

química nova

NA ESCOLA

VOLUME

42

Nº 4, NOVEMBRO 2020

- 312 Uso do Gnuplot como ferramenta facilitadora do ensino: Aplicações em Físico-Química
Gabriela Acco, Fabiana S. Kauark e Arlan S. Gonçalves
- 322 Corrosão no ensino de Química: uma análise dos artigos publicados em *Química Nova na Escola*
Amanda J. A. Miranda, Adilson L. P. Silva e Jackson R. Sá-Silva
- 330 Michael Faraday rumo às Leis da Eletrolise: alguns experimentos
Mateus C. G. dos Santos, Paulo A. Porto e Neide M. M. Kiouranis
- 337 Da ordem ao caos: uma reorientação das ciências e da química
Rafael C. Mori e Raphael Nagao
- 344 Mulheres na Ciência para Crianças: um Relato de Sala de Aula
Gizelle I. Almerindo, Anelise Ehrhardt, Patrícia F. S. Costódio, Tainara F. Bona e Katlyn T. Nalepa
- 351 Determinação do teor de cloreto de sódio em arroz cozido: uma proposta para o ensino de química e o combate à hipertensão arterial
Andreza D. M. Mendonça, Wanny T. N. Cabral, Andressa S. Antunes, Victor G. P. Saide, Sheisi F. L. S. Rocha, Cristina M. Barra e José G. Rocha Junior
- 359 O ensino de Ciências na Educação Infantil: Relatos de Sala de Aula
Sthéfany Z. S. do Amparo e Ana C. R. Vaz
- 368 Problema no ensino do equilíbrio de fases condensadas com fase de vapor
Victor D. da Silva
- 373 A temática "agrotóxico" no ensino de química em sala de aula: análise de textos publicados na literatura
Flavio A. Bastos e Ingrid V. Pereira
- 382 Gases ácidos na atmosfera: fontes, transporte, deposição e suas consequências para o ambiente
Renan K. O. A. Cardoso, Helena M. T. Silingardi e Arnaldo A. Cardoso

EDITORES

Paulo Alves Porto (IQ-USP)

Salete Linhares Queiroz (IQSC-USP)

CONSELHO EDITORIAL

Alice Ribeiro Casimiro Lopes (FE-UERJ - Rio de Janeiro, RJ - Brasil)

António Francisco Carrelhas Cachapuz (UA - Aveiro, Portugal)

Attico Inacio Chassot (IPA - Porto Alegre, RS - Brasil)

Aureli Caamaño (UB - Barcelona, Espanha)

Edênia Maria Ribeiro do Amaral (UFRPE - Recife, PE - Brasil)

Eduardo Fleury Mortimer (UFMG - Belo Horizonte, MG - Brasil)

Eduardo Motta Alves Peixoto (IQ-USP - São Paulo, SP - Brasil)

Gisela Hernández (UNAM - Cidade do México, México)

Julio Cezar Foschini Lisboa (GEPEQ-USP - São Paulo, SP - Brasil)

Lenir Basso Zanon (UNIJUÍ - Ijuí, RS - Brasil)

Luiz Henrique Ferreira (UFSCar - São Carlos, SP - Brasil)

Marcelo Giordan (FE-USP - São Paulo, SP - Brasil)

Otávio Aloísio Maldaner (UNIJUÍ - Ijuí, RS - Brasil)

Peter Fensham (QUT - Vitória, Austrália)

Roberto Ribeiro da Silva (UnB - Brasília, DF - Brasil)

Roseli Pacheco Schnetzer (UNIMEP - Piracicaba, SP - Brasil)

ASSISTENTE EDITORIAL

Giseli de Oliveira Cardoso

Química Nova na Escola é uma publicação trimestral da Sociedade Brasileira de Química que tem como local de publicação a sede da sociedade localizada no Instituto de Química da USP -

Av. Prof. Lineu Prestes, 748, Bloco 3 superior, sala 371

05508-000 São Paulo - SP, Brasil

Fone: (11) 3032-2299,

Endereço-e: sbqsp@iq.usp.br

Indexada no *Chemical Abstracts*, *DOAJ*, *Latindex* e *EDUBASE*

Correspondência deve ser enviada para:

Química Nova na Escola

Av. Prof. Lineu Prestes, 748

05508-000 São Paulo - SP, Brasil

Fone: (11) 3032-2299

Fax (11) 3814-3602

Endereço-e: qnesc@sbq.org.br

Química Nova na Escola na internet:

<http://qnesc.sbq.org.br>

Copyright©2020 Sociedade Brasileira de Química

Para publicação, requer-se que os manuscritos submetidos a esta revista não tenham sido publicados anteriormente e não sejam submetidos ou publicados simultaneamente em outro periódico. Ao submeter o manuscrito, os autores concordam que o *copyright* de seu artigo seja transferido à Sociedade Brasileira de Química (SBQ), se e quando o artigo for aceito para publicação.

O *copyright* abrange direitos exclusivos de reprodução e distribuição dos artigos, inclusive separatas, reproduções fotográficas, microfilmes ou quaisquer outras reproduções de natureza similar, inclusive traduções. Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida, armazenada em bancos de dados ou transmitida sob qualquer forma ou meio, seja eletrônico, eletrostático, mecânico, por fotocopiagem, gravação, mídia magnética ou algum outro modo com fins comerciais, sem permissão por escrito da detentora do *copyright*.

Embora todo esforço seja feito pela SBQ, Editores e Conselho Editorial para garantir que nenhum dado, opinião ou afirmativa errada ou enganosa apareçam nesta revista, deixa-se claro que o conteúdo dos artigos e propagandas aqui publicados são de responsabilidade, única e exclusivamente, dos respectivos autores e anunciantes envolvidos. Consequentemente, a SBQ, o Conselho Editorial, os Editores e respectivos funcionários, diretores e agentes isentam-se, totalmente, de qualquer responsabilidade pelas consequências de quaisquer tais dados, opiniões ou afirmativas erradas ou enganosas.

diagramação/capa

Hermano Serviços de Editoração

Sumário/Contents

Educação em Química e Multimídia / Chemical Education and Multimedia

312 Uso do Gnuplot como ferramenta facilitadora do ensino: Aplicações em Físico-Química

Use of Gnuplot as a teaching facilitator: Physico-Chemical applications

Gabriela Acco, Fabiana S. Kauark e Arlan S. Gonçalves

Conceitos Científicos em Destaque / Scientific Concepts Highlighted

322 Corrosão no ensino de Química: uma análise dos artigos publicados em *Química Nova na Escola*

Corrosion in the teaching of Chemistry: an analysis of the articles published in Química Nova na Escola

Amanda J. Alves Miranda, Adilson L. P. Silva e Jackson R. Sá-Silva

História da Química / History of Chemistry

330 Michael Faraday rumo às Leis da Eletrólise: alguns experimentos

Michael Faraday towards the Laws of Electrolysis: some experiments

Mateus C. G. dos Santos, Paulo A. Porto e Neide M. M. Kiouranis

Atualidades em Química / Chemistry Updates

337 Da ordem ao caos: uma reorientação das ciências e da química

From order to chaos: a reorientation of sciences and chemistry

Rafael C. Mori e Raphael Nagao

Relatos de Sala de Aula / Chemistry in the Classroom

344 Mulheres na Ciência para Crianças: um Relato de Sala de Aula

Women in science for children: a classroom report

Gizelle I. Almerindo, Anelise Ehrhardt, Patrícia F. S. Costódio, Tainara F. de Bona e Katlyn T. Nalepa

351 Determinação do teor de cloreto de sódio em arroz cozido: uma proposta para o ensino de química e o combate à hipertensão arterial
Determination of sodium chloride content in cooked rice: a proposal for chemistry teaching and combating arterial hypertension

Andreza D. M. Mendonça, Wanny T. N. Cabral, Andressa S. Antunes, Victor G. P. Saide, Sheisi F. L. S. Rocha, Cristina M. Barra e José G. Rocha Junior

359 O ensino de Ciências na Educação Infantil: Relatos de Sala de Aula
Science teaching in early childhood education: classroom reports

Sthéfany Z. S. do Amparo e Ana C. R. Vaz

Ensino de Química em Foco / Chemical Education in Focus

368 Problema no ensino do equilíbrio de fases condensadas com fase de vapor

A problem on teaching about condensed/vapour phases equilibrium

Victor D. da Silva

373 A temática "agrotóxico" no ensino de química em sala de aula: análise de textos publicados na literatura

The "pesticide" theme in the teaching of chemistry in the classroom: analysis of texts published in the literature

Flavio A. Bastos e Ingrid V. Pereira

Experimentação no Ensino de Química / Practical Chemistry Experiments

382 Gases ácidos na atmosfera: fontes, transporte, deposição e suas consequências para o ambiente

Acid gases in the atmosphere: sources, transport, deposition and their consequences for the environment

Renan K. de Oliveira Alves Cardoso, Helena M. T. Silingardi e Arnaldo A. Cardoso

Esperança, mesmo em tempos difíceis

O ano de 2020 vai chegando ao fim marcado pela pandemia e suas duras consequências. Apesar de tantas vidas perdidas, do desemprego, das escolas fechadas, das atividades de ensino não presencial improvisadas, alguns aspectos destes tempos de pandemia podem nos servir de alento para o futuro.

Nos anos 1930, a compreensão da estrutura do núcleo atômico ainda dava seus primeiros passos, e a primeira fissão nuclear artificial foi produzida no final daquela década. É incrível pensar que em 1945 – ou seja, em tão curto espaço de tempo – já existissem bombas nucleares capazes de matar milhares de pessoas em um instante. Sobre isso, William L. Laurence, jornalista a serviço das Forças Armadas dos EUA que acompanhou o Projeto Manhattan, escreveu: “É uma coisa bonita de se ver, esta ‘engenhoca’ [i.e., a bomba nuclear]. Em seu planejamento foram investidos milhões de homens-hora daquilo que, sem dúvida, é o esforço intelectual mais concentrado da história. Nunca antes tanto trabalho mental foi focalizado em um único problema” (*New York Times*, 9 de setembro de 1945, p. 1). É muito preocupante pensar que “o esforço intelectual mais concentrado da história” fosse dedicado à produção de armas de destruição em massa. Décadas depois, temos outro problema que está exigindo o foco de muitas e muitas mentes – desta vez, no mundo todo, e com um propósito bem diferente: salvar vidas. Já existem sólidas evidências de que em breve será possível iniciar a vacinação contra a covid-19: algumas vacinas estão em fase final de testes e têm se mostrado seguras e eficazes. Milhares de pesquisadores trabalham para isso e contam com a inestimável colaboração dos voluntários para os testes. Considerando que o desenvolvimento de vacinas normalmente demora anos, vemos que esse esforço concentrado tem sido bem-sucedido. A esperança, nesse caso, é que as novas gerações se conscientizem de que a ciência e a tecnologia podem servir à destruição ou à vida; e é preciso que a sociedade esteja bem informada para poder escolher os rumos que quer dar a elas.

A pandemia também tem mostrado a importância dos sistemas públicos de saúde. A esperança quanto a esse ponto é que em todo o mundo se reconheça a necessidade de que o acesso à saúde seja direito de todos os cidadãos, a ser garantido pelos Estados nacionais.

Outros fatos recentes se mostraram auspiciosos. O retorno da democracia à Bolívia, bem como a rejeição, em plebiscito, da Constituição herdada da ditadura pelo povo chileno, renovam a esperança de tempos melhores para a América Latina. A derrota de Donald Trump nas eleições nos EUA também traz a esperança de que a mentira como instrumento de governo, o negacionismo científico e o fundamentalismo religioso como meios de manipulação das pessoas possam, também, ser derrotados em breve em outros países cujos líderes seguem a mesma cartilha.

Em termos mais imediatos, temos esperança que este número de *Química Nova na Escola* seja útil e agrade a

nossos leitores. Como é habitual, esta edição traz uma grande variedade de temas e abordagens. Dois artigos tratam de questões relativas ao ambiente, uma temática fundamental na atualidade, por meio de enfoques distintos. Um deles se constitui em trabalho de revisão e se intitula “A temática ‘agrotóxico’ no ensino de química em sala de aula: análise de textos publicados na literatura”. O outro artigo propõe uma abordagem experimental: “Gases ácidos na atmosfera: fontes, transporte, deposição e suas consequências para o ambiente”. A experimentação também está presente em outros dois artigos. Um deles é “Determinação do teor de cloreto de sódio em arroz cozido: uma proposta para o ensino de química e o combate à hipertensão arterial”, e mostra como as aulas de química também podem contribuir para a conscientização acerca de uma alimentação mais saudável. Experimentos didáticos sobre corrosão de metais foram examinados no artigo “Corrosão no ensino de Química: uma análise dos artigos publicados em *Química Nova na Escola*”. Um enfoque mais disciplinar também está presente nesta edição. A físico-química é uma área que costuma oferecer dificuldade para o ensino e a aprendizagem tanto no ensino médio quanto no superior. Dois artigos investigam possibilidades para lidar com esse problema. Um deles apresenta um programa de computador que permite a construção de gráficos em 2D e 3D, o que pode auxiliar a compreensão das relações entre variáveis de estado de gases (“Uso do Gnuplot como ferramenta facilitadora do ensino: aplicações em físico-química”). O segundo artigo discute questões conceituais relacionadas às transições de fase (“Problema no ensino do equilíbrio de fases condensadas com fase de vapor”). Demonstrando a diversidade dos artigos, uma temática pouco abordada nas páginas de *QNEsc* está presente nesta edição: a educação infantil é focalizada em dois artigos. Um deles apresenta um projeto que proporcionou vivências com atividades científicas para crianças: “O ensino de Ciências na Educação Infantil: relatos de sala de aula”. O outro artigo, “Mulheres na Ciência para Crianças”, relata uma atividade com estudantes do Ensino Fundamental, voltada para a discussão do papel das mulheres na ciência e na qual foram apresentadas contribuições de Marie Curie. Outro personagem histórico presente nas páginas deste número é Faraday, em artigo que aborda algumas de suas investigações em eletroquímica (“Michael Faraday rumo às Leis da Eletrólise: alguns experimentos”). Mas, além de ideias do passado, esta edição traz também um artigo que discute ideias recentes na pesquisa e no pensamento químico: “Da ordem ao caos: uma reorientação das ciências e da química”.

Desejamos uma ótima leitura, e que nossos leitores e leitoras continuem se cuidando!

Paulo A. Porto
Salete L. Queiroz
Editores de *QNEsc*



Uso do Gnuplot como ferramenta facilitadora do ensino: Aplicações em Físico-Química

Gabriela Acco, Fabiana da Silva Kauark e Arlan da Silva Gonçalves

O presente estudo se fundamenta no uso do programa Gnuplot como ferramenta facilitadora de problemas de Físico-Química, promovendo assim a assimilação do conteúdo por meio de interpretações gráficas 2D e 3D. Foram mostradas aos estudantes algumas características do programa, e confeccionados *scripts* para plotagem de gráficos 2D e 3D, estimulando o raciocínio abstrato. Como recursos metodológicos, foram utilizados o manual do Gnuplot, problemas de Físico-Química, um questionário para mensurar o grau de aprendizagem do público composto por estudantes dos cursos técnico, licenciatura e bacharelado em Química de uma das unidades do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da região sudeste do Brasil. Os resultados obtidos da análise dos questionários sugerem que o uso do Gnuplot facilita a compreensão da Físico-Química.

► Físico-Química, gráficos, Gnuplot ◀

Recebido em 04/07/2019, aceito em 11/06/2020

312

A tecnologia está ganhando cada vez mais espaço dentro da sala de aula, assim como a implantação de diversas formas de ensino na área de química por meio de multimídia como, por exemplo, jogos digitais, programas que desenham moléculas, jogos (Kishimoto, 1994), aplicativos de perguntas e respostas, e programas computacionais como o Gnuplot, usado para desenhar gráficos.

O Gnuplot é um programa gráfico que funciona via linhas de comando, distribuído gratuitamente e originalmente criado para permitir que professores, cientistas e estudantes visualizassem funções matemáticas e dados de forma interativa.

Nesse sentido, o professor pode substituir uma parte das experiências de laboratório – que continuam formativas por outras razões – por operações virtuais que tomam menos

tempo e, portanto, *densificam* as aprendizagens, porque torna-se possível a multiplicação das tentativas e dos erros, permitindo a imediata compreensão dos resultados e a modificação de estratégias de acordo com a necessidade apresentada durante o processo de aprendizagem, potencializando assim, diversas capacidades cognitivas do estudante.

O Gnuplot é um programa gráfico que funciona via linhas de comando, distribuído gratuitamente e originalmente criado para permitir que professores, cientistas e estudantes visualizassem funções matemáticas e dados de forma interativa.

Uma prévia do Programa Gnuplot

A proposta deste estudo foi utilizar o Gnuplot, programa de domínio público, com versões para os sistemas operacionais Linux, Windows, Unix, entre outros (Galo, 2017), destinado à confecção e visualização de gráficos e superfícies, como ferramenta para o estudo, além da melhor compreensão da Físico-Química e suas equações através de *scripts* que são linhas de comando capazes de *plotar* gráficos 2D e 3D, interativos e melhor interpretados pelo público-alvo, tendo em vista que o conteúdo dessa disciplina não é simples, podendo gerar dificuldades aos estudantes, principalmente ao se tratar do formalismo matemático expresso pelo cálculo diferencial e integral.

A seção "Educação em Química e Multimídia" tem o objetivo de aproximar o leitor das aplicações das tecnologias comunicacionais no contexto do ensino-aprendizagem de Química.

A Físico-Química é o estudo dos princípios físicos subjacentes que governam as propriedades e o comportamento dos sistemas químicos. Um sistema químico pode ser estudado a partir de um ponto de vista microscópico ou macroscópico. O ponto de vista microscópico é baseado no conceito de moléculas. O ponto de vista macroscópico estuda propriedades de grande escala da matéria sem o uso explícito do conceito de molécula (Levine, 2009).

Equação de um Gás Ideal

As leis da Termodinâmica são gerais e não se referem à natureza específica das substâncias, portanto, para estudar o gás ideal é necessário recapitular as seguintes leis: Lei de Boyle, Lei de Gay-Lussac e Lei de Charles.

Boyle estudou a relação entre a pressão e o volume dos gases, concluindo que para uma quantidade fixa de gás a uma temperatura fixa, a pressão e o volume são inversamente proporcionais. A lei de Boyle pode ser compreendida para um gás que consiste em um grande número de moléculas que se movem essencialmente independentemente umas das outras. A pressão exercida pelo gás é devida aos impactos das moléculas nas paredes do recipiente. Uma diminuição no volume faz com que as moléculas atinjam as paredes com mais frequência, aumentando assim a pressão (Levine, 2009).

Gay-Lussac determinou medidas do volume mantendo uma massa fixa e sob pressão fixa, mostrando que o volume tinha variação linear com a temperatura (Castellan, 1986).

A Lei de Charles diz que, para uma massa fixa de gás sob pressão constante, o aumento relativo do volume por grau de aumento de temperatura era o mesmo para *todos os gases* nos quais ele fez as medidas (Levine, 2009). Desse modo, a explicação molecular para esta lei reside no fato de que um aumento de temperatura significa que as moléculas estão se movendo mais rápido e chocando-se com as paredes do recipiente com mais força e maior frequência se o volume for mantido constante. Portanto, o volume deve aumentar, com o aumento da temperatura, para manter a pressão constante.

A Lei dos gases ideais ou perfeitos teve grande importância para o estudo dos gases, porém, ao se observar a lei de Boyle, quando se tende a pressão para o infinito, o volume vai a zero; conseqüentemente, o gás “desapareceria”, violando a lei da conservação da massa de Lavoisier.

O princípio de Avogadro diz que volumes iguais de gases diferentes, nas mesmas condições de temperatura e pressão, possuem o mesmo número de moléculas, ou seja, possuem a mesma quantidade de substância. (Castellan, 1986).

Juntando-se essas leis, chega-se à equação dos gases ideais,

$$pV = nRT \quad (1)$$

onde:

R = constante dos gases = $8,314462618 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$
 $\cong 0.0820575 \text{ atm L mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$

p = pressão

V = volume

n = quantidade de substância (em mol)

T = temperatura absoluta (em Kelvin)

Equação de van der Waals

Uma equação foi desenvolvida pelo cientista holandês Johannes van der Waals para descrever o comportamento de gases reais contemplando a não concordância entre a teoria dos gases ideais e suas equações e a realidade de projetos e processos.

