente essa complexidade que faz com que nossa atenção esteja sempre voltada para contribuições de outras áreas do conhecimento, como a psicologia, a filosofia e a sociologia, que possam nos auxiliar a compreender melhor como os conceitos químicos são elaborados pelos alunos nesse processo, fundamentalmente social, de se apropriar do conhecimento já disponível no contexto escolar.

A partir da década de 90 é possível se perceber um movimento de pesquisadores na área de ensino de ciências no sentido de incorporar em suas análises e em seus programas de pesquisa pressupostos que parecem oferecer uma nova perspectiva para o estudo da elaboração de conceitos científicos no âmbito da sala de aula (Glasson, 1993; O' Loughlin, 1992; Hennessy, 1993; Romanelli, 1992; Mortimer, 1993). Esses trabalhos vêm sendo realizados a partir dos pressupostos teórico-metodológicos da perspectiva sócio-histórica. Os conceitos e princípios teóricos dessa abordagem do desenvolvimento humano encontram-se principalmente nos trabalhos de Lev Semionovich

Este artigo relata uma investigação realizada com professores sobre o papel da linguagem na elaboração de conceitos em química.

*linguagem, elaboração conceitual, ensino-
aprendizagem*

Este artigo foi publicado originalmente na revista *Química Nova na Escola* n. 2, 1995.

Vygotsky (1987, 1988) e seus colaboradores (Luria, 1987, 1994; Leontiev, 1978; Vygotsky, Luria e Leontiev, 1989) e nos desdobramentos de sua obra em função de sua divulgação no Ocidente (Wertsch, 1985, 1991; Wertsch e Smolka, 1993; Hickman, 1987; Moll, 1990; Bronckart, 1985; Smolka e Góes, 1993).

Uma das contribuições fundamentais dessa perspectiva relaciona-se com a concepção do processo de conhecimento como produção simbólica e material que se estabelece na dinâmica das interações entre as pessoas. Nesse sentido, o foco das atenções na sala de aula não estaria no professor, nos alunos ou no conteúdo, mas sim no movimento das interações que ocorrem ao longo do processo. Nesse movimento interativo, a atividade cognitiva dos sujeitos vai sendo constituída através do outro e através da linguagem.

Vygotsky dedicou-se a estudar as relações entre a linguagem e o pensamento, oferecendo contribuições importantes relacionadas ao papel da linguagem na elaboração conceitual. Segundo Fontana (1993), "Nesta perspectiva a elaboração conceitual é considerada como um modo culturalmente desenvolvido de os indivíduos refletirem cognitivamente suas experiências, resultante de um processo de análise (abstração) e de síntese (generalização) dos dados sensoriais que é mediado pela palavra e nela materializado". Dessa forma, a palavra assume um papel fundamental e central, configurando-se como mediadora da compreensão dos conceitos por parte dos sujeitos e principal agente de abstração e generalização. É nesse sentido que a linguagem assume um papel constitutivo na elaboração conceitual, e não apenas o papel comunicativo ou de instrumento. É exatamente essa forma de conceber a linguagem, proposta por Vygotsky, que nos interessa nesta investigação.

Muitos trabalhos de pesquisa realizados apontam para a estreita relação entre o que o professor pensa e como ele atua no processo ensino-aprendizagem. Se é possível se conceber que a linguagem é de fundamental importância na elaboração conceitual, que seu papel não é meramente o de comunicar idéias, e se pretendemos incorporar essas propostas em nosso cotidiano na sala de aula e em nossas discussões com outros professores e futuros professores, é fundamental que conheçamos como esses concebem a linguagem e como percebem seu papel na elaboração conceitual em sala de aula. Esse é o nosso problema central de investigação.

Para coletarmos as informações necessárias, trabalhamos com 25 pessoas, envolvendo alunos de licenciatura em química, professores do Colégio Técnico e de ciências e alunos do curso de especialização em ensino de ciências do Centro de Ensino de Ciências e Matemática de Minas Gerais (CECIMIG) da Faculdade de Educação da UFMG.

A estratégia utilizada para a sondagem das concepções dos professores envolveu a manifestação dos mesmos sobre as seguintes questões: "O que é linguagem?" "Qual o papel da linguagem na sala de aula?" "Qual o papel da linguagem na elaboração de conceitos científicos?"

Todas as discussões foram registradas em vídeo. Posteriormente, os registros foram submetidos a um processo de categorização em que foram determinadas categorias de análise a partir dos dados obtidos.

Concepções sobre a linguagem e seu papel na elaboração conceitual

A partir da análise das discussões realizadas pelo grupo de professores envolvidos na investigação foi possível destacar algumas formas de conceber a linguagem e seu papel na elaboração conceitual em sala de aula:

A linguagem como forma de expressão e comunicação. Essa forma de conceber a linguagem foi a que mais apareceu nas manifestações dos professores. As Seqüências 1,2 e 3 ilustram alguns contextos e sentidos nos quais esta concepção foi evidenciada pelos professores, incorporando de certa maneira, a concepção de linguagem como instrumento. Porém, como destaca Smolka, "nesse sentido a linguagem é vista como um 'meio' de se atingir um fim, o que não distingue essa noção de

Seqüência 1

E - entrevistador

P - professor

E: Falando mais especificamente, o que é a linguagem para você?

P₁: A linguagem é a maneira de se expressar. O professor não se preocupa muito em... porque cada pessoa tem esta linguagem, eu acho que cada pessoa tem no subconsciente essas frases prontas. Então para elas passarem essas frases prontas para os alunos elas têm que se preocupar com a linguagem dos alunos.

P₂: É um instrumento.

P₁: É um instrumento de aproximação do aluno com o professor e com a matéria.

uma concepção clássica em que a linguagem é vista como meio/veículo de expressão, comunicação, representação” (Smolka, 1995). Ou seja, existe uma mensagem a ser comunicada, e é essa a função do professor, comunicar essa mensagem — e de preferência comunicar bem, ajustando sua forma de expressão àquela que pensa ser adequada a seus alunos.

A linguagem como ‘via de mão única’. Conceber a linguagem como forma de expressão e comunicação parece evocar também a concepção da linguagem como via de mão única. Nesse sentido, a linguagem parte do emissor (em geral o professor) e chega ao receptor (em geral o aluno) e é a partir daí que a comunicação se estabelece. Essa forma de conceber a linguagem e seu papel está explicitada no episódio transcrito na Seqüência 2.

Nessa seqüência pode-se perceber, pela manifestação de P₃, uma insatisfação com a linguagem e o processo de comunicação na sala de aula. Ao tentar explicitar o que lhe causa essa insatisfação, P₃ evidencia conceber que a linguagem tem a função de “transmitir um significado” que será concretizado no aluno, e esse demonstrará ter apreendido tal significado a partir do momento que consiga “perceber, descrever, mostrar...” Embora o papel do outro esteja esboçado nesse discurso, a linguagem parece ser concebida como meio de transmitir significado. Seu funcionamento se dá em uma via de mão única no sentido de ir do professor para o aluno e vir do aluno para o professor em trajetórias aparentemente lineares. Na última manifestação de A₁, a compreensão configura-se como um processo de assimilação e decodificação de uma mensagem transmitida. Se a linguagem é concebida como meio de transmissão de significados em uma via de mão única, reforça-se então a concepção do processo de aprendizagem / ensino como transmissão — recepção. Reforça-se a posição da palavra do professor como ‘fonte de conhecimento’ e do aluno como receptáculo.

A estabilidade do significado. Outra concepção importante revelada pelas manifestações refere-se à estabilidade dos significados. Essa forma de conceber a linguagem influencia sobremaneira a concepção tradicional do processo ensino/aprendizagem e parece complementar em relação às duas concepções destacadas anteriormente. O episódio apresentado na Seqüência 3 ilustra essa terceira concepção.

A linguagem tem, para nossos professores, a função de comunicar a ‘mensagem’ que o professor já tem pronta. Aos alunos cabe decodificá-la. Isso parece apontar para o fato de tal mensagem possuir significados estáveis, que ao serem (bem) comunicados e decodificados (adequadamente) se estabelecerão nas mentes dos alunos de forma também estável e imediata. Qualquer problema de compreensão tende a ser considerado como um ‘ruído na comunicação’.

Em nossas práticas cotidianas isto se implementa na organização de conteúdos que planejamos. Como quando pretendemos, por exemplo, esgotar todo o tema dos modelos atômicos logo no primeiro bimestre do primeiro ano. Ou ainda quando concebemos que, ao utilizar a palavra ‘átomo’ corretamente, nosso aluno já atribua a ela um significado ‘correto’. Vygotsky discute essa questão no capítulo “Pensamento e palavra” (Vygotsky, 1987), ao afirmar que quando uma criança

Seqüência 2

E: Se a gente pensar: linguagem na sala de aula. Como é que vocês percebem isso? Quando eu coloco o tema “Linguagem na sala de aula de ciências”, o que vem para vocês em relação a isso?

P₃: Que ela não está adequada, é o que quer dizer. Muitas vezes ela não consegue transmitir um significado, idéias concretas, ela não consegue, muitas das vezes, concretizar determinados elementos para o aluno.

E: Fale mais desse concretizar...o que você quer dizer com isso?

P₄: O que eu entendi que ele queria dizer é talvez expressar, explicar um fenômeno. Mas, você não consegue as palavras.

E: Mas a linguagem... é possível concretizar? O quê? Como é isso?

P₃: É... eu entendo que diante do que eu falei, se a linguagem é a transmissão de um significado, e se você procura cercar essa linguagem o melhor possível, de forma que você consiga transmitir um significado àquela pessoa e que ela consiga concretizar mesmo, e por concretizar eu quero dizer que ela consiga perceber, descrever para você, mostrar (...) fazer alguma coisa que lhe mostre o que estava sendo trocado ali entre um e outro, aí eu acredito que a linguagem que foi passada se concretizou na outra pessoa.

E: A linguagem que foi passada?

P₃: É... a linguagem que saiu de um emissor para um receptor. O receptor aí entendeu, fez diversas relações e conseguiu externar.

começa a utilizar uma palavra corretamente a evolução de seu significado está apenas começando.

Vale destacar que todas essas formas de conceber a linguagem e seu papel no processo de elaboração conceitual não são excludentes nem tampouco inadequadas. Essas concepções consideram algumas funções importantes da linguagem, como a comunicação e a expressão, mas não esgotam toda a sua dimensão. Nesse sentido, alguns pontos merecem nossa reflexão.

“A linguagem nem sempre comunica, não é transparente, ela significa através do ‘não dito’ e não necessariamente através do que é dito. Admite a pluralidade de sentidos e significados, é polissêmica. A linguagem é fonte de equívocos, ilusões, mal-entendidos. Podemos dizer que ela ‘trabalha’ ou ‘funciona’ às vezes ‘por si’, produzindo múltiplos efeitos, independentemente das intenções de quem fala; ela escapa ao conhecimento, poder e controle do homem.” (Smolka, 1995)

Trazer essa perspectiva para nossas salas de aula de química talvez nos auxilie a compreender melhor o processo de elaboração conceitual que ali se estabelece e que parece escapar sempre ao nosso controle.

Conceber que a linguagem nem sempre comunica, ou seja, que nem sempre o que se fala é devidamente compreendido e significado como pretendemos, aponta para a importância de se abrir espaço para que as vozes dos alunos sejam ouvidas, para que os sentidos sejam confrontados, reelaborados.

Conceber que a linguagem não funciona em uma ‘via de mão única’ coloca a importância fundamental da interação com o outro, da interação dos alunos não só com o professor, mas também com

Seqüência 3

E: Mas se a gente focaliza essa mensagem na sala de aula, o que significa isso?

P₅: Pois é, eu acho assim, eu vou dar uma aula (...), eu vou falar do assunto ‘xis’, eu tenho o objetivo de passar uma mensagem. Minha mensagem já vai estar formada na hora em que eu preparo a aula de um determinado assunto. Então a mensagem que eu quero que meus alunos entendam ou aprendam, essa mensagem foi construída antes. Agora, pode ser que isso aí extrapole o que eu planejei, mas eu acho que a minha hora, que eu tô organizando ali, o que eu quero passar, o que eu quero passar ali é a mensagem.

seus pares.