Na termodinâmica, quando se tem três variáveis especificadas em uma equação de estado em um sistema homogêneo, pode-se calcular a quarta variável. Se as variáveis n , p e T são determinadas, então o valor de V é determinado, pois V é uma função de n , p e T .

O gás ideal é um modelo idealizado no qual o gás se move ao acaso, sendo que suas moléculas se chocam elasticamente, não apresentam volume próprio e não exercem interações intermoleculares. No entanto, as moléculas na realidade se atraem e, quando colidem, acabam se repelindo, ocasionando assim as forças intermoleculares. Nenhum gás obedece

estritamente a equação do gás ideal em toda temperatura e pressão. Então, a aproximação feita por van der Waals insere constantes para corrigir, respectivamente, o volume e a pressão, resultando em sua famosa equação (Levine, 2009). Van der Waals foi laureado com o Prêmio Nobel de Física no ano de 1910.

$$p = \frac{RT}{\bar{V} - b} - \frac{a}{\bar{V}^2} \quad (2.1)$$

onde:

a = termo atrativo/repulsivo do gás, para correção da pressão ($\text{m}^6 \text{ Pa mol}^{-2}$).

b = termo de correção do volume, conhecido como co-volume ($\text{m}^3 \text{ mol}^{-1}$)

$\bar{V}$ = Volume molar ($\text{m}^3 \text{ mol}^{-1}$)

Ao analisar, algebricamente, a equação de van der Waals, nota-se que, ao multiplicá-la por $(\bar{V} - b)V^2$, rearranjando e igualando a zero, chega-se a uma equação cúbica completa, cuja resolução é complexa. Os pontos críticos de um gás podem ser definidos através da derivada primeira e da derivada segunda igualando-as a zero, tornando possível a obtenção algébrica das constantes a e b da equação de van der Waals, assim como a constante, Z_c que é o fator de

As leis da Termodinâmica são gerais e não se referem à natureza específica das substâncias, portanto, para estudar o gás ideal é necessário recapitular as seguintes leis: Lei de Boyle, Lei de Gay-Lussac e Lei de Charles.

compressibilidade (razão entre o volume real e ideal de um gás) crítico (Ball, 2005).

Dividindo a derivada segunda pela derivada primeira e fazendo as devidas substituições, obtêm-se os parâmetros a e b de van der Waals.

Fator de compressibilidade

Por definição, o fator de compressibilidade (Z) é dado pela razão entre o volume de um gás real e o volume de um gás ideal. Esse fator se constitui em medida do desvio da idealidade do comportamento de um gás real.

Para os gases ideais, $Z=1$ para toda temperatura e pressão, sendo diferente para os gases reais. A dedução de Z para um gás de van der Waals pode ser feita da seguinte forma:

Substituindo a variável p na equação de definição do fator de compressibilidade, dada por $Z = \frac{p\bar{V}}{RT}$ pela pressão dada pela equação de van der Waals, ou seja, $p=f(T,V)$, chega-se ao fator de compressibilidade como uma função do tipo $Z=f(V,T)$, expresso na equação (3.1).

$$Z = \frac{\bar{V}}{\bar{V} - b} - \frac{a}{\bar{V}RT} \quad (3.1)$$

Equação de Clausius-Clapeyron

Os gráficos da variação da pressão de vapor com a temperatura têm formato distinto: cada curva ascende nitidamente para uma pressão de vapor mais alta com o aumento da temperatura. A relação entre pressão de vapor e temperatura é dada por uma equação chamada equação de Clausius-Clapeyron. Para se chegar a equação logarítmica de Clausius-Clapeyron, é necessário considerar a condição termodinâmica de equilíbrio entre duas fases, como, por exemplo, o equilíbrio líquido vapor. Nessa condição, as variações da energia de Gibbs em cada uma das fases alfa e beta são iguais entre si. Desse modo, pode-se escrever:

$$\partial \bar{G}_\alpha = \partial \bar{G}_\beta \quad (4.1)$$

Considerando $p_1 = p_{\text{atm}} = 1$ atm, após a integração, obtém-se a forma de uma reta (quando $\ln(p_2/p_{\text{atm}})$ é colocado em função de $(1/T)$, como se vê na equação (4.2).

$$\ln \frac{p_2}{p_{\text{atm}}} = -\frac{\Delta_{\text{vap}}H}{R} \cdot \frac{1}{T} + C \quad (4.2)$$

onde:

T = temperatura absoluta (em Kelvin)

R = constante dos gases ($8,314462618 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$)

$\Delta_{\text{vap}}H$ = entalpia de vaporização

p = pressão atmosférica em um intervalo fechado

C = coeficiente linear, definido como $C = \frac{\Delta_{\text{vap}}H}{RT_{\text{eb}}}$

A equação de Clausius-Clapeyron determina que um gráfico de $\ln p \times 1/T$ deverá resultar em uma reta com inclinação igual a $-\Delta_{\text{vap}}H/R$. Portanto, pode-se usá-lo para determinar, facilmente, a entalpia de vaporização de uma substância, além da temperatura de ebulição (Brown *et al.*, 2005).

Metodologia

O percurso metodológico percorrido na execução deste estudo incluiu o uso do sistema operacional Linux Ubuntu e do programa Gnuplot – que é gratuito, de código aberto, baseado na licença GPL (do inglês: *General Public Licence*) e construído na linguagem de programação Fortran. Assim sendo, o intuito deste estudo foi a criação e utilização dos *scripts* comentados para a construção dos gráficos 2D e 3D, além de melhor compreensão e visualização.

A validação deste estudo foi feita em turmas de um curso técnico e de cursos superiores de um dos Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia da região sudeste, com 657 alunos matriculados, na data de 15 de junho de 2018. O total de alunos que participaram das aulas foi de 96 alunos, somando o curso técnico e os cursos superiores, totalizando 14,61% do total de alunos matriculados nessa unidade.

Foram expostos para os discentes: uma aula teórica prévia sobre alguns conceitos de Físico-Química, o programa Gnuplot, os *scripts* que geram gráficos, e um questionário que foi preenchido no final da aula.

Resultados e Discussões

1. Linhas de comando comentadas e plotagem dos gráficos

1.1. O script gerador do gráfico 3D para o gás ideal 3D, com a legenda em função da temperatura.

Tendo uma melhor compreensão espacial foi gerado o gráfico mostrado na Figura 1, em que se tem uma visão tridimensional das isotermas do gás ideal com a faixa de tonalidades da legenda variando conforme a temperatura, utilizando as faixas de pressão, temperatura e volumes, nas respectivas faixas de valores 0-400 atm, 280-400 K, 0-0,5 L mol⁻¹, a partir do *script*:

```
set title "Gas Ideal" font",20" #Título do gráfico
set xlabel 'V (L/mol)' #Título do eixo x (volume molar)
set ylabel 'p (atm)' #Título do eixo y (pressão)
set zlabel 'T (K)' #Título do eixo z (Temperatura)
set table 'GI.txt' #Abrir tabela de dados
R=0.082 #Constante dos gases (atm)
```

Os gráficos da variação da pressão de vapor com a temperatura têm formato distinto: cada curva ascende nitidamente para uma pressão de vapor mais alta com o aumento da temperatura.

```

set xrange [0:0.5]      #Faixa de valores do eixo
                           x (volume molar)
set yrange [280:400]    #Faixa de valores do eixo
                           y (temperatura)
set zrange [0:400]      #Faixa de valores do eixo
                           z (pressão)
set pm3d                #Gráfico de superfície
set format z "%4.2f"     #Formato contendo 4
                           inteiros e 2 decimais
f(x,y)=(R*y)/x          #Equação do Gás Ideal
set palette defined (0 "blue",
200 "white", 400 "red") #Definir intervalo de
                           cores
                           do gráfico de superfície
splot for [y=280:400:20] f(x,y) #Intervalo de
                           temperatura de 280
                           a 400 K, de 20 em 20
                           Kelvin
unsettable              #Fechar a tabela de
                           dados
set yrange [0:400]      #Redefinir a faixa de
                           valores do eixo y para a
                           pressão
set zrange [280:400]    #Redefinir a faixa de
                           valores do eixo z para a
                           temperatura
splot 'Gl.txt' using 1:3:2 #Plotar o gráfico usando
                           a tabela de dados
                           invertendo o eixo y com o
                           eixo z
set pm3d implicitat b   #Faixa de cores na base
                           do gráfico
set pm3d implicitatsb   #Faixa de cores na base
                           e na superfície do gráfico
splot 'Gl.txt' using 1:3:2 withlines #Gráfico de
                           superfície usando uma
                           tabela, com inversão
yz (Viana, 2011).

```

1.2. O script gerador da Isoterma de van der Waals 3D, com a legenda em função da temperatura.

Para plotagem da equação de van der Waals, a pressão foi tratada como uma função do volume molar e utilizadas as constantes a e b de van der Waals, referentes ao dióxido de carbono (CO_2). As faixas de valores da pressão, temperatura, e volume molar foram de, respectivamente, 0-400 atm, 260-400 K, 0-0,5 L/mol. Como se pode observar, os pontos críticos de um gás podem ser definidos igualando a zero a derivada primeira e a derivada segunda, o que torna possível a obtenção algébrica dos pontos críticos de pressão, temperatura e volume ($p_c = 72,85 \text{ atm}$, $T_c = 304,19 \text{ K}$, $V_c = 0,094 \text{ L/mol}$). Isso mostra que, em condições acima das condições críticas, o gás de van der Waals tem comportamento que se aproxima de um gás ideal (Atkins, 2008).

Para se ter outra visão do gráfico 3D de van der Waals, as coordenadas y e z foram invertidas para que a temperatura ficasse representada na coordenada z e a pressão na coordenada

y e, assim, o Gnuplot mostrasse a variação de cores da legenda como uma função da temperatura e não da pressão. Como resultado, foi gerado o gráfico mostrado na Figura 2.

```

set title "Isoterma de          #Título do gráfico
van der Waals" font",20"
set xlabel 'V (L/mol)'         #Título do eixo x
set ylabel 'p (atm)'          #Título do eixo y
set zlabel 'T (K)'            #Título do eixo z
set table 'vdw-points.txt'     #Abrir tabela de pontos
set xrange[0:0.5]             #Faixa de valores do
                               volume molar (eixo x)
set yrange [260:400]          #Faixa de valores da
                               temperatura (eixo y)
set zrange [0:400]            #Faixa de valores da
                               pressão (eixo z)
set pm3d                      #Gráfico de superfície
set format z "%4.2f"          #Formato contendo 4
                               inteiros e 2 decimais
R=0.082                       #Constante dos gases (atm)
a=3.640                       #Constante a de van der
                               Waals para o CO2
b=0.04267                     #Constante b de van der
                               Waals para o CO2
f(x,y)=((R*y)/(x-b))-(a/(x**2)) #Isoterma de van der Waals
set palette defined (0 "blue", #Definir faixas de cores
200 "white", 400 "red")       no gráfico de superfície
splot for [y=260:400:20] f(x,y) #Plotar o gráfico
unsettable                    #Fechar tabela de pontos
set yrange [0:400]            #Nova faixa de valores
                               do eixo y (pressão)
set zrange [260:400]          #Nova faixa de valores
                               do eixo z (temperatura)
splot 'vdw-points.txt' using 1:3:2 #Plotando o gráfico de
                               superfície com inversão
                               yz
set pm3d implicitatsb         #Plotar gráfico na
                               superfície e na base do
                               gráfico
splot 'vdw-points.txt' using 1:3:2 withlines #Plotando o gráfico de
                               superfície com inversão
                               em yz
unset terminal                 #Finalizar o script

```

1.3. O script gerador do Fator de Compressibilidade em função da pressão.

O fator de compressibilidade é a razão entre o volume de um gás real e o volume de um gás ideal, havendo três possibilidades. Se a razão é menor que 1, isso quer dizer que o gás real é mais compressível que o gás ideal, pois as forças intermoleculares atrativas são dominantes. Se a razão é igual a 1, o gás real tem comportamento de um gás ideal. Se a razão é maior que 1, o gás real é menos compressível que o gás ideal, pois as forças intermoleculares repulsivas são dominantes.

Para plotagem do Fator de Compressibilidade para o gás de van der Waals, foram utilizadas as constantes a e b do CO_2 , e a faixa de pressão foi de 0 a 600 atm. Assim:

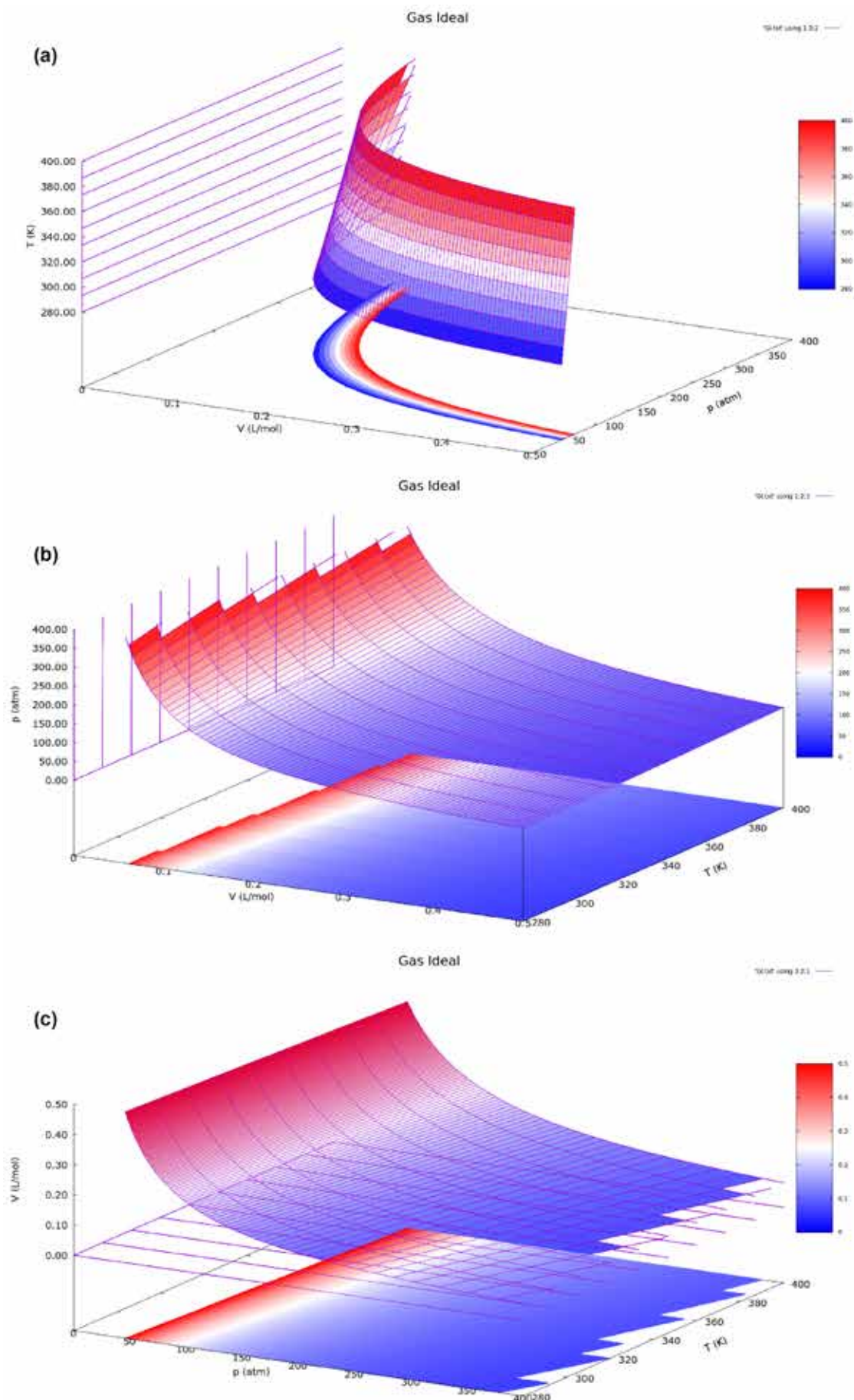


Figura 1: Gráfico do Gás Ideal 3D para $n = 1$ mol, legenda em função (a) Temperatura, (b) Pressão e (c) Volume. Fonte: os autores.

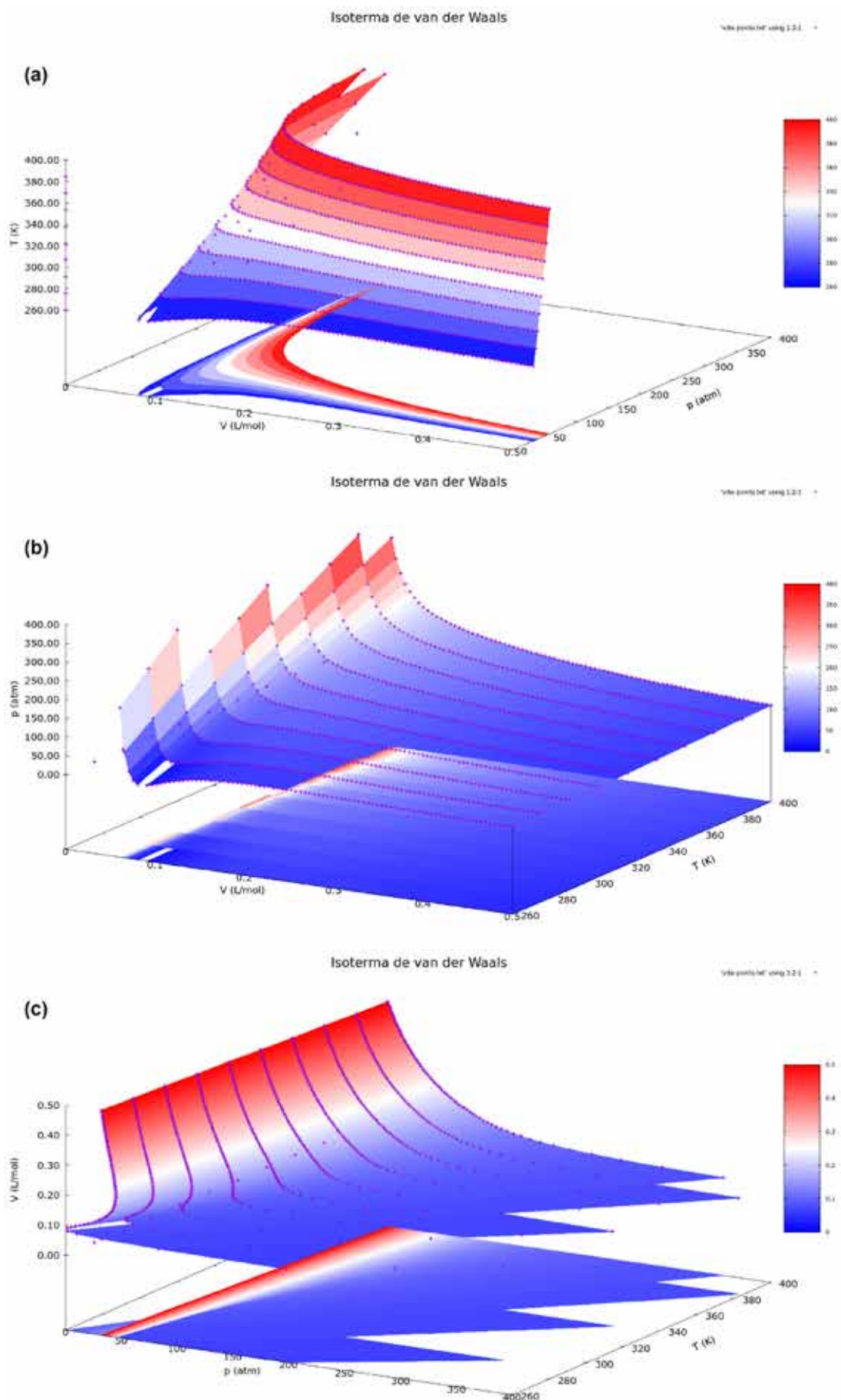


Figura 2: Gráfico da Isoterma de van der Waals 3D, legenda em função (a) Temperatura, (b) Pressão e (c) Volume. Fonte: os autores.

```

reset
set parametric
a=3.640

b=0.04267

T=310
R=0.082
set title "Fator de
Compressibilidade x Pressao"
set samples 1000

T=310
f(t)=((R*T)/(t-b))-(a/(t**2))
g(t)=(f(t)*t)/(R*T)
set xlabel 'P/atm'
set ylabel 'Z'
set xrange[0:600]

set yrange[0.2:1.6]
plot [0.05:0.45] f(t),g(t)

#Função paramétrica
#Constante a de van der
Waals para o dióxido de
carbono
#Constante b de van der
Waals para o dióxido de
carbono
#Temperatura em Kelvin
#Constante dos gases (atm)
#Título do gráfico
#Tamanho amostral
(quanto maior o número
de pontos, melhor sua
resolução)
#Equação f(t)
#Equação g(t)
#Título do eixo x
#Título do eixo y
#Faixa de valores da
pressão
#Faixa de valores do Z
#Plotar gráfico da função
f(t) e g(t)

```

1.4. O script para a plotagem do gráfico referente à Equação de Clausius-Clapeyron.

Na Tabela 1 estão os valores de pressão de vapor do tetracloreto de carbono e suas respectivas temperaturas de

Tabela 1: Dados do tetracloreto de carbono, CCl_4 (Miranda-Pinto & Souza, 2006)

$p_1 /$ mmHg	$p_2 /$ mmHg	$p_{\text{médio}} /$ mmHg	T / K	$\ln(p/p_0)$	$1/T / \text{K}^{-1}$
696,0	693,0	694,5	347,15	-0,09013	0,002881
636,0	639,0	637,5	338,65	-0,17576	0,002953
608,5	605,0	606,7	336,15	-0,22520	0,002975
574,0	578,0	576,0	333,65	-0,27721	0,002997
556,0	554,0	555,0	329,75	-0,31435	0,003033
525,0	520,0	522,5	325,15	-0,37469	0,003076

ebulição. A partir da inclinação da reta mostrada na Figura 4, pode-se estimar a entalpia molar de vaporização.

```

//Após abrir o terminal Linux e antes de abrir o Gnuplot
escreva:
nedit Clausius-Clapeyron.txt &
//Irá abrir um arquivo novo de texto em que irá criar uma
tabela com o eixo x (1/T (K) e o eixo y (ln p/p (760mmHg))
e salvar; pode fechar a página e voltar para o terminal e
digitar o seguinte comando para abrir o Gnuplot:
set title "Equacao de Clausius-Clapeyron"
set xlabel '1/T (K-1)'
set ylabel 'ln (p/p_0)'
f(x)=a+(b*x)
fit f(x) 'Clausius-Clapeyron.txt' via a,b # C o m a n d o
utilizado para ajustar os pontos na função.
plot f(x), 'Clausius-Clapeyron.txt' linestyle 1 with circles

```

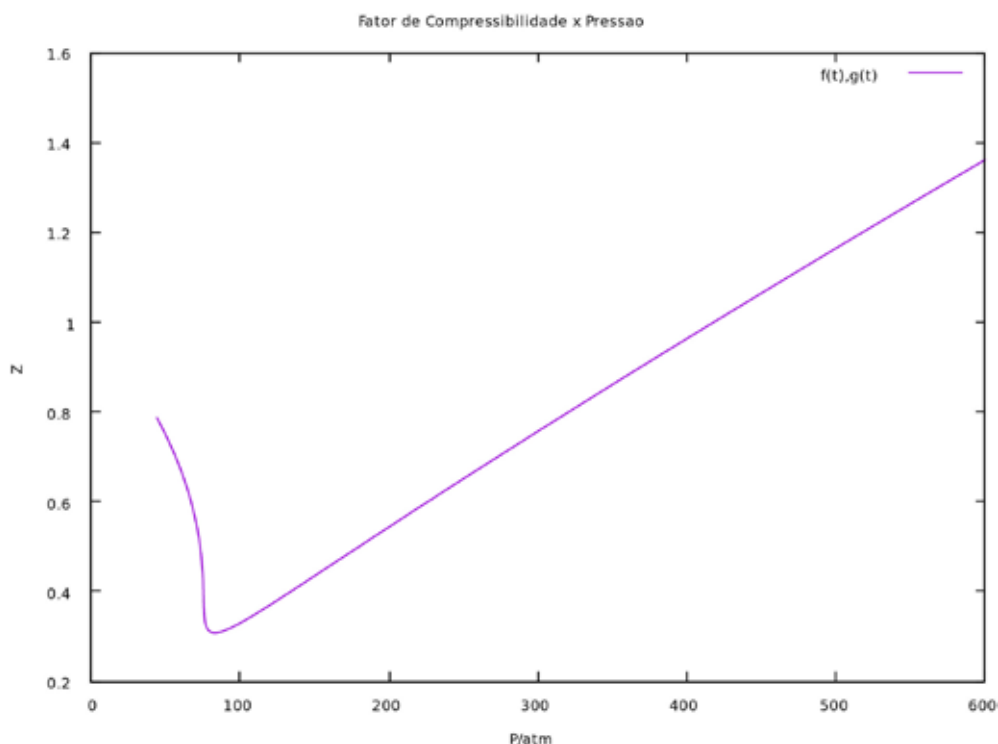


Figura 3: Gráfico do Fator de Compressibilidade. Fonte: os autores.

Após a execução do comando [fit f(x) 'Clausius-Clapeyron.txt' via a,b], obtém-se como resultado um bom ajuste, como mostrado a seguir:

```
Final set of parameters Asymptotic Standard Error
=====
a          = 4.24252      +/- 0.2554      (6.019%)
b          = -1502.23     +/- 85.51       (5.692%)
correlation matrix of the fit parameters:
      a      b
a      1.000
b     -1.000  1.000
```

Assim, de acordo com a equação 4.2 e usando os resultados do ajuste da reta de Clausius-Clapeyron, tem-se:

$$\Delta_{\text{vap}} H = -b.R = -(-1502,23 \text{ K}) * 8,314462616 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} = 12490,23518 \text{ J mol}^{-1} \approx 12,49 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$e \quad -\frac{\Delta_{\text{vap}} H}{R.T_{\text{eb}}} = \frac{b}{T_{\text{eb}}} = a = \text{intercepto da reta}$$

logo

$$T_{\text{eb}} = -b/a = -(-1502,23 \text{ K}) / 4,24252 = 354,09 \text{ K ou } 80,94 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Observa-se, a partir da análise dos resultados que, enquanto o valor da temperatura de ebulição acima calculada está bem próximo do valor de referência do NIST¹, de $(349,8 \pm 0,3) \text{ K}$, o valor da entalpia de $12,50 \text{ kJ/mol}$ está muito abaixo do valor $(32 \pm 2 \text{ kJ/mol})$ de referência. Isso porque os dados originais em Miranda-Pinto e Souza (2006) podem ter sido obtidos em um sistema de medição com vazamento, provavelmente na torneira de três vias. Dessa forma, como as medições são feitas em pressões cada vez mais abaixo da pressão ambiente, o vazamento permite a entrada de ar, aumentando a pressão interna mais

efetivamente quanto mais se tenta reduzir a pressão através da bomba de vácuo. Isso faz com que as pressões medidas sejam mais elevadas, reduzindo a inclinação da reta do gráfico de Clausius-Clapeyron em relação à inclinação que ele deveria ter.

Figura 4

2. Análise estatística dos scripts e conteúdos ministrados

Questão 1 (Q1): Indicaria o sistema operacional LINUX para um colega? Por que?

76% dos estudantes afirmaram que indicariam o sistema operacional por ser uma plataforma livre, à qual qualquer pessoa pode ter acesso.

Questão 2 (Q2): As instruções fornecidas foram de fácil manuseio?

84% dos estudantes afirmaram que as instruções fornecidas foram claras e precisas, porque não apresentaram dificuldade quando estava sendo explicado os dados dos comandos.

Questão 3 (Q3): Aprendeu o conteúdo ministrado na aula?

Foi obtido um aproveitamento de 81%, lembrando que esta abordagem foi apresentada após a aula teórica. Nessa exposição, os discentes conseguiram plotar e visualizar os gráficos 2D e 3D, de forma bem tranquila e facilitada.

Questão 4 (Q4): A didática da aula é autoexplicativa?

62% dos estudantes afirmaram que sim, pois a aula foi ministrada de forma expositiva, dialogada e interativa no laboratório de informática, no qual cada estudante com o seu computador teve acesso ao programa Gnuplot. Com a mediação do professor, o comando era passado e os estudantes iam executando. Por exemplo:

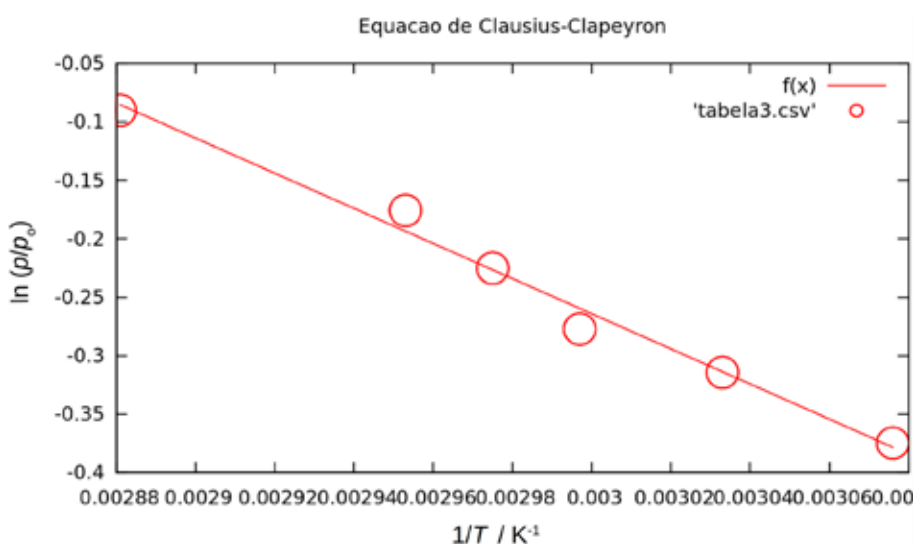


Figura 4: Gráfico de Clausius-Clapeyron para a determinação da entalpia de vaporização e da temperatura normal de ebulição do CCl_4 . Fonte: os autores.

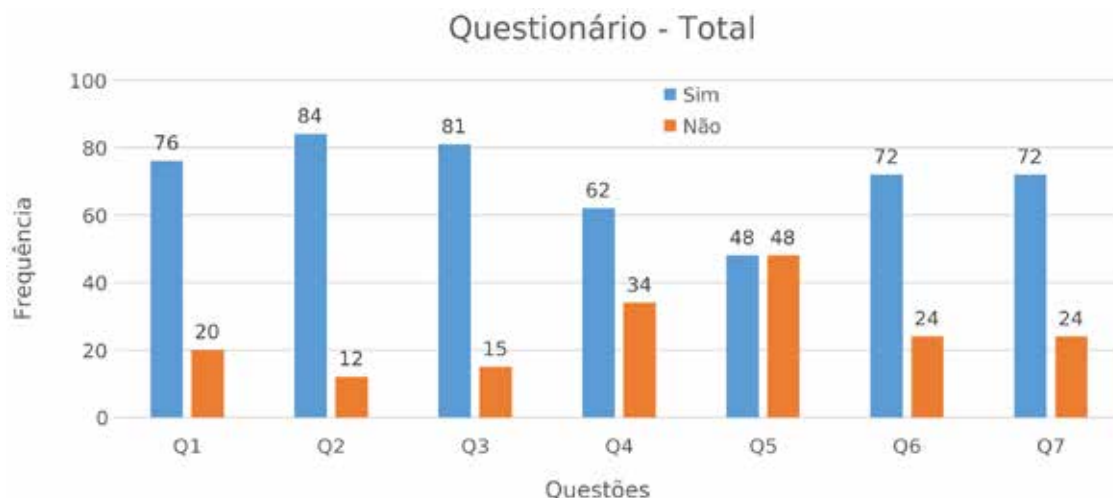


Figura 5: Frequências das respostas referentes às 7 perguntas do questionário. Fonte: os autores.

O comando *set title "Isoterma de van der Waals" font",20"* era passado e os estudantes copiavam esse mesmo comando, aprendendo a funcionalidade dele.

Questão 5 (Q5): Quais as dificuldades apresentadas pelo Gnuplot?

Os estudantes apresentaram certa dificuldade por não ter prática de informática, outros porque o programa era novo, uns porque não tinham afinidade com o inglês. Desse modo, conclui-se que é necessário um pouco de prática. Seguem algumas respostas positivas fornecidas pelos estudantes: "É somente aplicar a fórmula", "Os comandos são fáceis junto com as instruções fornecidas", "O programa é intuitivo e fácil". Algumas respostas negativas dos discentes foram: "Por causa da linguagem computacional", "Porque requer conhecimento computacional e de inglês", "Requer conhecimento de inglês".

Questão 6 (Q6): Teve melhor aprendizagem sobre o tema?

A visualização dos gráficos fez com que a maioria compreendesse melhor o assunto. No caso dos gráficos 3D os discentes puderam manusear o gráfico e observá-lo em diferentes ângulos.

Questão 7 (Q7): O programa Gnuplot ajudou a compreender melhor as diferenças e semelhanças comportamentais do Gás Ideal e do Gás de van der Waals? Por que?

A frequência de "sim" foi de 72%, porque o gráfico consegue mostrar uma faixa grande de isotermas e ficam visíveis as diferenças comportamentais do gás de van der Waals para o gás ideal, na região da superfície pVT onde há os mínimos e máximos locais nas isotermas e suas semelhanças para baixas pressões.

Considerações Finais

O Gnuplot foi a ferramenta computacional escolhida para facilitar o estudo de Físico-Química através da plotagem de gráficos. Uma vez que o conteúdo dessa disciplina não é

simples, principalmente ao se tratar do formalismo matemático expresso pelo cálculo diferencial e integral. Sendo assim, com o Gnuplot é possível construir *scripts* adequados, em que funções, variáveis e constantes são previamente definidas, gerando como resultados gráficos interativos que podem ser rotacionados pelo usuário, sem a necessidade da construção de tabelas extensas, como é feito em programas usuais da área. Assim, este estudo teve como proposta mostrar as contribuições do programa Gnuplot para o ensino e aprendizagem de alguns conteúdos de Físico-Química.

O programa Gnuplot segue os comando do Fortran, no qual existem basicamente duas formas de se escrever um programa: com formulário fixo ('fixedform') ou com formulário livre ('freeform').

O objetivo deste estudo foi a criação e utilização dos *scripts* prontos, em que estão todas as linhas de comando dos *scripts* comentadas para um melhor entendimento. A validação foi feita em turmas de um curso técnico e cursos superiores. O conteúdo foi explicado brevemente porque os alunos já o haviam visto em aulas teóricas com seus professores, em seguida foram apresentadas a plataforma Linux, o programa Gnuplot, e então feitos os *scripts* para que fossem confeccionados os gráficos 2D e 3D para melhor visualização, sendo entregue um questionário.

A partir das respostas aos questionários aplicados em turmas onde havia tanto discentes do curso Técnico em Química quanto de cursos superiores em Bacharelado em Química Industrial e Licenciatura em Química, o resultado, de forma geral, foi satisfatório, mostrando que, com o uso do Gnuplot, o aprendizado em problemas referentes à Físico-Química é facilitado porque a visualização dos gráficos fez com que a maioria entendesse um pouco mais do assunto. No caso dos gráficos 3D, os alunos puderam manusear os gráficos e olhá-los em diferentes posições, pois o programa possui ferramentas para esse manuseio.

Nota

¹Disponível em <https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cg>

i?ID=C56235&Units=SI&Mask=4#Thermo-Phase e em [https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_tetrachloride_\(data_page\)#Thermodynamic_properties](https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_tetrachloride_(data_page)#Thermodynamic_properties).

Agradecimentos

Os autores agradecem ao IFES, CNPq e FAPES (Edital 006/2014) pelo suporte financeiro, além dos computadores necessários à execução deste trabalho.

Referências

ATKINS, P.; PAULA, J. *Physical Chemistry*. Oxford: Oxford University Press, 2008.

BALL, D. W. *Físico-química*. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2005.

BROWN, T. L.; LeMAY, H.E.; BURSTEN, B. E. *Química: a ciência central*. 9a. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

CASTELLAN, G. *Fundamentos de Físico-Química*. Rio de Janeiro: LTC, 1986.

GALO, M. *Tutorial: introdução ao uso do aplicativo Gnuplot*. Presidente Prudente: [s.i.], 2017.

Gabriela Acco (gabrielaacco@yahoo.com.br), licenciada em Química pelo Instituto Federal do Espírito Santo (IFES). Vila Velha, ES – BR. **Fabiana da Silva Kauark** (fabianak@ifes.edu.br), pedagoga; doutora e mestre em Educação pela Universidade Autônoma de Assunción/Universidade Federal de Uberlândia, mestre em Ensino de Ciências pelo Instituto Federal do Espírito Santo. Estágio pós doutoral na Universidade de Aveiro Portugal. Vila Velha, ES – BR. **Arlan da Silva Gonçalves** (agoncalves@ifes.edu.br), mestre em Ciências pelo Instituto Militar de Engenharia (IME). Doutor em Ciências pelo Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho – UFRJ. Atualmente é professor de Ensino Básico, Técnico e Tecnológico do IFES. Vila Velha, ES – BR.

KISHIMOTO, T. M. *O jogo e a educação infantil*. São Paulo: Pioneira, 1994.

LEVINE, I. N. *Physical Chemistry*, 6th ed. New York: McGraw-Hill, 2009.

MIRANDA-PINTO, C. O. B.; SOUZA, E. Tratamento de dados experimentais. In: *Manual de trabalhos práticos de físico-química*. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006. Cap. 1, p. 15-21.

VIANA, P. A. *Introdução ao aplicativo Gnuplot*, Faculdade de Matemática, Instituto de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Federal do Pará, Pará, 2011. Disponível em: http://www.sobralmatematica.org/monografias/paty.alvi_livroGnuplot.pdf, acesso em jun. 2018.

Abstract: *Use of Gnuplot as a teaching facilitator: Physico-Chemical applications.* This study is based on the use of the Gnuplot program as a facilitator tool for Physico-chemical problems to promote content assimilation by means of 2D and 3D graphical interpretations. Students were presented to some features of the program and scripts were made for plotting 2D and 3D graphics to stimulate students' abstract thinking. As methodological resources, we used the Gnuplot manual, Physical Chemistry problems, a questionnaire to measure the learning level of the public composed by students of the technical and undergraduate Chemistry courses of one of the units of the Federal Institute of Education, Science and Technology of southeastern Brazil. Results from analysis of the questionnaires suggest that the use of Gnuplot facilitated the comprehension of physico-chemical contents.

Keywords: Physical Chemistry, plots, Gnuplot.

Corrosão no ensino de Química: uma análise dos artigos publicados em *Química Nova na Escola*

Amanda de Jesus Alves Miranda, Adilson Luís Pereira Silva e Jackson Ronie Sá-Silva

Objetivou-se, neste artigo, avaliar como o tema corrosão tem sido abordado nas propostas experimentais publicadas em QNEsc para o ensino de Química. A corrosão é um conteúdo complexo que pode gerar dificuldades de compreensão tanto para os alunos quanto para os professores de Química. No processo de busca por artigos, identificou-se 13 textos que versavam sobre a temática. Para a análise das abordagens conceituais, operacionais e reacionais, utilizou-se a análise temático-categorial. Três conclusões são apresentadas na análise realizada. Primeiramente, que há uma variedade conceitual sobre o tema corrosão, embora alguns conceitos necessitem de revisão. A segunda diz respeito ao detalhamento das semirreações e como isso pode contribuir para o entendimento dos processos corrosivos. Em terceiro lugar, há uma diversidade de meios corrosivos, o que possibilita aos leitores de QNEsc um leque de oportunidades para aplicação em atividades experimentais nas aulas de Química.