Conceber que o significado talvez não seja tão estável como em geral se admite resgata a flexibilidade, às vezes tão esquecida, em relação à manifestação do outro. Amplia o espaço para a elaboração de conceitos inserida em um processo temporalmente muito maior que o que talvez fosse pretendido.

O que se quer apontar aqui é que, dentro da complexidade que envolve a elaboração conceitual em sala de aula, a linguagem merece ser destacada. Merece, de nossa parte, uma reflexão mais profunda, mais cuidadosa. A explicitação e discussão dessas concepções de linguagem parecem-nos fundamentais nos redimensionamentos que buscamos em nosso envolvimento com a formação de professores e com a nossa própria.

Referências bibliográficas

- BRONCKART, J.P e SCHNEUWLY, B. *Vygotsky aujourd'hui*. Paris: Delachaux et Niestlé, 1985.
- FONTANA, R.A.C. A elaboração conceitual: a dinâmica das interlocuções na sala de aula, In: SMOLKA, A.B. e GÓES M.C.R de (Orgs.). *A linguagem e o outro no espaço escolar: Vygotsky e a construção do conhecimento*. Campinas: Papyrus, 1993.
- GLASSON, E.G. e LALIK, R.V. Reinterpreting the learning cycle from a social constructivist perspective: a qualitative study of teachers' beliefs and practices. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 30, n.2, 1993.
- LEONTIEV, A. *O desenvolvimento do psiquismo*. Lisboa: Horizonte Universitário, 1978.
- LURIA, A. R. *Pensamento e linguagem: as últimas conferências de Luria*. Porto Alegre: Artes Médicas, 1987.
- LURIA, A.R. *Desenvolvimento cognitivo: seus fundamentos culturais e sociais*. São Paulo: Ícone, 1994.
- LURIA, A.R. e YUDOVICH, F.I. *Linguagem e desenvolvimento intelectual na criança*. Porto Alegre: Artes Médicas, 1985.
- HENNESSY, S. Situated cognition and cognitive apprenticeship: implications for classroom learning. *Studies in Science Education*, v. 22, 1993.
- HICKMANN, M. *Social and functional approaches to language and thought*. New York: Academic Press, 1987.
- MOLL, L.C. *Vygotsky and education*. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.
- MORTIMER, E.F. *Evolução do atomismo em sala de aula: mudança de perfis conceituais*. Tese de doutorado. São Paulo: Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, 1994.
- O'LOUGHLIN M. Rethinking science education: beyond piagetian constructivism toward a sociocultural model of teaching and learning. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 29, n. 8, p. 791-820, 1992.
- ROMANELLI, L.I. *Concepções do professor sobre seu papel mediador na construção do conceito átomo*. Tese de doutorado. Campinas: Faculdade de Educação da Unicamp, 1992.
- SCHNETZLER, R.P. e ARAGÃO, R.M.R. Importância, sentido e contribuições de pesquisas para o ensino de química, *Química Nova na Escola*, n. 1, p. 27-31, 1995.
- SMOLKA, A.L.B e GÓES, M.C.R. *A linguagem e o outro no espaço escolar*. Campinas: Papyrus, 1993.
- SMOLKA, A.B. A concepção de linguagem como instrumento: discutindo possibilidades e limites na perspectiva histórico-cultural. *Temas em psicologia* (no prelo), 1995.
- VYGOTSKY, L.S. *Pensamento e linguagem*. São Paulo: Martins Fontes, 1987.
- VYGOTSKY, L.S. *Formação social da mente*. São Paulo: Martins Fontes, 1988.
- VYGOTSKY, L.S., LURIA, A.R. e LEONTIEV, A.N. *Linguagem, desenvolvimento e aprendizagem*. São Paulo: Ícone, 1989.
- WERTSCH, J.V. *Culture, communication and cognition: Vygotskian perspectives*. Cambridge: Cambridge University Press, 1985.
- WERTSCH, J.V. *Voices of the mind: a sociocultural approach to mediated action*. Cambridge: Harvard University Press, 1991.
- WERTSCH, J.V. e SMOLKA, A.L.B. Continuando o diálogo: Vygotsky, Bakhtin e Lotman. In: *Vygotsky em foco: pressupostos e descobrimentos*, DANIELS, H. (Org.). Campinas: Papyrus, 1993.

Eduardo M.A. Peixoto

Instituto de Química da Universidade de São Paulo, São Paulo - SP

HIDROGÊNIO



Hidrogênio, do grego *hidro* e *genes*, 'gerador de água'. Gás incolor, inodoro, insípido, inflamável. É o elemento químico mais simples. Seu símbolo é H. Na Terra, é o nono elemento em abundância. O hidrogênio é responsável por 0,9% da massa de nosso planeta. No universo, é o mais abundante: estima-se em 75% da massa de toda matéria. Foi preparado pela primeira vez por Paracelsus, alquimista suíço do século XVI, fazendo reagir certos ácidos com alguns metais já conhecidos. Somente em 1766 é que Henry Cavendish, químico inglês, distinguiu o H de outros gases inflamáveis. Em 1781 Antoine-Laurent de Lavoisier chamou-o de hidrogênio.

Na natureza, esse elemento ocorre em três formas isotópicas, hidrogênio, deutério e trítio:

H 99,985%

D 0,015%

T traços

O trítio é radioativo e tem meia vida de 12,26 anos.

Número atômico	$Z = 1$
Ponto de fusão	$T_f = -259,2 \text{ }^\circ\text{C}$
Estados de oxidação	-1, +1
Massa molar	$M = 1,00747 \text{ g/mol}$
Ponto de ebulição	$T_e = -252,8 \text{ }^\circ\text{C}$

HÉLIO



Hélio, do grego *helios*, sol. Em 1868 o astrônomo francês Pierre-Jules-César Janssen foi à Índia para observar o eclipse total do Sol e assim realizar o primeiro estudo da cromosfera solar. Na ocasião, ele notou uma nova radiação amarela (linha espectral) que não coincidia exatamente com a linha amarela do sódio e que não podia ser reproduzida em laboratório com nada conhecido até então. Ao mesmo tempo, o astrônomo inglês Norman Lockyer, percebendo que a nova linha espectral não era do hidrogênio nem de nenhum outro elemento conhecido, atribuiu a mesma ao que seria o átomo de um novo elemento, que chamou de hélio. Por 25 anos o He foi considerado um elemento hipotético. Em 1895, quando William Ramsay tentava reestudar um trabalho recém-publicado e do qual discordava, estudou os gases produzidos pelo tratamento de uma amostra de cleveita com ácidos. A cleveita é um minério de urânio cujo nome foi dado em homenagem a Per Theodor Cleve. Um dos gases obtidos por Ramsay foi enviado a William Crookes e também a Lockyer, a fim de que identificasse espectroscopicamente. Lockyer imediatamente verificou tratar-se do hélio, cujas radiações haviam sido observadas na cromosfera solar. Ao mesmo tempo, na Suíça, Per Cleve e seu aluno Nils Abraham Langlet também investigavam a cleveita e, independentemente, prepa-

A seção "Elemento químico" traz informações científicas e tecnológicas sobre as diferentes formas sob as quais os elementos químicos se manifestam na natureza e sua importância na história da humanidade, destacando seu papel no contexto de nosso país.

raram uma amostra que se mostrou mais pura do que a de Ramsay e identificaram-na espectroscopicamente. Ramsay, Lockyer, Cleve e Langlet são considerados os descobridores do He.

Constitui 0,000001% da massa do planeta e 23% da massa do universo visível. O He é o único líquido que não se solidifica pela simples diminuição da temperatura, à pressão atmosférica ambiente. Por não ser tóxico, ter baixo peso e grande velocidade de difusão, ele é usado em mistura com oxigênio para tratamento de asma, pois assim se reduz o esforço muscular da respiração. É muito provável que o hélio já tenha sido observado entre os gases emanados de poços de petróleo perfurados em nosso país. Até hoje, no entanto, essa substância não é produzida no Brasil.

Número atômico	$Z = 2$
Massa molar	$M = 4,0026 \text{ g/mol}$
Ponto de fusão	$T_f = -272,1 \text{ }^\circ\text{C}$ (a 25,2 atm)
Ponto de ebulição	$T_e = -268,94 \text{ }^\circ\text{C}$

CARBONO



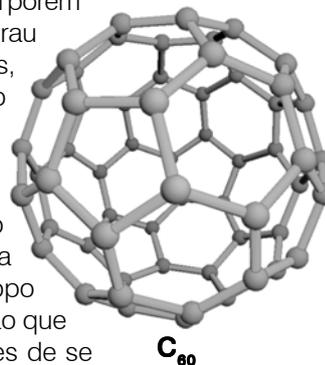
Carbono, nome dado por Lavoisier em 1789, do latim *carbo*, carvão, (*carbone*, em francês). No mesmo ano, A.G. Werner e D.L.G. Harsten propuseram o nome grafite (da palavra grega para 'escrever') para uma das formas alotrópicas. Como carvão, o carbono aparece nos mais antigos escritos da humanidade como, por exemplo, na Bíblia:

Prov. 26, 21 (1000 a.C.)

Como o carvão é para o borralho, e a lenha para o fogo, assim é o homem contencioso para acender rixas.

As escrituras hindus, os Vedas, o Ramayana e o Mahabharata, mencionam o diamante. Embora conhecido de longa data, o carbono só veio a ser reconhecido como elemento químico aos poucos e pelo trabalho de muitos pesquisadores, ao longo da história da humanidade, e definitivamente com os trabalhos de R.-A.-F. de Réaumur, H.-L. Duhamel du Monceau, C.W. Scheele, C.-L. Berthollet, A.-L. Lavoisier e outros... Existe em pelo menos sete formas alotrópicas: grafite (alfa e beta), diamante, lonsdaleíta (diamante hexagonal), caoíta, carbono (VI) e os fulerenos. Na realidade, são vários os fulerenos, que têm uma estrutura poliédrica com um átomo de carbono em cada vértice. Dois exemplos típicos são os C_{60} e C_{70} (veja artigo sobre fulerenos em *Química Nova na Escola* nº 4). Todas essas formas alotrópicas do carbono têm uma estrutura cristalina bem definida. Existem porém outras formas de carbono que são amorfas, ou que possuem um baixo grau de cristalinidade; entre estas estão o *negro de fumo* (usado em pneus, tintas, papel carbono etc.), o carvão comum (de uso doméstico como combustível em churrasqueiras, na fabricação de filtros etc.) e o *coque*, usado em siderúrgicas. Cada um desses tem um conjunto específico de propriedades físico-químicas.

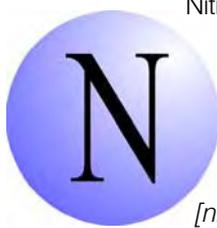
No CO_2 atmosférico existe também ^{14}C , resultante da decomposição de ^{14}N por colisão com nêutrons provenientes do espaço sideral; nessa colisão o ^{14}N pode perder um próton e transformar-se no ^{14}C . Esse isótopo do carbono é radioativo, emitindo partículas beta, β , que nada mais são que do elétrons; sua meia vida é de 5730 anos. Isso quer dizer que, antes de se



desintegrar totalmente, ele tem um tempo suficientemente longo para se incorporar à biosfera: assim, de todo o carbono que faz parte das plantas e animais, cerca de $1,2 \times 10^{-10}\%$ está como ^{14}C . O diamante e a grafite são as formas mais importantes de carbono. Atualmente, no Brasil, a grafite é produzida industrialmente na Bahia, para ser usada em eletrodos industriais. Enquanto a grafite é um lubrificante, o diamante é extremamente duro. Apesar de poder ser quebrado facilmente, ele é tão duro que pode riscar qualquer material, sendo o material de maior dureza conhecido até hoje (10 mohs). O nome diamante parece vir do grego *adamas*, invencível; termo que já pode ser encontrado em documentos do sec. VIII a.C. Esse termo foi usado inicialmente para o ferro, depois para o corundum e outros minerais e, finalmente, para descrever valores espirituais. Até 1729, todos os diamantes vinham de Borneo ou da Índia. No sec. XVIII ele foi descoberto no Ocidente, e pela primeira vez no Brasil, oferecendo mais uma 'razão' para a exploração colonial na América Latina. Embora haja uma produção substancial de diamantes em garimpos, essa produção pouco aparece oficialmente, levando-nos a crer que grande parte da produção brasileira é contrabandeada. Na realidade, o garimpo de diamante no Brasil tem decaído drasticamente, em grande parte devido aos métodos arcaicos que caracterizam esse comércio, as leis fiscais e as leis de exploração mineral. No século IV a.C., Kautilya, que viveu na Índia, na corte de Candragupta-Maurya, não só descreveu os diamantes como sugeriu seu uso como pedra preciosa e como objeto de taxaço por especialistas treinados para isso. Aqui encontramos a mais antiga referência de uso do diamante como forma de entesouramento. No cenário mundial o Brasil figurava em 1980 em décimo lugar na produção mundial de diamantes brutos, 300 mil quilates (1 quilate = 0,200 g) produzidos oficialmente; a ex-União Soviética e o Zaire apareciam como os maiores produtores mundiais, com cerca de 11 milhões de quilates/ano. Está aí, em grande parte, uma explicação para o atual sofrimento da população do Zaire e de outros povos.