► corrosão, experimentação, levantamento bibliográfico ◀

Recebido em 01/04/2020, aceito em 04/09/2020

O desenvolvimento da abordagem moderna para a corrosão eletroquímica foi estabelecido com a publicação do artigo de Whitney (1903), intitulado “The corrosion of iron” e, posteriormente, consolidado com as publicações de Evans (1926, 1929) sobre o experimento da gota salina e o artigo intitulado “The mechanism of corrosion”.

No entanto, a história da corrosão eletroquímica é muito mais antiga. Lynes (1951) detalha que o conhecimento da corrosão eletroquímica data do início do século XIX, com a publicação do artigo de Wollaston, intitulado “The electrochemical theory of acid corrosion”, em 1801.

A ciência da corrosão teve um período de rápido avanço a partir da primeira metade do século XX, estimulado pela crescente compreensão do imenso custo econômico relacionado ao fenômeno corrosivo. Do ponto de vista educacional, Merçon *et al.* (2004) consideram que a corrosão é um exemplo de fenômeno químico presente no cotidiano,

possibilitando sua contextualização. Entretanto, vale destacar que a ligação entre a corrosão e o cotidiano não deve ser apenas para exemplificação de conceitos, mas envolver os aspectos sociais, tecnológicos, econômicos e ambientais.

Apesar desse potencial, o tema da corrosão ainda é pouco explorado no ensino de Química (Matos *et al.*, 2013). Segundo Goes *et al.*

(2016), professores possuem dificuldades com os conceitos relacionados à eletroquímica, o que, de certa forma, faria com que decidissem não trabalhar o tema em sala de aula. De Jong e Treagust (2002) apontam dificuldades conceituais e processuais relacionadas à aprendizagem dos conceitos de eletroquímica, por exemplo, o processo de transferência de elétrons, o balanceamento das equações redox e a identificação das semirreações anódicas e catódicas. Sanjuan *et al.* (2009, p. 191), a esse respeito, afirmam que a eletroquímica

(...) é um conteúdo considerado de difícil compreensão por parte dos alunos, tendo sido apontadas dificuldades conceituais com relação a noções como: oxidação, redução, corrente elétrica, condutibilidade

A seção “Conceitos Científicos em Destaque” tem por objetivo abordar, de maneira crítica e/ou inovadora, conceitos científicos de interesse dos professores de Química.

Wartha *et al.* (2012), visando superar essas dificuldades, propõem que, nas atividades experimentais que envolvam o tema da corrosão, haja levantamento de dados para a discussão e compreensão dos conceitos fundamentais de eletroquímica, bem como a articulação entre os três aspectos ou níveis do conhecimento químico, quais sejam: fenomenológico, representacional e teórico.

Contudo, tais atividades experimentais não devem ser utilizadas de maneira reducionista, ou seja, apenas ao final da aula com o intuito de ilustrar ou comprovar uma teoria. Devem possibilitar aos estudantes o exercício da descrição, da interpretação, da discussão e da reflexão a partir dos fenômenos estudados. Carvalho (2019) acrescenta que tanto conteúdos conceituais quanto procedimentais e atitudinais devem ser considerados e articulados na elaboração da proposta experimental. Silva e Costa (2019, p. 346), analisando as concepções de contextualização e de experimentação nos artigos publicados em *Química Nova na Escola* (QNEsc), concluíram que há “uma preferência pelo experimento investigativo e pela concepção de contextualização que visam ao desenvolvimento de atitudes e valores para a formação de um cidadão crítico”. Entende-se que tais concepções são as mais indicadas para as proposições experimentais.

Diante dessas questões, o intuito deste texto foi o de realizar uma análise dos artigos publicados em QNEsc, com foco naqueles que abordam experimentos sobre corrosão no ensino de Química, bem como investigar as diferentes abordagens conceituais, operacionais e reacionais. Isso se deu a partir das concepções da análise de conteúdo temático-categorial.

Percurso metodológico

Inicialmente, realizou-se um levantamento bibliográfico de todos os artigos presentes em QNEsc no período de 1995 a 2019. Em seguida, fez-se a identificação dos artigos que versavam sobre a temática da corrosão, analisando-se os títulos, os resumos e as palavras-chave, para, assim, proceder à análise qualitativa. Para tanto, adotou-se como critérios de inclusão dos artigos o uso das seguintes expressões ou palavras: corrosão, corroído, corrosividade, meio corrosivo, oxidação metálica (e de metais), pilha de corrosão, proteção catódica, proteção anódica, ferrugem, maresia e gota salina. Foram encontrados 16 artigos, dos quais 13 constituem o *corpus*, por se tratarem de proposições experimentais.

Para a análise qualitativa dos artigos selecionados, utilizou-se dos pressupostos da análise de conteúdo, que “constitui uma metodologia de pesquisa usada para descrever e interpretar o conteúdo de toda classe de documentos

e textos” (Moraes, 1999, p. 9). Esse tipo de metodologia de análise, de acordo com Bardin (2016), se subdivide em três fases cronológicas: pré-análise, exploração do material, tratamento dos resultados e interpretação.

A pré-análise constitui-se na fase de organização e sistematização das ideias iniciais, caracterizando-se pela “escolha dos documentos a serem submetidos à análise, formulação das hipóteses e dos objetivos e a elaboração de indicadores que fundamentem a interpretação final” (Bardin, 2016, p. 125). Na exploração do material, realiza-se uma codificação mais elaborada dos dados com o agrupamento das unidades de registro. Na última fase, tem-se a estruturação das categorias finais, visando elaborar a síntese e seleção dos resultados e as interpretações do analista acerca dos dados encontrados.

Para a análise de conteúdo do tema corrosão, utilizou-se a técnica da análise categorial ou temático-categorial, que “funciona por operações de desmembramento do texto em unidades, em categorias segundo reagrupamentos analógicos” (Bardin, 2016, p. 201). Oliveira (2008, p. 569), sistematizando a aplicação da técnica, acrescenta que esta contribui “para uma prática de pesquisa qualitativa metodologicamente orientada”. Carlomagno e Rocha (2016, p. 177) entendem que “o conceito

central de categorias apropriadas, [é] fundamental para a prática da análise de conteúdo”. Nesse sentido, listam cinco regras que orientam os analistas na criação e classificação das categorias de análise: 1) definição clara dos critérios de inclusão e exclusão (limites das categorias); 2) as

categorias devem ser mutuamente excludentes (critério de exclusividade); 3) as categorias não devem ser muito amplas (critério da homogeneidade); 4) as categorias devem contemplar todos os conteúdos possíveis (critério da exaustividade); 5) a classificação deve ser objetiva, ou seja, não passível de ser codificada de forma diferente a depender da interpretação do analista (critério da “confiabilidade”). Neste trabalho, tais orientações foram consideradas na construção das categorias de análise.

Assim, foram empregadas as seguintes categorias finais: abordagem do conceito de corrosão; indicação do(s) metal(is) utilizado(s); reações envolvidas na corrosão eletroquímica; indicação do(s) meio(s) corrosivo(s).

Resultados e discussão

Apesar de o primeiro volume de QNEsc ter sido publicado em 1995, o primeiro artigo identificado pela pesquisa data de 2003. De acordo os critérios estabelecidos no percurso metodológico, o *corpus* de análise contou com 13 propostas experimentais, conforme mostrado no Quadro 1, com as respectivas categorias de análise. Vale observar que as 13 publicações identificadas nesta revisão, focada em propostas de experimentos, representam a maior parte dos

[...] o intuito deste texto foi o de realizar uma análise dos artigos publicados em QNEsc, com foco naqueles que abordam experimentos sobre corrosão no ensino de Química, bem como investigar as diferentes abordagens conceituais, operacionais e reacionais.

artigos de QNEsc sobre corrosão. São apenas 3 as publicações do periódico que não veiculam propostas experimentais na abordagem do tema – Merçon *et al.* (2004), Sanjuan *et al.* (2009) e Klein e Braibante (2017) –, que, portanto, não foram analisadas e categorizadas.

Abordagem do conceito de corrosão

A partir da análise temático-categorial dos artigos selecionados, verificou-se que 5 dos 13 artigos apresentaram conceituação (vide Quadro 1). Embora sabendo que o objetivo dos artigos não fosse conceituar o fenômeno corrosivo, concorda-se com o entendimento de Klein e Braibante (2017, p. 41) ao afirmarem “que apenas a utilização de atividades diferenciadas para o ensino do conteúdo, principalmente com a realização de atividades experimentais [...] não são suficientes”. Assim, quando o leitor de QNEsc for desenvolver um experimento em sala de aula, já terá uma indicação que o ajudará no trabalho com os conceitos eletroquímicos relacionados à corrosão, visto que os professores de Química

possuem dificuldades conceituais nessa temática, como já apontado por Goes *et al.* (2016).

Além disso, observou-se, também, que é notável a diferença conceitual nos artigos categorizados. No artigo A₃, os autores relacionaram o fenômeno corrosivo à metalurgia, como mostrado a seguir:

De maneira geral, pode-se considerar o fenômeno da corrosão como o “caminho inverso” do processo metalúrgico. Enquanto este promove a extração do metal a partir de seus minérios e de outros compostos, a corrosão induz a oxidação do metal, formando óxidos metálicos que, muitas vezes, são semelhantes aos minérios que originaram o metal (Costa et al., 2005, p. 32).

No entanto, o conceito apresentado no artigo A₃ é limitado, pois não se aplica a metais como a platina e o ouro. Esses metais apresentam valores positivos para entalpia padrão de formação (Δ_f°) de seus óxidos, ou seja, platina e ouro são

Quadro 1: Artigos selecionados e analisados de acordo com as categorias propostas.

Código	Autoria	Conceito de corrosão	Metais utilizados	Reações químicas ¹	Meios corrosivos
A ₁	Palma e Tiera (2003)	Não	aço, Fe, Ag, Au, Al e Cu	RA, RC e RG (Fe), RG (Cu) e RG (Al)	Solução de vinagre 20% (v/v) com adição de uma colher de NaCl
A ₂	Ferreira et al. (2004)	Não	aço e Fe	RA, RC e RG (Fe)	Água da torneira
A ₃	Costa et al. (2005)	Sim. Relacionado à metalurgia	Al	RG (Al)	Produto comercial “limpa piso” (fonte de HCl)
A ₄	Costa et al. (2006)	Não	Al	RG (Al)	Solução “limpa piso” (ou ácido muriático) e soda cáustica
A ₅	Júnior e Dochi (2006)	Não	Fe	RG (Fe)	Solução de vinagre
A ₆	Wartha et al. (2007)	Sim. Corrosão eletroquímica	Fe	RA, RC e RG (Fe)	Solução aquosa 3,5% em massa de NaCl
A ₇	Sousa et al. (2007)	Não	Fe, Cu e Al	RA, RC e RG (Fe) e RG (Cu)	16 produtos de limpeza (ácidos, neutros e alcalinos)
A ₈	Satori et al. (2008)	Não	Ag	RA, RC e RG (Ag)	Sulfeto (obtido pelo cozimento de ovos)
A ₉	Vaz et al. (2011)	Sim. Corrosão metálica	Liga 7050 (89% Al + 6% Zn)	RG (Al)	Soluções de HCl e NaOH (1; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8 e 2 mol L ⁻¹)
A ₁₀	Merçon et al. (2011)	Sim. Corrosões química e eletroquímica	Fe	RA, RC e RG (Fe)	Água destilada (ou água da torneira ou filtrada) e solução de NaCl 3,5%
A ₁₁	Fragal et al. (2011)	Não	Fe, Zn, Ag, Au, Al, Mg, Sn e Cu	RG (Fe)	Água e soluções de HCl (3 mol L ⁻¹) e de NaCl 3,5% (p/v)
A ₁₂	Matos et al. (2013)	Não	Fe	RA e RC (Fe)	Soluções de NaCl e KCl (0,6 mol L ⁻¹) e Na ₂ SO ₄ e CuSO ₄ (0,5 mol L ⁻¹)
A ₁₃	Maia et al. (2015)	Sim. Corrosão metálica	Fe	RA e RC (Fe)	Soluções de HCl e HNO ₃ de pH = 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7

¹ RC = Reação Catódica; RA = Reação Anódica; RG = Reação global.

mais estáveis que os seus respectivos óxidos. Além disso, como apontado pelos autores do artigo A₁, esses metais “difícilmente são oxidados, devido às suas baixas reatividades [$E_{red}^0(Au)=1,69V$; $E_{red}^0(Pt)=1,18V$], o que explica suas resistências à corrosão” (Palma e Tiera, 2003, p. 54). Outro exemplo de conceito incompleto é apresentado nos artigos A₉ e A₁₃, nos quais se relaciona o fenômeno somente a materiais metálicos, o que Merçon *et al.* (2004) chamaram de corrosão eletroquímica. Scully e Harris (2012, p. 67) afirmam que “a corrosão inclui oxidação destrutiva de materiais metálicos e não-metálicos, que resultam na degradação dos materiais devido à exposição a ambientes operacionais corrosivos”.

Outro ponto que merece destaque é o fato de o fenômeno nem sempre ser prejudicial, pois “embora a corrosão promova danos causados pela deterioração de materiais, é importante ressaltar que esta também apresenta determinados aspectos positivos e de grande importância comercial e industrial” (Costa *et al.*, 2005, p. 32). Essa discussão pode ser muito produtiva para desconstruir possíveis concepções alternativas dos estudantes a esse respeito.

Os autores dos artigos A₆ e A₁₀ apresentaram conceitos mais completos sobre a corrosão, estendendo-os a materiais metálicos e não-metálicos, bem como à ação química e eletroquímica do meio corrosivo. Vejamos um excerto do artigo A₁₀:

A corrosão é um processo espontâneo e presente em nosso cotidiano. Esse processo pode ser definido como o fenômeno resultante da ação química ou eletroquímica de um meio sobre um determinado material. Apesar de estar diretamente associada aos metais, a corrosão também ocorre em materiais não metálicos, como concreto e polímeros (Merçon *et al.*, 2011, p. 57).

Os conceitos mais completos são os que mais se aproximam do aceito pela União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC), que assim conceitua a corrosão:

Uma reação interfacial irreversível de um material (metal, cerâmico, polimérico) com seu ambiente, que resulta no consumo do material ou na dissolução de um componente do material no meio. Muitas vezes, mas não necessariamente, a corrosão resulta em efeitos prejudiciais ao uso do material considerado. Processos exclusivamente físicos ou mecânicos, como fusão ou evaporação, abrasão ou fratura mecânica, não estão abrangidos no termo corrosão (Heusler *et al.*, 1989, p. 20, grifos nossos).

No entanto, apenas a apresentação do conceito não é suficiente para o desenvolvimento de habilidades que permitam a tomada de decisão frente às questões sociais, ambientais e econômicas. Nessa perspectiva, os autores do artigo A₁₀

comentam sobre a interação entre os conceitos científicos sobre corrosão e a abordagem CTS (ou CTSA):

A possibilidade de relacionar os conteúdos científicos envolvidos com os aspectos tecnológicos, sociais, econômicos e ambientais favorece a formação da cidadania dos alunos, ampliando seu poder de participação e tomada de decisão e desenvolvendo no aluno habilidades básicas para sua participação na sociedade (Merçon *et al.*, 2011, p. 57).

Tal entendimento está presente na maioria dos artigos analisados (em 11 dos 13), ou seja, os autores têm se preocupado com a elaboração de propostas experimentais que não focalizam apenas o conteúdo conceitual relacionado à corrosão.

Indicação do(s) metal(is) utilizado(s)

Cabe destacar, inicialmente, que nos artigos selecionados não foram encontrados exemplos de corrosão com materiais não-metálicos, por isso o título da categoria é “indicação do(s) metal(is) utilizado(s)”, caracterizando, assim, a corrosão eletroquímica. Caso o leitor tenha interesse em corrosão de material não-metálico, sugere-se a leitura do artigo de Merçon *et al.* (2004).

Em relação à corrosão metálica, Esperidião e Nóbrega (1996, p. 27), no livro *Os metais e o homem*, direcionam a seguinte pergunta ao leitor: “O ferro é o único metal que sofre corrosão?”. Encontrou-se, nos artigos analisados, experimentos com Cu, Fe, Al, Au, Ag, Zn, Mg e Sn. Como esperado, o ferro foi o metal mais utilizado nos experimentos e duas justificativas explicam esse fato: primeiro, porque no Brasil a produção de ferro é maior quando comparada a outros metais (Brasil, 2018); segundo, porque as primeiras publicações sobre corrosão, bem como outras subsequentes, utilizavam ferro como material base a ser corroído, por exemplo, os trabalhos de Whitney (1903), Evans (1926) e Llanos *et al.* (2019).

Outro metal bastante explorado nos artigos foi o alumínio. Costa *et al.* (2005, p. 32), autores do artigo A₃, relatam a esse respeito que “nas últimas décadas tem se observado o crescente uso do alumínio, principalmente em função de suas propriedades físicas”. Já no artigo A₄, os autores afirmam que o uso do alumínio se deve ao aumento da resistência à corrosão desse metal, devido à formação de “uma película protetora de óxido de alumínio sobre sua superfície” (Costa *et al.*, 2006, p. 38).

O alumínio está presente no cotidiano, com empregos bastante diversificados. É utilizado em utensílios domésticos (panelas, copos, bandejas, latas), embalagens de alimentos, construção civil, composição de espelhos e produção de aviões (ligas de alumínio). Isso requer produção constante

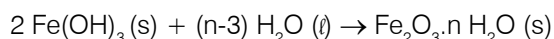
e crescente reciclagem. Para que haja essa reciclagem, gasta-se somente 5% da energia necessária para produzir o alumínio a partir do minério, ou seja, existem fatores positivos em relação às questões econômicas, tecnológicas, sociais e ambientais.

Reações envolvidas na corrosão eletroquímica

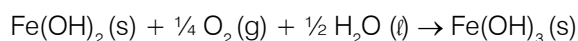
Todos os artigos analisados se encaixam nessa categoria, pois apresentaram semirreações e/ou reações globais, com ênfase para os metais ferro e alumínio. Observou-se, também, que a reação de corrosão do ferro aparece claramente, enfatizando a formação da ferrugem.

Nos artigos A₆ e A₁₂, os autores realizaram o experimento clássico da gota salina de Evans (1926), experimento que, de acordo com Wolyniec (2003), confirmou a natureza eletroquímica da corrosão. A experiência consiste em verter, sobre uma superfície de ferro previamente lixada, uma gota de solução contendo NaCl (3%), uma pequena quantidade de ferricianeto de potássio (K₃[Fe(CN)₆]) e fenolftaleína. O NaCl é o eletrólito, o K₃[Fe(CN)₆] indica a oxidação do Fe para Fe²⁺ (região anódica de coloração azul) e a fenolftaleína indica a redução do O₂ para OH⁻ (região catódica de coloração rósea).

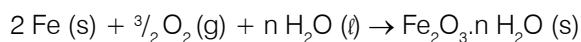
Os autores do artigo A₂ apresentaram dois mecanismos para a produção da ferrugem. No primeiro mecanismo, ocorre a redução do oxigênio, a oxidação do ferro (Fe → Fe²⁺; Fe²⁺ → Fe³⁺), a precipitação [Fe(OH)₃(s)] e, por último, a formação da ferrugem, como mostrado a seguir:



No segundo mecanismo, mostrou-se a reação de oxidação do ferro (Fe → Fe²⁺). Em seguida, a formação do precipitado [Fe(OH)₂(s)] e, antes da formação da ferrugem, ocorreu a oxidação adicional, segundo a equação abaixo:



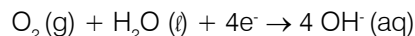
A equação global, para ambos os mecanismos, é a mesma, conforme mostrado a seguir:



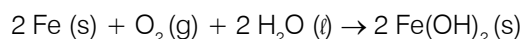
A reação acima também é encontrada em outros artigos (A₁, A₅, A₆, A₇ e A₁₀). Nos artigos A₆, A₇ e A₁₀, além da formação do produto Fe₂O₃ · n H₂O (s), também é mostrada a formação de Fe₃O₄(s) (baixo teor de oxigênio). Merçon *et al.* (2004, p. 11) afirmam que “o produto final da corrosão, ou seja, a ferrugem, consiste nos compostos Fe₃O₄ (coloração preta) e Fe₂O₃ · H₂O (coloração alaranjada ou castanho-avermelhada)”. Por outro lado, os autores do artigo A₁₃

acrescentam o Fe(OH)₃ (marrom) e o Fe(OH)₂ (branco, mas em contato com O₂(g), verde).