Número atômico	$Z = 6$
Massa molar	$M = 12,011 \text{ g/mol}$
Ponto triplo (grafite-diamante-líquido):	4000 K e 100 bar
Isótopos naturais:	^{12}C , ^{13}C (1,01 a 1,14%) e ^{14}C

NITROGÊNIO



Nitrogênio, nome dado por Jean-Antoine-Claude Chaptal em 1790, quando se percebeu que o nitrogênio era um constituinte do ácido nítrico e dos nitratos (do grego, *genio*, formador de, *nitron*, de nitratos). Lavoisier preferia chamá-lo de azoto (do grego *azoti*, não vida), uma vez que ele não entretinha a vida. Por volta do século VIII, o chinês Mao-Khoa já dizia que

a atmosfera era composta por duas substâncias: Yan, ou ar completo [nitrogênio], e Yn, ou ar incompleto [oxigênio]. O ar ordinário poderia tornar-se mais perfeito usando metais, enxofre ou carvão para roubar parte do seu Yn; ao se queimarem no ar, combinam-se com Yn.

Quase 1000 anos depois, a 'descoberta' do nitrogênio foi anunciada na tese de doutorado de Daniel Rutherford, em 12 de setembro de 1772, na Universidade de Edinburgo. Sobre Mao-Khoa pouco se sabe, mas sobre Rutherford sabe-se que era filho de um dos fundadores da Escola Médica de Edinburgo, Escócia, e que sua tese foi sugerida e orientada por um famoso químico da época, Joseph Black. Black notou que, ao queimar uma substância orgânica no ar, restava um certo volume

de gás, mesmo depois de ser retirado todo o gás carbônico produzido na queima. Assim, Black sugeriu a Rutherford que ele estudasse a natureza daquele *ar residual*, que mais tarde Rutherford chamaria de *ar nocivo*, porque não servia para manter a vida. Rutherford notou que ao colocar um camundongo dentro de um recipiente com ar, quando o animal morria, o volume de ar havia se reduzido para 9/10 do volume inicial. Ao retirar o gás carbônico, ele percebeu uma redução adicional de 1/11 do volume desse ar residual. Curiosamente, Rutherford não percebeu que o nitrogênio era um constituinte do ar... Apesar de muitos considerarem Rutherford como o descobridor do nitrogênio, não podemos esquecer de Carl W. Scheele, Henry Cavendish, Joseph Priestley e vários outros. Ainda mais fundamentais talvez tenham sido também as observações do grande artista Leonardo da Vinci (1452-1519), quase três séculos antes de Rutherford; da Vinci, por exemplo, já havia percebido que o ar não era uma substância pura e mostrou que ele era consumido na combustão, como na respiração, mostrando a natureza íntima desses dois processos:

*aonde uma chama não pode viver,
nenhum animal que respira vive.*

Assim, se considerarmos Rutherford o pai do nitrogênio, talvez tenhamos que admitir que os avós e bisavós foram outros. Após obter o seu título, Rutherford viajou por três anos. Em 1775, começou a praticar a medicina. Onze anos mais tarde, aceitou a cadeira de botânica em Edinburgo e, aparentemente, não mais trabalhou em química.

Apesar do N_2 ser muito abundante na atmosfera, ele é relativamente escasso na crosta terrestre: nesta, seu teor é da ordem de 19 ppm (isto é, 19 g em cada tonelada), teor, igual ao do gálio, 33º em ordem de abundância, e semelhante ao do nióbio (20 ppm) e do lítio (18 ppm). Grandes quantidades de nitrogênio são consumidas nos diversos processos de fixação do nitrogênio atmosférico, como por exemplo o realizado por microrganismos, tornando o nitrogênio disponível às plantas. Com frequência, o N_2 é empregado nos processos químicos quando se deseja uma atmosfera inerte. Nitrogênio líquido é usado como refrigerante, tanto para o congelamento de produtos alimentícios como para o transporte de alimentos. O nitrogênio já foi bastante utilizado para encher os bulbos das lâmpadas de filamento e assim reduzir o processo de vaporização deste; hoje em dia, porém, ele tem sido substituído em grande parte por argônio, que é mais inerte. Um dos seus compostos mais importantes é o gás amônia, NH_3 . Milhões de toneladas desse composto são produzidas a cada ano; grande parte dele é usada na produção de ácido nítrico, HNO_3 , de uréia e de outros compostos de nitrogênio. O NH_3 é o mais comum dos gases refrigerantes, usado principalmente na produção de gelo e na manutenção de baixas temperaturas na indústria. O amoníaco caseiro, comprado nas farmácias e supermercados, nada mais é do que uma solução aquosa desse gás. O único processo de produção industrial de N_2 em larga escala é através da liquefação seguida de destilação fracionada do ar liquefeito. Grande parte do aumento na produção de N_2 deve-se ao crescimento da demanda do coproduto deste processo, o oxigênio, cujo consumo na produção de aços tem aumentado bastante nos últimos anos. O Brasil produz nitrogênio.

Número Atômico	$Z = 4$
Massa Molar	$M = 14,0067 \text{ g/mol}$
Isótopos Estáveis:	
	^{14}N ($M = 14,00307 \text{ g/mol}$, 99,634%)
	^{15}N ($M = 15,00011 \text{ g/mol}$, 0,366%)
Ponto de Fusão	$T_f = -209,9 \text{ }^\circ\text{C}$
Ponto de Ebulição	$T_e = -195,8 \text{ }^\circ\text{C}$ (1 atm)

OXIGÊNIO



Oxigênio, do grego *oxi*, 'azedo', *gênio*, 'gerador de', ou, 'eu produzo'), nome dado por A.-L. Lavoisier em 1777, por acreditar erroneamente que ele era um constituinte essencial de todos os ácidos (que aliás, não são exatamente de sabor azedo, mas sim ácido). O chinês Mao-Khoa no sec.VIII d.C., e depois Leonardo da Vinci, no sec.XV, foram os primeiros a perceber que o ar não era um elemento. No seu livro, Mao-Khoa afirma que a atmosfera é composta de duas substâncias: *Yan*, ou ar completo (*nitrogênio*), e *Yn*, ou ar incompleto (*oxigênio*). Além desse conhecimento ele afirmava que o ar comum poderia ser melhorado pelo uso de metais e mesmo carbono que roubariam a parte *Yn* do ar. Como se esse fato não bastasse na enigmática história do oxigênio, no mundo ocidental, Leonardo da Vinci, artista e cientista famoso, mais conhecido pelo seu quadro da *Monalisa*, descreveu claramente a relação existente entre a combustão e a *respiração*, concluindo que *Onde uma chama não vive nenhum animal que respira pode viver*. No entanto, apesar de todas essas evidências a grande maioria dos livros atribui a C.W. Scheele (1742-1786) e a J. Priestley (1733-1780) a "descoberta" independente do oxigênio. Priestley, era um pastor anglicano e Scheele, um farmacêutico sueco; Priestley preparou O_2 aquecendo HgO , sobre Hg (mercúrio) líquido, confinados no interior de um cilindro de vidro invertido. O aquecimento foi efetuado fazendo-se uso de uma lente para focar os raios solares sobre o HgO no interior do cilindro, numa segunda-feira, 1º de agosto/1774, em Colne, Inglaterra. Na mesma época, 1771-3, Scheele, em Upsala, preparou O_2 de várias formas, como por exemplo, aquecendo KNO_3 , ou $Mg(NO_3)_2$, ou HgO , ou uma mistura de H_3AsO_4 e MnO_2 . Apesar disso, foi Lavoisier quem percebeu que esse gás que Scheele chamava de *ar vitriolo*, era de fato a substância simples de um elemento, e um elemento chave para o nosso atual conceito de combustão. Isto levou-o a derrubar toda a Teoria do Flogístico e a criar a química moderna. Priestley pertencia, com James Watt e outros, a uma curiosa Sociedade Lunar, assim chamada por reunir-se toda primeira segunda-feira de lua cheia que, segundo consta, garantia a cada um achar o caminho à noite. Priestley era um simpatizante das causas revolucionárias dos franceses e dos americanos; por isso mesmo foi perseguido na Inglaterra e fugiu para os Estados Unidos da América do Norte, onde viveu em liberdade. Scheele, mostrou-se um químico excepcional. Recusou-se a trabalhar em universidade, pois nas farmácias encontrava melhores condições de trabalho. Numa dessas, o dono faleceu. Scheele recuperou financeiramente a farmácia e comprou-a da jovem viúva Sra. Phol que, junto com a irmã de Scheele, passou a tocar os negócios. Percebendo que iria falecer (sofria seriamente de reumatismo), casou-se com a mesma, garantindo-lhe assim o retorno da propriedade.

O oxigênio é o elemento mais abundante na superfície da Terra; como elemento livre ele constitui cerca de 23% da atmosfera, em massa, e 46% da litosfera, e mais do que 85% da hidrosfera. Paradoxalmente, ele é o elemento mais abundante da superfície da Lua onde, em média, 3 em cada 5 átomos são de oxigênio (44,6% em massa). O oxigênio tem uma variedade alotrópica, o ozônio, O_3 . Essa forma alotrópica do oxigênio tem grande importância na manutenção da vida na Terra uma vez que a sua presença na camada gasosa que envolve o nosso planeta ajuda a filtrar grande parte das radiações *ultravioletas* que nos atingiriam de forma catastrófica. Certos poluentes que atingem grandes altitudes, catalisam a destruição do ozônio, interferindo nesse processo de proteção; entre esses destruidores de ozônio estão certos compostos orgânicos fluorclorados empregados em compressores de ar-condicionado e geladeiras, assim como, ao que tudo indica, gases expelidos pelos jatos e foguetes espaciais. Enquanto em grandes altitudes o ozônio tem um papel predominantemente protetor, na baixa atmosfera onde vivemos ele cumpre o papel de um importante poluente: grande parte dos acidentes de carros é atribuída às falhas de pneus que sofrem com o ataque do ozônio que reage com as ligações duplas dos polímeros reduzindo o comprimento da sua cadeia e alterando a sua resistência. No ar ele danifica os tecidos da pele e dos pulmões levando lentamente a doenças próprias dos grandes centros urbanos poluídos. O oxigênio sólido, ou líquido, é azul-claro. É importante notar que essa cor azul do sólido deve-se a uma transição eletrônica (entre o estado fundamental triplete e estados

excitados singletes). Por outro lado, a cor azul do céu deve-se ao espalhamento do tipo Rayleigh da luz solar pelas moléculas de oxigênio do ar. Cerca de 70% do oxigênio usado comercialmente é para remover o excesso de carbono dos aços. Na medicina o seu uso mais comum é na produção de ar enriquecido de O_2 para uso médico. Grande parte do O_2 é usado em soldas de metais com os maçaricos de oxihidrogênio e oxiacetileno. No entanto, cerca de 3/4 do oxigênio puro produzido são para o preparo de outras substâncias. Industrialmente, o oxigênio puro é preparado pela destilação fracionada do ar liquefeito, e assim o é também no Brasil.