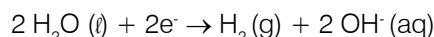
Ainda sobre as reações químicas envolvidas no processo de corrosão, outra análise pertinente relaciona-se à reação catódica (reação de redução de oxigênio - RRO). Nos artigos A₁, A₂, A₆, e A₁₂, tem-se a seguinte reação catódica:



Contudo, cabe destacar que, nos artigos A₅ e A₁₁, a RRO aparece de forma implícita na equação global, pois o gás oxigênio e a água aparecem nos reagentes, juntamente com o ferro, para a formação de hidróxido ferroso, conforme mostrado na reação abaixo:



Já nos artigos A₇ e A₁₀, os autores optaram por uma reação catódica diferente, em um meio com baixo teor de oxigênio, como mostrado abaixo:



As reações catódicas apresentam potenciais diferentes, fato que nos chamou atenção para verificar a possibilidade ou não de corrosão, ou seja, se o processo corrosivo é espontâneo ou não. Segundo Wolyniec (2003), para que haja a corrosão é necessário que o potencial de equilíbrio de redução (E_{red}^0) da região catódica

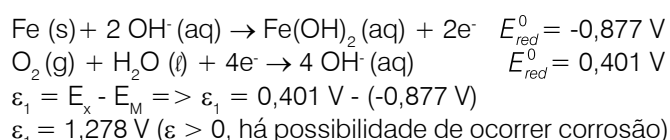
seja maior do que o potencial de equilíbrio de redução (E_{red}^0) da região anódica.

Sabe-se, no entanto, que as pilhas de corrosão estão sempre em curto-circuito, logo, não faz sentido trabalhar com força eletromotriz (fem), e sim com a tendência à corrosão, designada por ε (equação a seguir), em que E_x é o potencial de equilíbrio da reação catódica, e o E_M é o potencial de equilíbrio da reação anódica.

$$\varepsilon = E_x - E_M$$

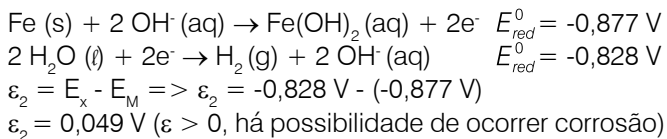
Utilizando as reações catódicas e anódicas, calculou-se a possibilidade termodinâmica de ocorrência da corrosão com as seguintes condições: se $\varepsilon \leq 0$, não ocorre a corrosão; e se $\varepsilon > 0$, há a possibilidade de corrosão.

Sendo assim, para o primeiro conjunto de equações catódica e anódica, tem-se:



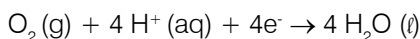
Todos os artigos analisados se encaixam nessa categoria, pois apresentaram semirreações e/ou reações globais, com ênfase para os metais ferro e alumínio. Observou-se, também, que a reação de corrosão do ferro aparece claramente, enfatizando a formação da ferrugem.

Já para o segundo conjunto de equações catódica e anódica, tem-se:

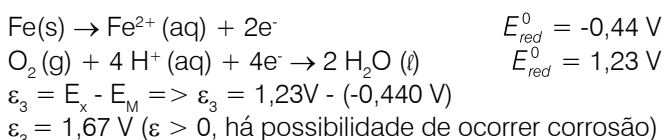


Observou-se, a partir dos cálculos de tendência à corrosão para os dois conjuntos de equações, que no sistema 1 (aerado) a corrosão é mais pronunciada que no sistema 2 (baixo teor de oxigênio).

Por outro lado, no artigo A₁₃, é apresentada a RRO em meio ácido (4 < pH < 7), mas apenas para valores de pH menores que 4, conforme mostrado a seguir:



Do mesmo modo como se fez para as outras duas reações catódicas, calculou-se a tendência à corrosão para a redução de oxigênio em meio ácido, conforme essas equações:



Analisando os valores obtidos para a tendência à corrosão, observou-se que esta, em meio ácido, é mais agressiva (maior tendência à corrosão) se comparada ao meio neutro ou alcalino. Contudo, a esse respeito, Gentil (1996, p. 26-27) destaca que

[...] o potencial do eletrodo não é o único critério a considerar na análise da eventualidade de um processo corrosivo. É preciso levar em conta, em qualquer caso, a curva de polarização associada ao eletrodo, pois esta pode dar informações completas sobre a cinética dos processos que podem ocorrer num determinado sistema.

Por fim, uma discussão acerca das semirreações, do balanceamento das equações de oxirredução e do cálculo de tendência à corrosão pode contribuir para que tanto os estudantes consigam superar as dificuldades conceituais e procedimentais – apontadas por De Jong e Treagust (2002), correlacionadas às reações de oxirredução, ao entendimento do fluxo de elétrons nas reações e ao processo de balanceamento das reações – quanto os professores consigam superar limitações relacionadas aos cálculos de potencial das reações globais, como apontado por Goes *et al.* (2016). No entanto, das publicações analisadas, apenas os autores do artigo A₈

trazem uma discussão acerca do potencial-padrão de redução (E_{red}^0) das reações anódicas e catódicas, bem como o cálculo da espontaneidade do processo eletroquímico.

Indicação do(s) meio(s) corrosivo(s)

A partir dos artigos analisados, verificou-se uma variedade de meios corrosivos, dentre os quais vinagre comercial, água de torneira, produtos de limpeza, soluções aquosas de HCl, de HNO₃ e de NaOH, e gota salina (clássico com NaCl e modificado com KCl, Na₂SO₄ e CuSO₄). Todos os experimentos foram realizados em meio aquoso, caracterizando, dessa forma, uma corrosão eletroquímica. Esse é o tipo mais comum de corrosão, e estima-se que 90% dos processos corrosivos ocorram em meio aquoso (Wolyniec, 2003). Outros processos, como a corrosão eletrolítica e a química, são mencionados por Merçon *et al.* (2004).

Os meios mais utilizados são soluções aquosas de HCl (A₃, A₄, A₉, A₁₁ e A₁₃) e de NaCl (A₆, A₁₀, A₁₁ e A₁₂), que são fontes de íon cloreto (Cl⁻). A escolha por esses meios pode estar relacionada a dois fatores: 1) ao fato de Evans ter utilizado NaCl no experimento clássico da gota salina, que confirmou a natureza eletroquímica da corrosão (Evans, 1926; Wolyniec, 2003); 2) e ao fato de o Cl⁻ potencializar o processo de corrosão de metais, como ferro e alumínio (Slabaugh, 1974), apesar de “o mecanismo de como [o Cl⁻] participa da reação não estar completamente definido” (Wartha *et al.*, 2012, p. 60).

Nos artigos A₁₂ e A₁₃, os autores estudaram o efeito de substituição de cátions e de ânions dos meios corrosivos. Em A₁₂, os autores não observaram diferenças significativas na substituição do Na⁺ (do NaCl) por K⁺ (do KCl). Por outro lado, a substituição do Cl⁻ por SO₄²⁻ (do Na₂SO₄) promoveu

uma notável redução do processo corrosivo, como já mostrado por Evans (1929), pois o SO₄²⁻ atua como um inibidor de corrosão, bloqueando a superfície metálica e diminuindo, dessa forma, a velocidade das reações na interface eletrodo-solução. O mesmo efeito inibidor não foi observado pelos autores do artigo A₁₃, pois a substituição do Cl⁻ por NO₃⁻ não causou diferença significativa na taxa de corrosão do material metálico.

Outro meio corrosivo que merece destaque são os produtos de limpeza. No artigo A₇, foram utilizados 16 produtos com composições distintas, e os valores de pH variaram entre 0 e 14. Os autores compararam limpa-forno (tensoativo e ácido sulfônico, pH = 0) e álcool comercial (álcool etílico, pH = 6) na corrosão do ferro por um mês. Com isso, observaram que quanto mais ácido o ambiente (meio corrosivo), maior a velocidade de oxidação das estruturas metálicas. Sendo assim, a corrosão em presença do produto limpa-forno (extremamente ácido) é muito mais intensa em comparação ao álcool comercial. Tal interpretação é corroborada pelos

A partir dos artigos analisados, verificou-se uma variedade de meios corrosivos, dentre os quais vinagre comercial, água de torneira, produtos de limpeza, soluções aquosas de HCl, de HNO₃ e de NaOH, e gota salina (clássico com NaCl e modificado com KCl, Na₂SO₄ e CuSO₄).

cálculos mostrados na categoria “artigos que abordam as reações envolvidas no processo de corrosão eletroquímica”.

Por fim, a variedade de meios corrosivos possibilita ao leitor de QNEsc a oportunidade de realizar investigações com os estudantes, na sala de aula ou no laboratório escolar, sobre como a taxa de corrosão do material varia em função da substituição de cátions e/ou ânions, do pH do meio reacional (ácido, neutro ou básico) e da concentração da solução utilizada como meio corrosivo.

Esses aspectos, como apontado em A₉, abrem “espaço para que o professor discuta com os alunos os mecanismos das reações químicas envolvidas nos diferentes processos de corrosão: em meio ácido, neutro ou básico” (Vaz *et al.*, 2011, p. 64). Como relatado em A₁₃, pode-se “correlacionar a problemática da corrosão e a influência do meio ambiente (poluição) nesse processo, principalmente no que diz respeito à chuva ácida” (Maia *et al.*, 2015, p. 75). Possibilitam, também, avaliar como os produtos de limpeza usados sobre as sujidades podem, por exemplo, “deteriorar a superfície metálica de uma geladeira ou fogão” (Souza *et al.*, 2007, p. 44), como apontado no artigo A₇.

Considerações finais

O objetivo deste trabalho foi entender como experimentos envolvendo o fenômeno da corrosão têm sido explorados pelos autores dos artigos publicados em QNEsc. São versáteis as possibilidades de trabalho relacionadas aos aspectos conceituais, reacionais e operacionais, possibilitando aos professores da educação básica, que discutirão o tema da corrosão em suas escolas, novas propostas experimentais para o trabalho com o conteúdo.

Na dimensão conceitual, observou-se pouca preocupação por parte dos autores, por vezes apresentando o fenômeno de forma incompleta, o que pode ocasionar problemas relacionados ao desenvolvimento dessa temática por parte dos leitores de QNEsc em uma aplicação em sala de aula ou em laboratório. Desse modo, sugere-se um aprofundamento nas discussões dessa dimensão, pois, para o ensino do conteúdo relacionado à corrosão, além da proposição de

novos experimentos, há a necessidade de apresentação de conceitos amplos e bem definidos.

Constatou-se, na dimensão reacional, maior preocupação dos autores com a discussão das semirreações e reações globais envolvidas nos processos corrosivos. Trata-se de um ponto positivo, pois, como já reportado na literatura,

tanto professores quanto estudantes possuem dificuldades conceituais e processuais relacionadas às reações de oxirredução. Além disso, utilizou-se, de forma complementar, os cálculos de tendência à corrosão para mostrar que os meios ácido e aerado são os mais agressivos para as superfícies metálicas.

Por fim, na dimensão operacional, a variedade de meios corrosivos possibilita ao leitor de QNEsc a oportunidade de realizar investigações com os alunos no ambiente escolar, sobre como a taxa de corrosão do material metálico varia em função da substituição dos íons do meio corrosivo, do pH do meio reacional e da concentração da solução utilizada como meio corrosivo. Assim, entende-se que os artigos analisados nesta pesquisa podem contribuir para avanços no ensino e na aprendizagem da corrosão.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos revisores pelos comentários, críticas e sugestões.

Amanda de Jesus Alves Miranda (amanda.quimica14@gmail.com), licenciada em química pela Universidade Estadual do Maranhão. Atualmente é aluna de mestrado do Programa de Pós Graduação em Química (PPGQUIM), na área de Química de Produtos Naturais. São Luís, MA – BR. **Adilson Luís Pereira Silva** (adilson.luis@cecen.uema.br), mestre e licenciado em química, especialista em Mídias da Educação todos pela Universidade Federal do Maranhão. Atualmente é professor assistente do Departamento de Química da Universidade Estadual do Maranhão. São Luís, MA – BR. **Jackson Ronie Sá-Silva** (prof.jacksonronie.uema@gmail.com), licenciado em biologia e química, bacharel em farmácia e bioquímica, especialista em Metodologia do Ensino Superior todos pela Universidade Estadual do Maranhão. Especialista em biologia pela Universidade Federal de Lavras. Mestre em Saúde e Ambiente pela Universidade Federal do Maranhão e doutor em Educação pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos. Atualmente é professor Adjunto do Departamento de Biologia da Universidade Estadual do Maranhão e líder do Grupo de Pesquisa Ensino de Ciências, Saúde e Sexualidade (GP-ENCEX). São Luís, MA – BR.

Referências

- BARDIN, L. *Análise de conteúdo*. São Paulo: Edições 70, 2016.
- BRASIL. *Anuário mineral brasileiro: principais substâncias metálicas*. Brasília: DNPM, 2018.
- CARLOMAGNO, M. C.; ROCHA, L. C. Como criar e classificar categorias para fazer análise de conteúdo: uma questão metodológica. *Revista de Ciência Política*, v. 7, n. 1, p. 173-188, 2016.
- CARVALHO, A. M. P. O ensino de Ciências e a proposição

de sequências de ensino investigativas. In: CARVALHO, A. M. P. (Org.). *Ensino de Ciências por investigação: condições para implementação em sala de aula*. São Paulo: Cengage Learning, 2019, p. 1-20.

COSTA, T. S.; ORNELAS, D. L.; GUIMARÃES, P. I. C.; MERÇON, F. A corrosão na abordagem da cinética química. *Química Nova na Escola*, n. 22, p. 31-34, 2005.

_____. Experimentos com alumínio. *Química Nova na Escola*, n. 23, p. 38-40, 2006.

DE JONG, O.; TREAGUST, D. The teaching and learning of electrochemistry. In: GILBERT, J. K.; DE JONG, O.; JUSTI, R.; TREAGUST, D.; VAN DRIEL, J. H. (eds). *Chemical Education: towards research-based practice*. Dordrecht: Kluwer, 2002, p. 317-337.

ESPERIDIÃO, I. M.; NÓBREGA, O. *Os metais e o homem*. São Paulo: Ática, 1996.

EVANS, U. R. The ferroxil indicator in corrosion research. *The Metal Industry*, v. 29, p. 481-482, 507-508, 1926.

_____. The mechanism of corrosion. *Journal of the Chemical Society*, p. 111-129, 1929.

FERREIRA, L. H.; ABREU, D. G.; IAMAMOTO, Y.; ANDRADE, J. F. Determinação simples de oxigênio dissolvido em água. *Química Nova na Escola*, n. 19, p. 32-35, 2004.

FRAGAL, V. H.; MAEDA, S. M.; PALMA, E. P.; BUZATTO, M. B. P.; RODRIGUES, M. A.; SILVA, E. L. Uma proposta alternativa para o ensino de eletroquímica sobre a reatividade de metais. *Química Nova na Escola*, v. 33, n. 4, p. 216-222, 2011.

FRANCISCO JUNIOR, W. E.; DOCHI, R. S. Um experimento simples envolvendo óxido-redução e diferença de pressão com materiais do dia-a-dia. *Química Nova na Escola*, n. 23, p. 49-51, 2006.

GENTIL, V. *Corrosão*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1996.

GOES, L. F.; FERNANDEZ, C.; AGOSTINHO, S. M. L. Conceções e dificuldades de um grupo de professores de química sobre conceitos fundamentais de eletroquímica. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE QUÍMICA, 18, 2016, Florianópolis. *Anais eletrônicos [...]*. Florianópolis: UFSC, 2016. Disponível em: <http://www.eneq2016.ufsc.br/anais/resumos/R0236-1.pdf>. Acesso em jun. 2020.

HEUSLER, K. E.; LANDOLT, D.; TRASATTI, S. Electrochemical corrosion nomenclature. (Recommendations 1988). *Pure & Applied Chemistry*, v. 61, n. 1, p. 19-22, 1989.

KLEIN, S. G.; BRAIBANTE, M. E. F. Reações de oxi-redução e suas diferentes abordagens. *Química Nova na Escola*, v. 39, n. 1, p. 35-45, 2017.

LLANOS, J.; PÉREZ, Á.; LUCAS-CONSUEGRA, A. Enhancing the teaching of corrosion to chemical-engineering students through laboratory experiments. *Journal of Chemical Education*, v. 96, n. 5, p. 1029-1032, 2019.

LYNES, W. Some historical developments relating to corrosion. *Journal of the Electrochemical Society*, v. 98, p. 3C-10C, 1951.

MAIA, D. J.; SEGRE, N.; SCATIGNO, A. C.; STELLA, M. B. Experimento sobre a influência do pH na corrosão do ferro. *Química Nova na Escola*, v. 37, n. 1, p. 71-75, 2015.

MATOS, L. A. C.; TAKATA, N. H.; BANCZEK, E. P. A gota salina de Evans: um experimento investigativo, construtivo e

interdisciplinar. *Química Nova na Escola*, v. 35, n. 4, p. 237-242, 2013.

MERÇON, F.; GUIMARÃES, P. I. C.; MAINIER, F. B. Corrosão: um exemplo usual de fenômeno químico. *Química Nova na Escola*, n. 19, p. 11-14, 2004.

_____. Sistemas experimentais para o estudo da corrosão em metais. *Química Nova na Escola*, v. 31, n. 1, p. 57-60, 2011.

MORAES, R. Análise de conteúdo. *Revista Educação*, v. 22, n. 37, p. 7-32, 1999.

OLIVEIRA, D. C. Análise de conteúdo temático-categorial: uma proposta de sistematização. *Revista de Enfermagem UERJ*, v. 16, n. 4, p. 569-576, 2008.

PALMA, M. H. C.; TIERA, V. A. O. Oxidação de metais. *Química Nova na Escola*, n. 18, p. 53-54, 2005.

SANJUAN, M. E. C.; SANTOS, C. V.; MAIA, J. O.; SILVA, A. F. A.; WARTHA, E. J. Maresia: uma proposta para o ensino de eletroquímica. *Química Nova na Escola*, v. 31, n. 3, p. 190-197, 2009.

SARTORI, E. R.; BATISTA, E. F.; FATIBELLO-FILHO, O. Escurecimento e limpeza de objetos de prata - um experimento simples e de fácil execução envolvendo reações de oxidação-redução. *Química Nova na Escola*, n. 30, p. 61-65, 2008.

SCULLY, J. R.; HARRIS, W. L. Opportunities and challenges in corrosion education: review of a national research council assessment. *Interface*, v. 21, n. 1, p. 67-71, 2012.

SILVA, A. L. P.; COSTA, H. R. Contextualização e experimentação na revista *Química Nova na Escola*: uma análise das edições de 2009 a 2016. *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia*, v. 12, n. 2, p. 331-352, 2019.

SLABAUGH, W. H. Corrosion. *Journal of Chemical Education*, v. 51, n. 4, p. 218-220, 1974.

SOUZA, E. T.; SOUZA, C. A.; MAINIER, F. B.; GUIMARÃES, P. I. C.; MERÇON, F. Corrosão de metais por produtos de limpeza. *Química Nova na Escola*, n. 26, p. 44-46, 2007.

VAZ, E. L. S.; ASSIS, A.; CODARO, E. N. Análise experimental da resistência à corrosão e da velocidade de corrosão: uma proposta pedagógica. *Química Nova na Escola*, v. 31, n. 1, p. 61-64, 2011.

WARTHA, E. J.; REIS, M. S.; SILVEIRA, M. P.; GUZZI FILHO, N. J.; JESUS, R. M. A maresia no ensino de Química. *Química Nova na Escola*, n. 26, p. 17-20, 2007.

WARTHA, E. J.; GUZZI FILHO, N. J.; JESUS, R. M. O experimento da gota salina e os níveis de representação em química. *Educación Química*, v. 23, n. 1, p. 55-61, 2012.

WHITNEY, W. R. The corrosion of iron. *Journal of American Chemical Society*, v. 25, n. 4, p. 394-406, 1903.

WOLYNEC, S. *Técnicas eletroquímicas em corrosão*. São Paulo: Edusp, 2003.

Abstract: *Corrosion in the teaching of Chemistry: an analysis of the articles published in Química Nova na Escola.* The aim of this article was to evaluate how the subject of corrosion has been addressed in the experimental proposals published in QNesc for teaching Chemistry. Corrosion is a complex subject that can cause difficulties in understanding both for students and for Chemistry teachers. In the process of searching for articles, 13 texts dealing with the subject were identified. For the analysis of conceptual, operational and reactional approaches, thematic-categorical analysis was used. Three conclusions are presented in the analysis. First, that there is a conceptual variety on the subject of corrosion, although some concepts require review. The second concerns the details of the semi-reactions and how this can contribute to the understanding of corrosive processes. In third place, there is a diversity of corrosive means, which allows QNesc readers a range of opportunities for application in experimental activities in Chemistry classes.

Keywords: corrosion, experimentation, bibliographic survey

Michael Faraday rumo às Leis da Eletrólise: alguns experimentos

Mateus Carneiro Guimarães dos Santos, Paulo Alves Porto e Neide Maria Michellan Kiouranis

Este artigo focaliza alguns dos experimentos conduzidos pelo cientista inglês Michael Faraday (1791-1867) a respeito de fenômenos relacionados à eletrólise, publicados em sua série de livros intitulada *Experimental Researches in Electricity*. Faraday investigava os efeitos dos diversos tipos de eletricidade conhecidos em meados do século XIX, e supôs que todos os tipos de eletricidade seriam, de fato, um único fenômeno com várias formas de manifestação. Seus estudos experimentais o levaram à elaboração daquelas que hoje são conhecidas como as duas Leis da Eletrólise.

► Faraday, eletrólise, história da ciência ◀

Recebido em 22/04/2020, aceito em 15/07/2020

330

A importância de Michael Faraday para a história da ciência é realmente notável. O cientista inglês realizou uma série de contribuições para o desenvolvimento da ciência, tais como a indução eletromagnética, o isolamento de diversos compostos como o benzeno e buteno, a liquefação de gases como cloro, dióxido de nitrogênio, dióxido de enxofre e iodeto de hidrogênio, entre muitos outros trabalhos (Thomas, 1991). Faraday também elaborou, em colaboração com William Whewell (1794-1866), a nomenclatura que ainda é utilizada na eletroquímica, incluindo termos como eletrodo, ânodo, cátodo, íon, ânion, cátion, eletrólito e eletrólise (Ross, 1961; Ihde, 1984) – sendo que alguns deles adquiriram novos significados com o passar do tempo.

O nome de Faraday está associado, no ensino de química, às chamadas Leis da Eletrólise. O estudo do processo que levou Faraday à elaboração dessas leis, abordado neste artigo, pode ser útil, em contextos didáticos, para o entendimento de alguns conceitos fundamentais de eletroquímica, e também para que estudantes possam compreender como a ciência se desenvolveu e ainda se desenvolve.

Michael Faraday nasceu em 22 de setembro do ano de 1791, em uma localidade ao sul de Londres chamada

Newington Butts, às margens do rio Tâmesa. Era o terceiro filho do ferreiro James Faraday e de sua mulher Margaret Hastwell, uma família de origem humilde, sem muitos recursos para educação ou mesmo para a alimentação de seus filhos. Logo se mudaram para Londres, onde as possibilidades de emprego eram maiores para o ofício de seu pai (Baldinato, 2009).

O início da educação do futuro cientista ocorreu em uma escola comum, onde Faraday pode aprender um pouco sobre leitura, escrita e aritmética (Bence-Jones, 1870, p. 9; Baldinato, 2009). Já em Londres, aos 13 anos Faraday conseguiu um emprego para ajudar nas despesas da família, como garoto de entregas de George Riebau, um vendedor de livros. A promessa era de que, após um ano de teste, ele poderia se tornar aprendiz de encadernador. Ao final desse período, o jovem Faraday foi aprovado, com a perspectiva de se tornar encadernador e procurar um emprego próprio após sete anos. Como aprendiz, Faraday tinha muito tempo para ler os livros em cuja encadernação estava trabalhando. Desde o início, mostrou-se interessado por livros de caráter científico (James, 1991).

Ao fim dos sete anos como aprendiz de encadernador, Faraday passou a buscar um trabalho que tivesse ligação com a ciência. Enviou cartas para Sir Joseph Banks, então presidente da *Royal Institution*, mas não obteve sucesso. Em 1813, Humphry Davy (1778-1829) – então o principal

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

pesquisador e conferencista da *Royal Institution* – feriu os olhos em um experimento, e decidiu contratar um auxiliar. Assim, Faraday conseguiu um emprego naquela instituição, que lhe abriu os caminhos para sua bem sucedida carreira científica (Thompson, 1898).

Faraday se interessava por diversos campos das Ciências Naturais, e era um autodidata. Alguns de seus trabalhos mais famosos e reconhecidos se encontram em uma série de livros intitulados *Experimental Researches in Electricity* (Faraday, 1839). No presente artigo, nosso objetivo é apresentar alguns dos experimentos relacionados à eletrólise descritos por Faraday nessa série. Nosso foco recai sobre uma sequência de experimentos na qual Faraday, que inicialmente procurava demonstrar a identidade das diferentes manifestações dos fenômenos elétricos, seguiu por um caminho que o levou a expressar o que hoje chamamos de Leis da Eletrólise.

Experimental Researches in Electricity

Faraday iniciou suas investigações sobre eletricidade revisando e repetindo o que acreditava serem todos os experimentos que envolviam eletromagnetismo conhecidos na época, e publicou seus resultados no periódico *Annals of Philosophy*. A partir daí, Faraday começou a realizar novos experimentos, seguindo suas próprias ideias. Entre 1831 e 1852, o cientista britânico publicou uma série de monografias nos periódicos *Philosophical Transactions of the Royal Society*, *Proceedings of the Royal Institution* e *Philosophical Magazine*, que foram posteriormente reunidas em forma de livros, em três volumes intitulados *Experimental Researches in Electricity* (Faraday, 1839).

A leitura do sumário de *Experimental Researches in Electricity* já revela a grande variedade de conteúdos referentes à eletricidade investigados por Faraday. Neste artigo, focalizamos a terceira seção do volume 1, uma comunicação feita à *Royal Society* originalmente em 10 e 17 de janeiro de 1833, que se constitui no passo inicial para que Faraday chegasse posteriormente às Leis da Eletrólise.

A terceira seção se inicia com um tema bastante controverso para a época. Desde o século XVII até meados do

XIX, os estudiosos europeus que investigavam os fenômenos elétricos descreviam a existência de vários tipos de eletricidade, como se pode ver no Quadro 1.

Faraday suspeitava que não existiam vários tipos de eletricidade, mas várias fontes, todas produzindo um mesmo fenômeno. Para tentar provar que todos os tipos de eletricidade conhecidos eram a mesma coisa, Faraday propôs uma série de experimentos. Segundo ele,

Os efeitos da eletricidade em movimento ou correntes elétricas podem ser considerados como: 1º. evolução de calor; 2º. magnetismo; 3º. decomposição química; 4º. fenômenos fisiológicos; 5º. faísca. Será meu objetivo comparar as eletricidades de diferentes fontes, e especialmente as eletricidades comum e voltaica, pelo poder de produzir esses efeitos (Faraday, 1839, p. 78, §267, tradução nossa).

Como visto na citação acima, alguns critérios foram elaborados para os ensaios experimentais, norteados pelos efeitos causados pelos diversos tipos de eletricidade conhecidos até aquele momento. Nessa seção do livro, Faraday analisou cada tipo de eletricidade com relação a esses critérios. Os resultados podem ser vistos no Quadro 2, que reproduz uma tabela que consta do primeiro volume de *Experimental Researches in Electricity* (Faraday, 1839, p. 102).

Faraday concluiu, com base nos resultados apresentados na tabela, que a eletricidade era idêntica independente da fonte. Esse estudo foi bastante importante, pois deu início a reflexões mais profundas de Faraday sobre a eletricidade proveniente das fontes comum (originada por máquinas eletrostáticas) e voltaica (originada por pilhas voltaicas) – não apenas para confirmar a questão da identidade, mas também para elucidar alguns princípios básicos. Esses estudos deram origem ao que hoje chamamos de Leis da Eletrólise, conforme veremos na sequência.

Os experimentos de eletrodecomposição

Um dos experimentos feitos por Faraday para tentar mostrar que as duas eletricidades eram, de fato, a mesma,

Faraday suspeitava que não existiam vários tipos de eletricidade, mas várias fontes, todas produzindo um mesmo fenômeno. Para tentar provar que todos os tipos de eletricidade conhecidos eram a mesma coisa, Faraday propôs uma série de experimentos.

Quadro 1: Os diversos tipos de eletricidade conhecidos entre os séculos XVII e XIX

Ano	Eletricidade	Origem e Descrição	Pesquisador
1660	Comum	Máquina eletrostática, atmosfera (relâmpagos).	Otto Von Guericke
1790	Animal	Proveniente de músculos de animais.	Luigi Galvani
1800	Voltaica	Gerada pela pilha de Volta.	Alessandro Volta
1821	Térmica	Conversão de diferença de temperatura em eletricidade.	Thomas J. Seebeck
1831	Magnética	Proveniente de uma máquina de ímãs.	Michael Faraday

Fonte: Os autores

	Efeitos Fisiológicos	Deflexão Magnética	Produção de ímãs	Faixa	Poder de aquecer	Ação química verdadeira	Atração e Repulsão	Descarga através de ar quente
1. Eletricidade Voltaica	x	x	x	x	x	x	x	x
2. Eletricidade Comum	x	x	x	x	x	x	x	x
3. Magneto-Eletricidade	x	x	x	x	x	x	x	
4. Termo-Eletricidade	x	x	+	+	+	+		
5. Eletricidade Animal	x	x	x	+	+	x		

Fonte: Faraday, 1839, p.102.¹

foi descrito na terceira seção do livro (Faraday, 1839, p. 90, §321) e discutido em detalhes na quinta seção². Esse experimento tinha como objetivo investigar se a eletricidade comum poderia realizar a eletrodecomposição, promovendo uma reação química que originaria ácido e base.

Faraday preparou três tiras de papel, cada uma delas contendo em uma ponta tornassol (usado como indicador da presença de ácido, e identificado na Figura 1 com a letra *p*) e na outra ponta cúrcuma (indicador da presença de base, correspondendo à letra *n* na Figura 1). Essas tiras foram umedecidas com uma solução de sulfato de sódio e apoiadas sobre uma placa de vidro. Conforme ilustrado na Figura 1, Faraday ligou um fio de platina *m* a uma máquina eletrostática, sendo que o terminal *t* servia para a descarga da corrente³. No esquema, *r* e *s* representam fios de platina utilizados para a condução elétrica entre os papéis indicadores previamente umedecidos no eletrólito.

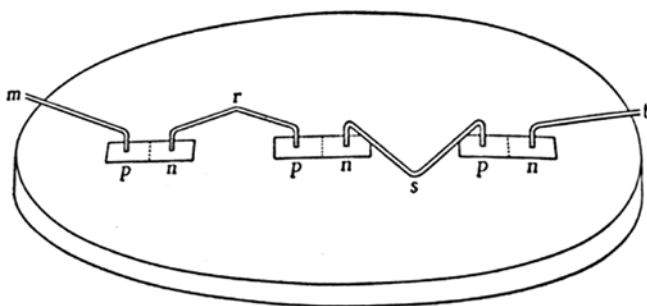


Figura 1: Ilustração do experimento de Faraday para eletrodecomposição da solução de sulfato de sódio. Fonte: Faraday (1839, Prancha III, figura 45).

Colocando em operação a máquina eletrostática, em pouco tempo os indicadores mostravam a presença de ácido nos pedaços de papel de tornassol e de base nos pedaços de papel de cúrcuma, permitindo concluir que a eletricidade gerada pela máquina eletrostática era capaz de realizar a eletrodecomposição, da mesma forma que a eletricidade gerada por uma pilha voltaica (Faraday, 1839, p. 89, §319; Drennan, 1965).

Nessa investigação, Faraday realizou experimentos envolvendo a eletrodecomposição de diversas substâncias,

entre elas o iodeto de potássio. Em relação a essa substância, era possível fazer o acompanhamento visual de sua decomposição em solução aquosa embebida em um papel branco, devido à formação de uma mancha escura⁴. Faraday preparou uma folha de papel de filtro dobrada em quatro e embebida em uma solução de iodeto de potássio, apoiada sobre uma espátula de platina. Sobre o papel dobrado foi encostada a extremidade de um fio de platina. Em um primeiro arranjo, o fio de platina foi ligado à máquina eletrostática, e a espátula foi ligada ao dispositivo de aterramento. Faraday fazia girar o disco cuja fricção gerava a eletricidade, e observava o aparecimento da mancha colorida no papel junto ao fio de platina: a intensidade da cor era proporcional ao número de voltas do disco. Faraday observou que eram necessárias trinta voltas da máquina para produzir uma mancha de iodo tão intensa que penetrava na segunda dobra do papel. No segundo arranjo, o fio de platina foi ligado ao terminal positivo de uma pilha feita com eletrodos de platina e zinco em solução de ácido sulfúrico (em condições padronizadas por Faraday), enquanto a espátula foi ligada ao terminal negativo da pilha. Faraday então observou que o tempo necessário para a mancha de iodo alcançar a segunda dobra do papel correspondia a oito batidas de seu relógio⁵ (Faraday, 1839, pp. 106-107, §373-375; Drennan, 1965; Stock, 1991). Segundo ele,

Após alternar e repetir os experimentos comparativos muitas vezes, encontrou-se de maneira constante que esta corrente padrão de eletricidade voltaica, mantida durante oito batidas do relógio, era igual, em efeito químico, a trinta voltas da máquina [eletrostática]... (Faraday, 1839, p. 107, §375, tradução nossa.)

Faraday interpretou esses resultados como evidências de que os dois tipos de eletricidade (voltaica e comum) eram exatamente o mesmo fenômeno, pois tinham o mesmo efeito de eletrodecomposição. Em suas palavras:

Eu provei em uma recente série destas Researches (ao menos para minha satisfação) a identidade das

eletricidades derivadas de diferentes fontes, e insisti especialmente nas provas da igualdade daquelas [eletricidades] obtidas pelo uso da máquina elétrica comum e da bateria voltaica (Faraday, 1839, p. 127, §450, tradução nossa).

Ao recorrer à eletrodecomposição para evidenciar a identidade dos tipos de eletricidade, Faraday indicava haver alguma relação entre a eletricidade e a “afinidade” que faz os elementos químicos ficarem juntos ou se separarem. Nessa mesma obra, Faraday indicou implicações desse experimento, sugerindo o caminho para a formulação posterior da primeira Lei da Eletrólise: “[...] para esse caso de decomposição eletroquímica, e provavelmente para todos os casos, a força química, assim como a força magnética, é diretamente proporcional à quantidade absoluta de eletricidade que passa” (Faraday, 1839, p. 107, §377, tradução nossa). Em um enunciado moderno, a primeira Lei da Eletrólise expressa que a massa da substância formada em um eletrodo é diretamente proporcional à quantidade de eletricidade que passa pelo sistema eletrolítico (Stock, 1991; Drennan, 1965).⁶

Os equivalentes eletroquímicos

Ao sugerir que a relação entre a “força química” e a quantidade de eletricidade “provavelmente” seria sempre observada, Faraday especulava sobre uma possível propriedade relacionada à estrutura da matéria. Nessa época, a hipótese atômica estava longe de ser consensualmente aceita pela comunidade científica, e Faraday tinha muitas dúvidas sobre ela. Segundo Faraday,

Embora não saibamos nada sobre o que é um átomo, não podemos resistir em formar alguma ideia sobre partículas pequenas que representem o átomo para a mente [...] [E]xiste uma imensidão de fatos que nos justificam acreditar que os átomos de matéria são de alguma forma dotados de ou associados a forças elétricas... (Faraday, 1839, p. 249, §852, tradução nossa).

Para dar continuidade a suas investigações, Faraday buscou uma abordagem quantitativa para os fenômenos que estava estudando. Na época, não existia um consenso sobre como os fenômenos elétricos poderiam ser quantificados (Morus, 1988, p. 399-segs.). Faraday enfrentou esse problema construindo um instrumento denominado de volta-eletrômetro, ilustrado na Figura 2.

O princípio de funcionamento do volta-eletrômetro se baseava no fenômeno da eletrólise da água. A eletricidade produzida pelo dispositivo a ser testado era conduzida por

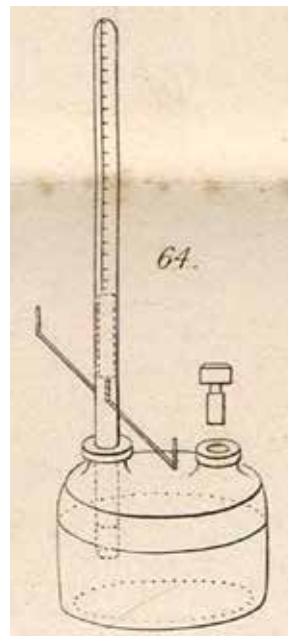


Figura 2: Volta-eletrômetro. Fonte: Faraday (1839, Prancha V, figura 64).

peças metálicas imersas em água acidulada, provocando sua decomposição em hidrogênio e oxigênio, que podiam ser coletados em um mesmo tubo ou em tubos separados. O volume total dos gases produzidos era medido, de modo que se estabelecia uma relação entre esse valor e a quantidade de eletricidade: quanto maior o volume de gases, maior a quantidade de eletricidade fornecida pelo dispositivo conectado ao volta-eletrômetro (Faraday, 1839, pp. 215-217, §732-741).

Dispondo desse instrumento de medida, Faraday se dispôs a investigar a hipótese de que o chamado *peso equivalente* de uma substância produzida por eletrodecomposição seria o mesmo determinado por meio de transformações químicas comuns. Neste ponto, é relevante explicar o que se entendia por peso equivalente na época de Faraday. Também chamados de *equivalentes químicos*, os pesos equivalentes correspondiam às quantidades em massa das substâncias que podiam reagir completamente com (ou conter em sua composição) uma determinada massa de uma substância adotada como padrão. Ou seja, o peso equivalente era uma grandeza determinada empiricamente. Por exemplo, tomando como padrão 8 unidades de massa de gás oxigênio, o peso equivalente do gás hidrogênio seria 1 unidade, e o peso equivalente da água seria 9 unidades (pois a proporção em massa com que os gases oxigênio e hidrogênio se combinam é de 8 para 1, resultando em 9 unidades de massa de água). O oxigênio foi escolhido na época como padrão por muitos autores, devido à facilidade em fazê-lo reagir com uma grande variedade de substâncias simples e compostas. Faraday decidiu então comparar o peso equivalente de uma substância, determinado

Para dar continuidade a suas investigações, Faraday buscou uma abordagem quantitativa para os fenômenos que estava estudando. Na época, não existia um consenso sobre como os fenômenos elétricos poderiam ser quantificados (Morus, 1988, p. 399-segs.).

pelos métodos químicos usuais, com o valor obtido por meio da eletrodecomposição.

A motivação de Faraday para o cálculo do equivalente químico por meio de um experimento de eletrólise foi dada pelas ideias de Davy e Jöns J. Berzelius (1779-1848), que acreditavam ser a afinidade química o resultado das atrações elétricas entre as partículas de matéria (Faraday, 1839, p. 206, §703).

Em meados do século XIX, havia muita controvérsia em torno da utilidade da hipótese atômica formulada por John Dalton (1766-1844), uma vez que a comunidade científica estava dividida entre atomistas e equivalentistas (Camel *et al.*, 2009). Os atomistas seguiam a hipótese de Dalton sobre o átomo ser indivisível, indestrutível e maciço. Os equivalentistas, por sua vez, eram, em sua maioria, influenciados pelo positivismo de Augusto Comte (1798-1857), e preferiam basear suas teorias em fenômenos experimentais, ou seja, que pudessem ser observados empiricamente (Russel, 2017). O fato de que os equivalentistas não podiam obter evidências diretas da existência dos átomos os levavam a não trabalhar com essa hipótese. O próprio Faraday manifestava suas dúvidas em relação à hipótese atômica, e preferiu fazer referência aos pesos equivalentes de Berzelius (e não a pesos atômicos).