Número Atômico	$Z = 8$
Massa Molar	$M = 15,9994 \text{ g/mol}$
Isótopos Estáveis	
	^{16}O ($M = 15,994915 \text{ g/mol}$, 99,763%)
	^{17}O ($M = 16,999134 \text{ g/mol}$, 0,037%)
	^{18}O ($M = 17,999160 \text{ g/mol}$, 0,200%)
Ponto de Fusão	$T_f = -218,8 \text{ }^\circ\text{C}$
Ponto de Ebulição	$T_e = -183,0 \text{ }^\circ\text{C}$ (1 atm)

ALUMÍNIO



Alumínio, da palavra latina *alumen*, nome dado a um dos seus sais, o sulfato de alumínio, que já era conhecido desde a Antiguidade (este sal era empregado como fixador de corantes em tecidos). Há mais de 7.000 anos, o povo que ocupava a região hoje conhecida como Iraque produzia cerâmicas de qualidade contendo um alto teor de alumínio. Há 4.000 anos, os egípcios e babilônios usavam compostos de alumínio como ingrediente no preparo de vários produtos químicos e medicinais.

Em 1807, Humphry Davy, pesquisador inglês, tentou isolar esse metal a partir de um dos seus compostos que hoje conhecemos como alumina, o óxido de alumínio, Al_2O_3 . Ele ficou convencido que esse composto tinha uma "base metálica". Curiosamente, mesmo não tendo sido capaz de isolar o alumínio metálico, ele o chamou de *alumium*, que pouco mais tarde tornou-se *aluminium*. Assim era chamado o alumínio entre os ingleses. No entanto, em outras línguas usava-se o termo *aluminium*. Foi somente em 1825 que o alumínio metálico pôde ser preparado em laboratório. Ørsted, estudando a ação da corrente elétrica, tentou isolar o alumínio a partir da alumina, o óxido de alumínio. Com esse, ele preparou o cloreto de alumínio, $AlCl_3$. Esse cloreto foi tratado com uma amálgama de potássio (liga de potássio com mercúrio). Dessa forma ele obteve uma amálgama de alumínio. Por aquecimento, essa liga foi decomposta nos seus constituintes: mercúrio e alumínio. Assim, o mercúrio foi evaporado e o alumínio metálico foi obtido como resíduo desta destilação. O metal obtido parecia-se com o zinco. Hans Christian Ørsted nasceu no sul da Dinamarca, na ilha de Langeland, em 1777, duzentos anos antes da fundação da Sociedade Brasileira de Química, SBQ. Aos 12 anos ele já trabalhava na farmácia do seu pai como assistente deste. Os trabalhos de Ørsted sobre o alumínio tiveram pouca repercussão no mundo científico da época... talvez porque eles foram publicados em uma obscura revista científica da Dinamarca. No entanto, as suas descobertas sobre o eletromagnetismo trouxeram-lhe os prêmios, as honras e a fama merecida. Mas foi somente em 1827 que o alumínio foi repreparado por Friedrich Wöhler (1800-1882) em uma forma suficientemente pura que



Selo dinamarquês, de 1951, comemorativo do centenário da morte de Ørsted.

permitiu a sua descrição de forma adequada. Curiosamente, ele baseou-se no método de Ørsted, e preparou o alumínio fazendo reagir cloreto de alumínio, AlCl_3 , com potássio metálico.

Hoje sabe-se que o alumínio é o elemento metálico mais abundante na crosta terrestre. Seus compostos acham-se concentrados nos 15 km mais externos da crosta e correspondem a cerca de 8% em massa da mesma. Só é menos abundante do que o oxigênio e o silício. Seu minério mais importante é a bauxita. Muitos dos seus compostos encontrados na natureza têm valor como pedras preciosas. Entre essas, os rubis, as safiras, os topázios e os crisoberilos. Ele é o metal não-ferroso mais usado pelo homem. O Al é um bom condutor elétrico ($\sim 2/3$ da condutividade do cobre) e, levando em consideração a sua baixa densidade quando comparada à do cobre, ele é bastante usado em linhas de transmissão de eletricidade com certas vantagens. Quando puro, 99,996%, ele é razoavelmente mole e pouco resistente à ruptura. No entanto, grande parte do alumínio comercial tem uma pureza da ordem de 90 a 99%, formando ligas com pequenas quantidades de ferro e silício. Essas ligas são duras e fortes. O alumínio é um metal bastante reativo, mas apesar disso não só ele como suas ligas são bastante resistentes à corrosão. Por ser bastante reativo, o alumínio reage rapidamente com o oxigênio do ar formando o óxido de alumínio, Al_2O_3 , que é muito pouco reativo. Assim, forma-se sobre o alumínio uma película protetora desse óxido que o protege. Além de ser muito usado na construção civil, o alumínio tem largo emprego em painéis e outros utensílios domésticos e eletro-domésticos. A densidade do alumínio é cerca de $1/3$ da do aço. Por essa razão, já há muitos anos que a indústria automobilística vem tentando aumentar, cada vez mais, o uso desse metal na fabricação de veículos, em substituição ao aço. Em 1992, a Jaguar, fábrica inglesa, produziu uma edição limitada de um Jaguar esportivo feito quase todo de alumínio, incluindo o chassi e o motor. Já a Honda, japonesa, fabricou normalmente o Honda Acura NSX contendo cerca de 500 kg de Al (enquanto um carro do gênero contém cerca de 70 kg de Al). Vários outros fabricantes têm seguido essa filosofia de substituição do aço por alumínio: a General Motors com seu Saturno e a Land Rover com sua carroçaria totalmente de alumínio desde 1948 (devido à escassez de aço logo após a II Guerra Mundial). O Brasil não só possui importantes reservas de bauxita (por exemplo, em Poços de Caldas, MG), como também importantes jazidas e ocorrências de vários outros compostos de alumínio usados como pedras preciosas e semi-preciosas, especialmente nos estados de Minas Gerais, Bahia e na região Amazônica... Os Estados Unidos da América do Norte são o maior produtor de Al, enquanto o Brasil não figura entre os cinco maiores produtores, mas... felizmente o Brasil produz o alumínio e suas ligas...