Mas devo confessar que tenho desconfiança do termo átomo; pois embora seja muito fácil falar de átomos, é muito difícil formar uma ideia clara da natureza deles, especialmente quando se considera corpos compostos (Faraday, 1839, p. 256, §869, tradução nossa).

Descrevemos a seguir um dos experimentos de determinação de peso equivalente conduzido por Faraday, e comunicado à *Royal Society* em 1834. Seu objetivo aqui era determinar o peso equivalente do estanho, por meio da decomposição de “protocloreto de estanho”, atualmente conhecido como cloreto de estanho (II), ou cloreto estanoso (Faraday, 1839, p. 232, §789-segs.). O aparato experimental incluía um fio de platina enrolado, que servia como cátodo, e que foi inicialmente pesado e inserido em um tubo de vidro. O cloreto estanoso foi introduzido no mesmo tubo (à esquerda na Figura 3) e aquecido até a fusão, sendo que outro fio de platina fazia a função de ânodo. O cátodo foi conectado a um volta-eletrômetro (esquemático à direita na Figura 3, que mostra apenas seus eletrodos e parte do tubo cilíndrico no qual se recolhem os gases formados), e o circuito foi fechado com uma bateria voltaica (não representada na Figura 3, mas com seus terminais positivo e negativo indicados, respectivamente, pelas letras *p* e *n*). Ao final do experimento, Faraday observou a produção do cloreto de estanho (IV) (cloreto estânico) no ânodo, enquanto o estanho metálico produzido no cátodo formou uma liga

com platina, líquida na temperatura do experimento. O final do experimento foi definido por Faraday como sendo após a coleta, no volta-eletrômetro, de um volume de gás igual a 3,85 polegadas cúbicas. Então, o ânodo foi removido da massa fundida. O tubo de vidro foi aberto e, após a remoção de sal e vidro, o cátodo foi pesado novamente, para que fosse determinado o peso de estanho metálico formado no experimento (Faraday, 1839, p. 232, §789-segs.).

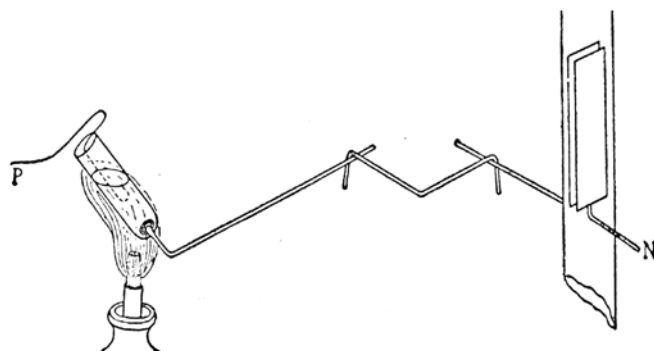


Figura 3: Esquema da aparelhagem para determinação do equivalente químico do estanho. Fonte: Faraday (1839, Prancha V, figura 69).

A motivação de Faraday para o cálculo do equivalente químico por meio de um experimento de eletrólise foi dada pelas ideias de Davy e Jöns J. Berzelius (1779-1848), que acreditavam ser a afinidade química o resultado das atrações elétricas entre as partículas de matéria (Faraday, 1839, p. 206, §703).

Faraday relatou os valores obtidos em um de seus experimentos: antes do procedimento, o cátodo pesava 20 grãos⁷ e, após a deposição, pesava 23,2 grãos. Portanto, a massa de estanho metálico formada no eletrodo foi de 3,2 grãos. A quantidade de hidrogênio e oxigênio coletados no volta-eletrômetro foi de 3,85 polegadas cúbicas

(pol³). Faraday considerou, ainda, o dado empírico de que a decomposição de 12,92 grãos de água produzia 100 polegadas cúbicas de oxigênio e hidrogênio. Fazendo uma relação matemática simples, que pode ser vista a seguir, pode-se calcular a massa de água que produz 3,85 pol³ de hidrogênio e oxigênio. Tal valor é igual a 0,49742 grãos de água.⁸

$$\begin{aligned} 100 \text{ pol}^3 \text{ de hidrogênio e oxigênio} &- 12,92 \text{ grãos de água} \\ 3,85 \text{ pol}^3 \text{ de hidrogênio e oxigênio} &- m \text{ grãos de água} \\ m &= 0,49742 \text{ grãos de água} \end{aligned}$$

Em seguida, Faraday tratou de calcular o equivalente químico do estanho, relacionando o valor obtido com o equivalente químico da água, determinado na época como sendo 9. Por meio de um cálculo simples, mostrado a seguir⁹, Faraday encontrou o valor de 57,9 para o peso equivalente do estanho, resultado igual ao valor determinado por Berzelius usando métodos químicos (Faraday, 1839, pp. 232-233, §789-792).

$$\begin{aligned} 0,49742 \text{ grãos de água} &- 3,20 \text{ grãos de Sn} \\ 9 \text{ eq de água} &- X \text{ eq de Sn} \\ X &= 57,9 \text{ eq} \end{aligned}$$

Faraday reconheceu, entretanto, que o experimento foi repetido quatro vezes, e o valor médio das quatro determinações resultou em 58,53 para o peso equivalente do estanho (um pouco maior, portanto, que o valor obtido por Berzelius) (Faraday, 1839, p. 233, §792). Além do estanho, Faraday também realizou uma série de experimentos para o chumbo (usando diversos compostos desse metal, em diferentes condições) – obtendo resultados próximos ao valor disponível na literatura da época – e também para o antimônio e o bismuto – com os quais não obteve os resultados esperados, em função de uma variedade de dificuldades experimentais (Faraday, 1839, pp. 233-237, §794-806). No entanto, Faraday observou que havia sempre proporcionalidade entre a quantidade de eletricidade envolvida e as massas dos produtos formados em um experimento de eletrodecomposição, e que as massas desses produtos guardavam entre si a mesma proporção que suas massas equivalentes (o que viria a ser chamada de 2ª Lei da Eletrólise). Na mesma seção de seu livro *Experimental Researches in Electricity*, o cientista britânico nomeou seus resultados como “Equivalentes eletroquímicos” e afirmou que “Equivalentes eletroquímicos coincidem e são os mesmos que os equivalentes químicos comuns” (Faraday, 1839, p. 245, §836, tradução nossa).

Considerações finais

Faraday realizou uma série de estudos fundamentais sobre os fenômenos elétricos, muitos dos quais relacionados à eletrólise. Neste artigo, destacamos alguns experimentos de Faraday que representam os primeiros passos rumo às Leis da Eletrólise. É importante observar que Faraday enfrentou diversas dificuldades, como a necessidade de um instrumento para medir a quantidade de eletricidade envolvida na eletrólise. Além disso, o panorama teórico de sua época era bem diferente do nosso. Havia dificuldades teóricas importantes: por exemplo, era difícil explicar por que a massa de substância formada ou decomposta na eletrólise dependia da quantidade de eletricidade, mas não da “intensidade” da pilha (isto é, da diferença de potencial). Os fenômenos elétricos eram explicados em outros termos, que não incluíam conceitos como elétrons, carga elétrica elementar ou estrutura atômica, que foram criados posteriormente, em outros contextos. Assim, seus enunciados para as Leis da Eletrólise eram diferentes daqueles usados atualmente por professores e estudantes de química. As explicações que usamos atualmente, envolvendo partículas de matéria, partículas de carga elétrica e conceitos da termodinâmica, viriam a se consolidar apenas no início do século XX (Guralnick, 1979).

Agradecimentos

PAP agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento

Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento (processos 426519/2016 e 307652/2017-3).

Notas

¹Os “x” da tabela se referem às primeiras evidências que Faraday encontrou sobre os respectivos tipos de eletricidade ao publicar seu artigo em 1833. As marcações com o símbolo “+” se referem aos resultados de ensaios posteriores. Faraday acreditava que seria possível preencher ainda os cinco espaços faltantes, embora esses efeitos ainda não houvessem sido observados (Faraday, 1839, p. 102, nota de rodapé).

²A quinta seção corresponde a uma comunicação feita por Faraday à *Royal Society* originalmente em junho de 1833.

³Em termos atuais, “t” seria chamado de aterramento (Stock, 1991).

⁴Em linguagem atual, pode-se dizer que a mancha se deve à formação de íons triiodeto resultantes da interação do iodo elementar com o excesso de íons iodeto.

⁵No instrumento utilizado por Faraday, uma batida do relógio correspondia a 0,4 segundos.

⁶Usando linguagem atual, podemos exemplificar a primeira Lei da Eletrólise considerando a eletrólise ígnea do cloreto de sódio. Suponha que a quantidade de sódio depositada no cátodo durante uma hora, mantendo-se a corrente

elétrica uniforme, seja de 30 gramas. Se fizermos o mesmo processo durante duas horas, com a mesma corrente elétrica sendo mantida, a quantidade de sódio depositada será de 60 gramas.

⁷Um grão equivale a 0,064g.

⁸Foi mantido aqui o número de algarismos significativos relatados por Faraday em seu texto.

⁹Neste artigo, utilizamos uma notação moderna para representar os cálculos por regra de três, apenas por ser mais familiar aos leitores atuais, mas não é a representação que se encontra na publicação original. Por exemplo, o cálculo do peso equivalente do estanho foi assim representado por Faraday: “0·49742 : 3·2 :: 9 o equivalente da água está para 57·9, que deve portanto ser o equivalente do estanho”.

Mateus Carneiro Guimarães dos Santos (mcarneirog@usp.br), licenciado em Química pela UFS, mestre em Educação para a Ciência pela UEM, doutorando em Ensino de Química pela USP e membro do Grupo de Pesquisa em História da Ciência e Ensino de Química (GHQ). São Paulo, SP – BR. **Paulo Alves Porto** (palporto@iq.usp.br), bacharel e licenciado em Química pela USP, mestre e doutor em Comunicação e Semiótica pela PUC-SP, livre docente em Ensino de Química pela USP, é professor do Instituto de Química da USP e coordenador do Grupo de Pesquisa em História da Ciência e Ensino de Química (GHQ). São Paulo, SP – BR. **Neide Maria Michellan Kiouranis** (nmmkiouranis@gmail.com), licenciada em Química, mestre em Ensino de Ciências - Modalidade Química pela USP, Doutora em Ensino de Ciências pela UNESP, é docente do Departamento de Química da Universidade Estadual de Maringá. Maringá, PR - BR.

Referências

BALDINATO, J. O. *A química segundo Michael Faraday: um caso de divulgação científica no século XIX*. 2009. Dissertação (Mestrado em Ensino de Química) – Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química, Instituto de Biociências. Universidade de São Paulo, São Paulo.

BENCE-JONES, H. *Life and Letters of Michael Faraday*, vol. I, 2nd. ed. London: Longmans, Green and Co., 1870.

CAMEL, T. O.; KOEHLER, C. B. G. e FILGUEIRAS, C. A. L. A química orgânica na consolidação dos conceitos de átomo e molécula. *Química Nova*, v. 32, n. 2, p. 543-553, 2009.

DRENNAN, O. J. Faraday's contribution to electrolytic solution theory. *Journal of Chemical Education*, v. 42, n. 12, p. 679-681, 1965.

FARADAY, M. *Experimental Researches in Electricity*. London: Richard and John Edward Taylor, 1839.

GURALNICK, S. M. The Contexts of Faraday's Electrochemical Laws. *Isis*, v. 70, n. 1, p. 59-75, 1979.

IHDE, A. J. *The Development of Modern Chemistry*. New York: Dover, 1984.

JAMES, F. A. J. L. (Ed.). *The correspondence of Michael Faraday: 1811-1831*, vol. 1. Londres: IET, 1991.

MORUS, I. R. The Sociology of Sparks: An Episode in the History and Meaning of Electricity. *Social Studies of Science*, v. 18, n. 3, p. 387-417, 1988.

ROSS, S. Faraday Consults the Scholars: The Origins of the Terms of Electrochemistry. *Notes and Records of the Royal Society of London*, v. 16, n. 2, p. 187-220, 1961.

RUSSEL, B. *História do Pensamento Ocidental*. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2017.

STOCK, J. T. The pathway to the laws of electrolysis. *Bulletin for the History of Chemistry*, v. 11, p. 86-92, 1991.

THOMAS, J. M. *Michael Faraday and the Royal Institution: The Genius of Man and Place*. New York: Taylor and Francis, 1991.

THOMPSON, S. P. *Michael Faraday: his life and work*. New York: Forgottenbooks, 1898.

Abstract: *Michael Faraday towards the Laws of Electrolysis: some experiments.* This paper focuses on some of the experiments regarding phenomena related to electrolysis conducted by the English scientist Michael Faraday (1791-1867) and published in his series of books entitled *Experimental Researches in Electricity*. Faraday investigated the effects of the various types of electricity known in mid-19th-century and assumed that all types of electricity were a single phenomenon which manifested itself in different forms. These experiments led him to elaborate what are known as the two Laws of Electrolysis.

Keywords: Faraday, electrolysis, history of science

Da ordem ao caos: uma reorientação das ciências e da química

Rafael Cava Mori e Raphael Nagao

Entre os pares de temas estabilidade/instabilidade, determinação/indeterminação, previsibilidade/imprevisibilidade, recorrência/inação e ordem/caos, as ciências físicas se voltaram, tradicionalmente, para os primeiros termos de cada dupla. No entanto, principalmente a partir do século XX, três revoluções científicas contribuíram para uma reorientação temática. Com o advento do paradigma do caos, na segunda metade do século em questão – graças aos estudos sobre meteorologia, a geometria fractal e a turbulência –, a investigação da natureza passou a considerar, crescentemente, a importância dos segundos termos. Não tardaria a que esses novos temas (instabilidade, indeterminação, imprevisibilidade, inováção e, em uma palavra, caos) passassem a ser admitidos, também, na química.

► paradigma, caos, reações oscilantes ◀

Recebido em 17/03/2020, aceito em 19/06/2020

337

A presente publicação, primeira de duas partes, trata de um dos assuntos mais fascinantes das últimas décadas: o estudo dos sistemas químicos longe do equilíbrio. Abordá-lo implica esbarrar em pares de temas transversais à química e demais ciências: estabilidade/instabilidade, determinação/indeterminação, previsibilidade/imprevisibilidade, recorrência/inação, ordem/caos.

Esta primeira parte defenderá que a ciência, tratando de objetos idealizados, tem privilegiado os primeiros termos dessas duplas. Porém, a emergência do mencionado campo de investigação, abarcando fenômenos complexos – a maior parte das transformações físicas e químicas, a passagem do tempo e a própria vida – requer o emprego dos segundos termos.

Adiante, mostraremos como tal reorientação da ordem ao caos foi se tornando premente para as ciências, e introduziremos a terminologia e os conceitos que serão mais bem explorados na segunda parte do artigo (a ser publicada em um número posterior de *QNEsc*).

A ciência e a busca por domar o universo

Situa-se na Grécia Antiga o surgimento do conceito de *cosmos*, “comunidade jurídica das coisas” (Jaeger, 1994, p. 202), remetido aos ideais de justiça, equilíbrio e beleza. Nesse contexto, os filósofos pré-socráticos da escola jônica – Tales (635-543 a.C.), Anaximandro (610-546 a.C.), entre outros – buscaram compreender a origem (*physis*) desse todo estruturado, propondo a aliança, na busca do conhecimento, da reflexão teórica com a observação empírica.

Até a Idade Média, outras escolas seguiram investigando o *cosmos* e expondo questões ainda relevantes. O problema da indução, por exemplo, já aparecia na filosofia de Aristóteles (384-322 a.C.) e, no Renascimento, alimentou as polêmicas entre Francis Bacon (1561-1626) e René Descartes (1596-1650) (Chalmers, 1993). Para o empirista Bacon, investigar a natureza era uma condição para dominá-la. Já Descartes, racionalista, conceberia a *res extensa*, situando os corpos num espaço geometrizado e homogêneo. Os avanços atribuídos a Galileu Galilei (1564-1642), partícipe desses debates e tido como fundador da ciência moderna, representaram a superação das concepções cosmológicas antigas, substituídas pelo conceito de Universo.

Caberia à ciência, então, investigar as relações de causa e efeito de que participam os entes universais, expressas

A seção “Atualidades em Química” procura apresentar assuntos que mostrem como a Química é uma ciência viva, seja com relação a novas descobertas, seja no que diz respeito à sempre necessária revisão de conceitos.

em linguagem matemática, e mobilizando instrumentos específicos, como o *experimentum*, origem do atual experimento científico (Koyré, 1991). As equações de Isaac Newton (1643-1727) tornaram possível descrever e prever trajetórias de corpos moventes, incluindo os astros. Estes, conforme se tornavam menos sacralizados, mais se apresentavam como objetos inteligíveis; lembremos que mesmo o aparente comportamento anômalo dos planetas (o movimento retrógrado, irregularidade intrigante desde os tempos antigos) fora esclarecido pela proposta de órbitas elípticas com foco no Sol.

Ainda que baseados em idealizações, tais modelos pareciam cumprir a ambição baconiana pelo domínio da natureza, deslumbrando os entusiastas da modernidade físico-matemática. Pierre-Simon Laplace (1749-1827), na introdução aos *Essai philosophique sur les probabilités* (1814), imaginou que, a uma inteligência que conhecesse estado e movimento de todos os seres (dos corpos astronômicos ao menor átomo), passado e futuro pareceriam presente. Afinal, as funções de deslocamento $f(t)$, solúveis para t ou $-t$, são simétricas quanto ao tempo. Por outro lado, essa simetria temporal parecia ignorar a claríssima percepção subjetiva, apreendida pelos sentidos humanos, de que o tempo possui uma direção preferencial.

À mesma época, as tabelas de Torbern Bergman (1735-1784), num ambicioso projeto de reunir dados de todas as possíveis transformações dos corpos, buscavam apor à química maior poder preditivo justamente partindo de um conceito inspirado em Newton, a afinidade (Bensaude-Vincent e Stengers, 1992). A ideia seria desafiada pela noção de equilíbrio químico de Claude-Louis Berthollet (1748-1822), mas o sonho newtoniano continuaria guiando a química, ainda mal compreendida em seus aspectos dinâmicos. De fato, a obra de Berthollet, lançando a noção de equilíbrio, fala de uma “química estática” (*Essai de statique chimique*).

Essa visão do mundo como um relógio, consubstanciada no determinismo laplaciano e no desejo de domar a natureza, seria abalada a partir do século XIX. Aqui, é útil a noção de Kuhn (2007) sobre os paradigmas científicos e suas anomalias. Assim, apesar de a comunidade intelectual aceitar tacitamente o núcleo proposicional do paradigma newtoniano, anormalidades já desafiavam os modelos com trajetórias simétricas em relação ao tempo. Henri Poincaré (1854-1912), no ensaio *Sur le problème des trois corps et les équations de la dynamique* (1890), demonstrou que o problema das interações gravitacionais num sistema determinístico de apenas três corpos (por exemplo, o sistema Terra-Lua-Sol) poderia ser inesperadamente complexo, não admitindo soluções que convergissem para uma quantidade finita de órbitas estáveis, pelo contrário, acenando para um comportamento que poderia ser considerado “caótico”.

O nascente ramo da termodinâmica também obstava a

Os objetos idealizados da física newtoniana (e da química moderna), inseridos na matriz de pensamento do determinismo laplaciano, mantinham compromissos com a estabilidade, a determinação, a previsibilidade, a recorrência - em uma palavra, a ordem

descrição do mundo nos termos da ciência de então. Seu desenvolvimento, a partir de 1824, agregou à física novos conceitos e categorias descritivas: calor, temperatura, dissipação, entropia. Graças ao trabalho de estudiosos como Josiah Gibbs (1839-1903), essas variáveis foram incluídas no estudo das transformações da matéria, emergindo a subárea da físico-química.

Apesar de tudo, a ciência permanecia vista como empreendimento de domínio sobre a natureza. Os objetos idealizados da física newtoniana (e da química moderna), inseridos na matriz de pensamento do determinismo laplaciano, mantinham compromissos com a estabilidade, a determinação, a previsibilidade, a recorrência – em uma palavra, a ordem. A própria termodinâmica integrava-se a essa visão de mundo, associando ao calor um teor negativo, a degradação entrópica da energia em nível atômico-molecular. Assim, a percepção subjetiva da passagem do tempo foi apenas parcialmente incorporada pela mecânica, que ignorava o também evidente caráter criativo e inovador das evoluções temporais.