Número atômico	$Z = 13$
Massa molar	$M = 26,9815 \text{ g/mol}$
Isótopo natural	^{27}Al (100%)
Ponto de fusão	$T_f = 660 \text{ }^\circ\text{C}$
Ponto de ebulição	$T_e = 2467 \text{ }^\circ\text{C}$

SILÍCIO



Silício, de *silex* ou *silicis*, que quer dizer “pedra dura”, foi preparado pela primeira vez em 1824, por Jöns Jacob Berzelius, químico sueco. Berzelius aqueceu tetrafluoreto de silício com potássio. O silício também pode ser preparado reagindo-se SiO_2 (óxido de silício - areia) com magnésio metálico ou com carvão. Em escala industrial, é preparado pela reação do óxido com coque. No entanto, quando é requerido um silício ultrapuro, para a fabricação de semicondutores para uso em equipamentos eletrônicos, a preparação é feita pela decomposição de silano (SiH_4) ou de tetrahaletos de silício a altas temperaturas.

No universo, o silício é um dos elementos mais abundantes. Perde somente para o hidrogênio, o hélio, o neônio, o oxigênio, o nitrogênio e o carbono. A crosta terrestre é composta de 27,7% de silício. Nela, somente o oxigênio é mais abundante. O silício é um sólido duro, de cor cinza escuro, apresentando um certo brilho metálico. Sua estrutura cristalina é semelhante à do diamante e suas reações químicas são semelhantes às do carbono.

Na natureza, o silício só ocorre combinado. É encontrado em praticamente todas as rochas, areias, barros e solos. Combinado com o oxigênio, forma a sílica (SiO_2 - dióxido de silício); com oxigênio e outros elementos (como, por exemplo, alumínio, magnésio, cálcio, sódio, potássio ou ferro), forma silicatos. Entre seus compostos naturais, alguns dos mais importantes são: quartzo $-\text{SiO}_2$, asbestos $-\text{H}_4\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_9$, zeolita $-\text{Na}_2(\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10})\cdot\text{H}_2\text{O}$ e mica $-\text{K}_2\text{Al}_2(\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10})\cdot\text{H}_2\text{O}$. O asbestos ou amianto - que tem sido largamente empregado na fabricação de tanques, telhas e outros produtos da construção civil - está atualmente proibido em muitos países. Absorvidos pelos pulmões, os microfios de asbestos podem provocar uma doença conhecida como *silicose* e outros males aos organismos vivos.

Aquecido entre 2.000 °C e 2.600 °C, na presença de carbono, o silício forma o carbetto de silício (CSi), vulgarmente conhecido como *carborundo*. O CSi tem uma dureza muito alta e, por isso, é um abrasivo muito importante usado em lixas, rebolos e ferramentas de corte.

Devido à sua estrutura eletrônica muito peculiar, o silício é extremamente importante na indústria eletrônica, como semicondutor. Para isso, o silício de alta pureza é *dopado*, isto é, impurificado com outros elementos, tais como boro, fósforo e arsênio. Esse processo forma materiais semicondutores, que são os materiais básicos na construção de *chips* de computadores, transistores, diodos de silício, interruptores especiais e vários outros componentes de circuitos eletrônicos. O silício é bastante usado na indústria metalúrgica como agente redutor e na produção de ligas de aços, latões e bronzes. Na forma de sílica (areia), é usado na fabricação de materiais refratários. Misturado ao cimento, é usado na fabricação de tijolos e de diferentes concretos. Na forma de *quartzo*, o óxido de silício é empregado na fabricação de vidros especiais - como os boro-silicatos (tipo *Pyrex*[®]) -, esmaltes, vernizes especiais e cerâmicas variadas.

O silício forma uma importante classe de compostos conhecidos como *siliconas* ou *polisiloxanos*. São compostos de silício, carbono, hidrogênio e oxigênio, que formam cadeias semelhantes às dos hidrocarbonetos. No entanto, nas cadeias principais desses compostos, em vez de átomos de carbono interligados, tem-se átomos de silício e oxigênio que se alternam. Na maioria desses polímeros, dois grupos orgânicos (como metila ou fenila) estão ligados ao silício. As *siliconas* podem ser encontradas como óleos, graxas e borrachas. Algumas delas têm importantes usos em cirurgias plásticas, como, por exemplo, nos implantes de seios e em outras próteses.

Os compostos de silício podem ser encontrados também em todas as águas naturais, na atmosfera (como poeira), em muitas plantas e nos esqueletos, tecidos e fluidos orgânicos de alguns animais. O *quartzo* tem a propriedade de ser piezoelétrico e, por isso, é usado na fabricação de radares, isqueiros "sem pedra", relógios etc. Em Minas Gerais, um dos principais escultores da nossa história - Aleijadinho - esculpiu muitas das suas obras sacras em pedra-sabão, um silicato com o qual é fabricado o talco, assim como painéis, tijelas e muitos objetos de adorno.

O Brasil possui grandes reservas de *quartzo* (cristal de rocha), especialmente nos estados de Goiás, Minas Gerais e Bahia. O país produz ligas de silício para a indústria metalúrgica (na Bahia) e tem uma pequena produção de silício metálico.

Número atômico	$Z = 14$
Massa molar	$M = 28,086 \text{ g/mol}$
Isótopos naturais	^{28}Si (92,23%), ^{29}Si (4,67%) e ^{30}Si (3,10%)
Ponto de fusão	$T_f = 1410 \text{ °C}$

A Revista Química Nova na Escola (QNEsc), propõe-se a subsidiar o trabalho, a formação e a atualização da comunidade brasileira de Ensino de Química. Nas suas diferentes seções a revista abre o espaço para o debate e a reflexão sobre o ensino e a aprendizagem de química, sobre os seus conceitos e temas atuais, seus experimentos e sua história, não se esquecendo da inserção dessa ciência na sociedade. Os professores e as professoras de química dos níveis fundamental, médio e superior encontrarão em Química Nova na Escola um espaço privilegiado para aprimoramento de sua prática docente.

Contato

REVISTA QUÍMICA NOVA NA ESCOLA

Caixa Postal 26037

São Paulo - SP

CEP 05599-970

Fone: (11) 3032-2299 / Fax: (11) 3814-3602

Email: sbqsp@iq.usp.br

Visite nossa página:
<http://www.sbg.org.br/ensino>





**Ministério
da Educação**

GOVERNO FEDERAL