Três revoluções no século XX

No século XX, esse quadro seria alterado por três revoluções científicas.

A relatividade de Albert Einstein (1879-1955) desfez o espaço cartesiano absoluto e homogêneo, agora descrito como um espaço-tempo, a partir de geometrias não-euclidianas.

Já a física quântica – associada a nomes como Max Planck (1858-1947), Niels Bohr (1885-1962), Louis de Broglie (1892-1987), Werner Heisenberg (1901-1976) e Paul Dirac (1902-1984) – abalou a ideia de determinação, com o princípio da incerteza: diferentemente do mundo macroscópico, em nível atômico não se pode medir, precisa e simultaneamente, posição e momento das partículas. A quantização impossibilitou, também, retratar o movimento dessas partículas como trajetórias newtonianas, substituídas pelo conceito de densidade de probabilidade, associado à função de onda Ψ .

Apesar dos novos paradigmas, permaneciam imperando as categorias estabilidade, determinação, previsibilidade e recorrência. Como as equações de movimento da física clássica, a função Ψ é simétrica em relação a t . Embora a possibilidade de um colapso da função de onda representasse a admissão da irreversibilidade ao menos no mundo submicroscópico, a unidirecionalidade do tempo permanecia à parte das propriedades inerentes dos constructos matemáticos, devendo-se, antes, à atividade de um observador. Fenômenos como o surgimento da vida num universo regido pela degradação energética (ou seja, a eclosão de estruturas organizadas frente à tendência geral à desagregação) continuavam inexplicados. Curiosamente, um dos patronos da física quântica, Erwin Schrödinger (1887-1961), chamaria

a atenção para tais temas, em *O que é vida* (1943). A obra parecia antever a descoberta do DNA (presumindo um cristal aperiódico prenhe de informações genéticas) e vislumbrar um intercâmbio energético-entrópico que explicaria a organização celular. Se as reflexões de Schrödinger ocupavam-se de velhas indagações da termodinâmica, é justo reconhecer que a física moderna legou novas questões ontológicas e epistemológicas, na forma de paradoxos relativísticos e quânticos – como que retomando os antigos jogos lógicos da escola grega eleata.

Foi a terceira revolução científica do século XX, já em suas décadas finais, que agravou os empecilhos às concepções científicas deterministas, reorientando os estudos da recorrência para a inovação, da estabilidade para a instabilidade, da ordem para a desordem. Inaugurando a ciência do caos, ela emergiu a partir de três frentes independentes e contemporâneas (anos 1960): os modelos para a previsão meteorológica, a geometria fractal e o estudo da turbulência.

A previsão meteorológica

Edward Lorenz (1917-2008), pesquisando a previsão do tempo, programou uma simulação do clima com 12 equações diferenciais. Para reanalisar valores de um dia anterior, o pesquisador iniciou a simulação a partir de um valor com três casas decimais (0,506), tal como impresso pelo computador, obtendo um resultado bastante inesperado.

Mais tarde, percebeu o que se sucedera: a simulação interpretou 0,506 como 0,506000, sendo 0,506127 o valor armazenado no computador. Essa diferença infinitesimal, aparentemente insignificante, causou uma enorme divergência. A ciência se deparava, assim, com uma propriedade inerente a muitos sistemas dinâmicos: a *hipersensibilidade às condições iniciais* ou, como tornaria célebre uma analogia exposta por Lorenz, o “efeito borboleta”.

Todo instrumento de medida, das réguas aos satélites que captam dados atmosféricos, possui imprecisões. No contexto meteorológico, tais incertezas nos valores iniciais (coletados

para alimentar as simulações), minúsculas como o bater de asas de um animal, são suficientes para afetar previsões para além de três dias, inviabilizando-as para além de uma semana. Em sistemas hipersensíveis às condições iniciais, como o clima terrestre, apenas medidas infinitamente precisas permitiriam o determinismo laplaciano! Palavras de Lorenz:

Quando a instabilidade de um fluxo uniforme em relação às perturbações infinitesimais foi sugerida, pela primeira vez, como explicação para a presença de ciclones e anticiclones na atmosfera, a ideia não foi universalmente aceita. Um meteorologista observou que, se a teoria estivesse correta, um bater de asas de uma gaivota seria suficiente para alterar o curso do clima para sempre. A controvérsia ainda não foi resolvida, mas as evidências mais recentes parecem favorecer as gaivotas (Lorenz, 1963, p. 431, tradução nossa).

A geometria fractal

O matemático Benoit Mandelbrot (1924-2010) estudava problemas em que, em meio à desordem, padrões insistiam em aparecer. Um deles foi a distribuição de preços de algodão, a princípio, aleatória. Em qualquer escala de tempo usada para examinar preços (uma década, um ano, um mês), as curvas de variação pareciam semelhantes. Outro problema foi a presença de ruídos, também aleatórios, nas linhas de transmissão de dados da IBM. O matemático notou que, em qualquer intervalo de tempo (uma hora, um minuto, vinte segundos), haveria períodos ruidosos e períodos limpos. Mandelbrot começou, então, a construir a ideia de *simetria em diferentes escalas* nos sistemas dinâmicos. Particularmente no

caso dos dois fenômenos em questão, uma imagem capaz de traduzi-los é o Conjunto de Cantor: infinitos fragmentos de um segmento de reta que, somados, não possuem comprimento (Figura 1).

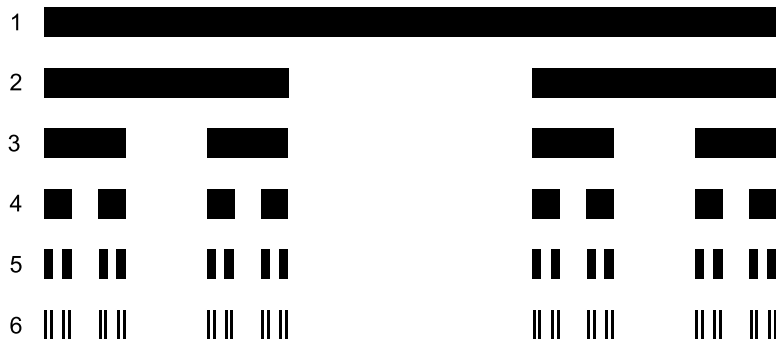


Figura 1: Conjunto de Cantor. A operação representada consiste em, dado um segmento de reta, dividi-lo em três segmentos iguais e excluir a terça parte do meio. Faz-se o mesmo nos dois segmentos restantes, e assim por diante. Na imagem, o processo foi interrompido em sua quinta iteração. Prosseguindo-se até a iteração $n \rightarrow \infty$, obtém-se um objeto composto por infinitos pontos e comprimento nulo, com dimensão fracionária (0,6309... – ou seja, intermediária entre a dimensão pontual nula e a dimensão unitária de uma reta).

Na mesma década, o pesquisador estudou a extensão das fronteiras territoriais. Apesar de a questão parecer simples, um sintoma de sua complexidade era o fato de diferentes enciclopédias apontarem extensões, para as fronteiras europeias, discordantes em até 20%. Isso porque tais valores dependem da escala eleita para medi-los. Uma gradação de 1 km não cobre reentrâncias e demais irregularidades menores – que, surpreendentemente, se manifestam das escalas mais diminutas às mais gigantescas.

Em 1975, Mandelbrot cunhou o termo *fractal* para designar entes com simetria em diversas escalas, ou auto-similaridade. Ainda, desenvolveu o conceito de dimensão fractal, associado ao grau de aspereza, fragmentação e irregularidade de um objeto. Enquanto as dimensões a que estamos acostumados são números inteiros, a dimensão de um objeto fractal pode ter valor fracionário. Exemplos e respectivas dimensões, entre objetos fractais matemáticos, são a Curva de Koch (1,2618) e o mencionado Conjunto de Cantor (0,6309). A mesma análise vale para artefatos reais aproximadamente fractais, incluindo exemplares de interesse químico. O carvão ativado pode ter um valor dimensional entre 3,0 e 2,3, a depender de sua granulidade (Jaroniec *et al.*, 1993). Já uma proteína como a lisozima possui dimensão fractal próxima a 2,2 (Pfeifer *et al.*, 1985). Os dois exemplos se referem a objetos com enorme área superficial em comparação com seus volumes.

A onipresença dos fractais é evidente: no feto de uma samambaia, na frequência dos terremotos, na hidrografia de um território, no aspecto ramificado de nosso sistema circulatório. Por isso, fala-se dos fractais enquanto “uma geometria da natureza” – como disse Mandelbrot, “Núvens não são esferas, montanhas não são cones, litorais não são círculos, a casca das árvores não é lisa, nem a luz viaja em linha reta” (c1983, p. 1, tradução nossa).

A turbulência

Imagine uma torneira escoando um líquido viscoso, como a água. Conforme aumenta a potência do fluxo proporcionalmente ao grau de abertura da torneira, o sistema atravessa os seguintes estados: escoamento estacionário como filete d’água, pulsações periódicas na coluna fluida e, finalmente, turbulência. Essas observações são conhecidas há tempos; as águas em movimento mereceram a atenção de ninguém menos que Leonardo da Vinci (1452-1519), que inclusive integrou o estudo da turbulência a investigações anato-fisiológicas sobre a passagem do sangue pela válvula aórtica do coração¹.

Por algum tempo, a interpretação teórica de Landau (1944) sobre o fenômeno pareceu satisfatória. Segundo ela, o aumento da potência de escoamento promove a excitação de diferentes modos de vibração da coluna d’água: no escoamento estacionário, nenhum modo é excitado; nas oscilações periódicas, excitam-se um ou poucos modos, num equilíbrio

dinâmico; a turbulência representaria, por fim, a excitação de muitos modos que, de toda forma, não se acoplam (não interagem entre si), num estado já afastado do equilíbrio.

O belga David Ruelle (1935-), influenciado pelas ideias matemáticas de René Thom (1923-2002) e Steve Smale (1930-), passou a questionar a teoria dos modos, segundo ele, capaz de explicar apenas evoluções temporais desinteressantes (Ruelle, 1993). Pelo contrário, a análise do fluxo turbulento revelava um espectro contínuo de frequências, e não uma sobreposição de modos discretos sem acoplamento. No artigo *On the nature of turbulence*, Ruelle, junto de Floris Takens (1940-2010), reexaminou o problema por meio de uma ferramenta geométrica conhecida como espaço de fases, demonstrando que uma modelagem mais realista do escoamento conduziria ao conceito de *atrator estranho*.

Para explicá-lo, retornemos à pesquisa de Lorenz. Outro sistema por ele estudado, ainda no âmbito meteorológico, foi a formação de correntes de convecção, que surgem quando há um gradiente de temperatura num fluido. A porção mais quente do fluido se expande (ficando menos densa) e, assim, sobe; ao subir, entra em

contato com porções mais frias, se contrai (ficando mais densa) e, então, volta a descer. Imagina-se que, após certo tempo, o sistema se estabilize numa oscilação periódica ou num estado estacionário. Porém, com um modelo de apenas três equações diferenciais, Lorenz mostrou haver condições em que isso jamais acontece, fixando-se um regime de oscilações não-periódicas. Graficamente, as três equações geravam uma curva que, continuamente desenhada, não se repetia em nenhum ponto, apesar de restrita a um formato e a uma região bem definida: o Atrator de Lorenz, que se tornaria o mais célebre dos atratores estranhos propostos, paralelamente, por Ruelle e Takens.

Além de revelar um contínuo de frequências temporais, como demonstrou Ruelle, um atrator estranho tem duas propriedades de que já falamos: hipersensibilidade às condições iniciais e dimensão fracionária. De fato, *On the nature of turbulence* menciona a presença do Conjunto de Cantor enquanto componente da formulação matemática do primeiro exemplo de atrator estranho assim nomeado (Ruelle e Takens, 1971).

A Figura 2 mostra, num espaço de fases, um sistema atravessando estados cada vez mais afastados do equilíbrio, conforme um de seus parâmetros é alterado. Chama-se *bifurcação* cada mudança qualitativa na evolução de um regime estacionário para oscilações periódicas, e então para o comportamento caótico: de um ponto fixo a um ciclo limite, e daí a um atrator estranho.

A consolidação do paradigma, repercussões na química e considerações até aqui

Segundo Ruelle, com a aceitação dos atratores estranhos e o reconhecimento de Lorenz,

A onipresença dos fractais é evidente: no feto de uma samambaia, na frequência dos terremotos, na hidrografia de um território, no aspecto ramificado de nosso sistema circulatório.

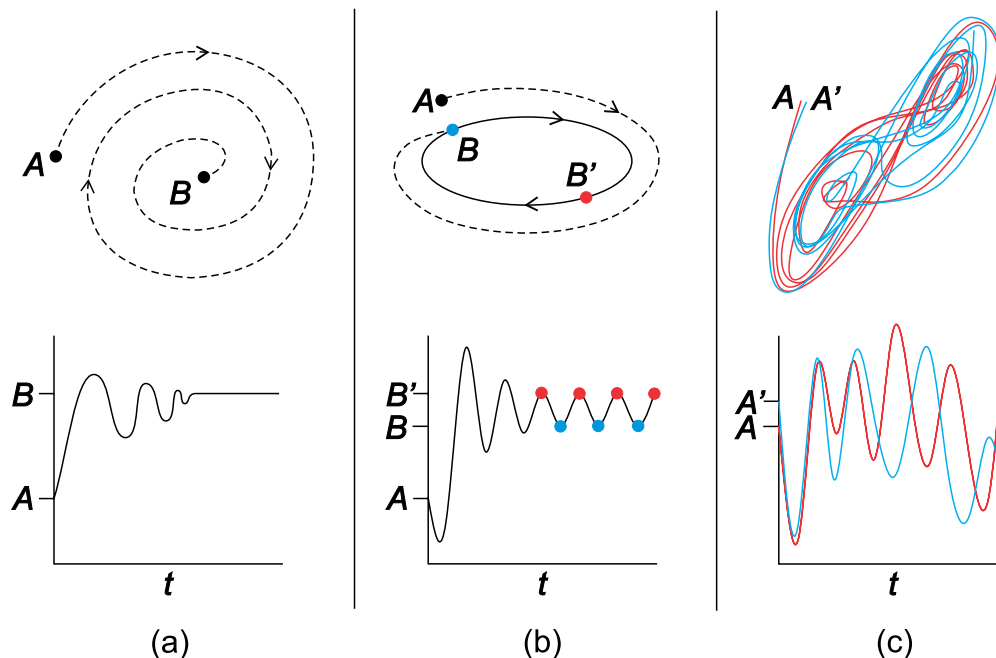


Figura 2: Três momentos da evolução de um sistema dinâmico. Na parte de cima, representações típicas de espaços de fase, simplificadas. Abaixo, representações aproximadamente equivalentes em coordenadas cartesianas. a) *ponto fixo atrator*: o sistema, partindo de um estado qualquer A, espontaneamente caminha em direção ao estado B, em equilíbrio; b) *ciclo limite*: a partir do estado A, o sistema caminha em direção a um regime de oscilações periódicas entre os estados B e B'; e c) *atrator estranho*: as oscilações não-periódicas mantêm o sistema num regime caótico, longe do equilíbrio e hipersensível às condições iniciais – os estados próximos A e A', representados por cores diferentes, divergem rapidamente, à medida que a dinâmica prossegue. Os eixos não estão em escala e a diferença entre B e B' é muito maior que a diferença entre A e A'.

Surge um novo paradigma, batizado como caos por Jim Yorke [1941-], um matemático aplicado da Universidade de Maryland. O que agora chamamos de caos é uma evolução temporal com dependência hipersensível às condições iniciais. O movimento sobre um atrator estranho é, portanto, caótico. Fala-se também de ruído determinista quando se observam oscilações irregulares de aparência aleatória, mas que são produzidas por um mecanismo determinista. Nos fenômenos caóticos, a ordem determinista cria, portanto, a desordem do acaso (1993, p. 93, grifo do autor).

Aos poucos, foram sendo propostos modelos matemáticos capazes de explicar a sucessão de bifurcações – de estados estacionários, passando por oscilações periódicas, até o caos. Esses modelos, estudados por Mitchell Feigenbaum (1944-2019), Robert May (1936-2020) e o próprio Yorke, entre outros, mostram como a variação de um único parâmetro do sistema pode levá-lo a bifurcar, com o regime oscilatório atravessando períodos múltiplos de 2 (4, 8, 16...) até alcançar um estado de oscilações não-periódicas, caótico.

São modelos tão elementares quanto a chamada equação logística, na forma $x_{n+1} = rx_n(1 - x_n)$. Nessa simples equação quadrática discreta, o valor de cada variável x_{n+1} depende de um valor anterior x_n . Trata-se, portanto, de uma dinâmica

Aos poucos, foram sendo propostos modelos matemáticos capazes de explicar a sucessão de bifurcações – de estados estacionários, passando por oscilações periódicas, até o caos.

retroalimentada. Observou-se que o incremento do parâmetro r leva a sucessivas bifurcações, dado um valor de partida para x_n :

- se $0 < r \leq 1$, $x \rightarrow 0$;
- se $1 < r < 3$, x converge para um único valor (ponto fixo atrator);
- se $3 \leq r < 1 + \sqrt{6}$ ($\approx 3,45$), x oscila entre dois valores;
- se $1 + \sqrt{6} \leq r < 3,57$ (aproximadamente), ocorrem sucessivas duplicações de período a cada incremento em r , e cada vez mais rapidamente;
- se $r \geq 3,57$ (aproximadamente), as oscilações são caóticas. (Ao leitor, fica o exercício de verificar, aqui, a hipersensibilidade às condições iniciais).

Curiosamente, o incremento de r , daí em diante, pode conduzir a oscilações de período múltiplo de 3, 5, 7... – janelas de ordem ou ilhas de estabilidade que, repentinamente, podem ceder novamente ao caos. Ainda, é possível demonstrar que um diagrama representando os valores de $x_{n \rightarrow \infty}$, em função de r , possui auto-similaridade, quer dizer, propriedades fractais.

O estudo de modelos com essa forma foi, aos poucos, se trasladando da hidrodinâmica para outras áreas. De fato, a equação

logística é adequada para estudos ecológicos sobre relações entre presas e predadores, podendo ser aplicada em diversos outros casos. Há de se perguntar, assim, se é possível falar de tais modelos no âmbito químico.

Quadro 1: características do empreendimento científico, em seus diferentes paradigmas, da Antiguidade às revoluções científicas da física moderna.

Período	Campo	Conceitos	Anomalia ou desafio	Ferramentas matemáticas	Tema
Antiguidade a Idade Média	filosofia da natureza	cosmos, Ser, movimento (mudança), origem/essência	paradoxos lógicos, movimento retrógrado	lógica, aritmética, álgebra, geometria euclidiana	ordem (comunidade jurídica, equilibrada e bela)
Idade Moderna	mecânica	Universo, movimento (deslocamento), órbita, experimento, predição/control	problema dos três corpos	cálculo infinitesimal, geometria analítica	ordem (equilíbrio mecânico, estático)
transição para a Idade Contemporânea	termodinâmica	máquina, movimento (atômico/molecular), estado, calor, energia, conservação, entropia	evolução num universo tendente à desordem	diferenciais de função de estado, séries	ordem (em resistência à dissipação entrópica)
Idade Contemporânea	física moderna	descontinuidade, orbital, quantização, probabilidade	paradoxos quânticos e relativísticos	operadores, matrizes, geometria não euclidiana	ordem (espaço-temporal probabilística)

A resposta é afirmativa. O próprio Ruelle, tendo conhecimento de um artigo de Pye e Chance (1966) sobre reações oscilantes de origem biológica, vislumbrou a hipótese de que as oscilações químicas pudessem se dirigir à turbulência. No entanto, suas ideias foram recebidas com frieza – o que ilustra, eloquentemente, a resistência da comunidade científica em lidar com temas e fenômenos afins a um novo paradigma:

[...] fui à Filadélfia ver o professor Chance e um grupo de seus colaboradores, e lhes expliquei ser possível observar oscilações químicas não-periódicas, ou “turbulentas”, tanto quanto oscilações periódicas. Infelizmente, o “perito matemático” do grupo deu uma opinião negativa e Chance se desinteressou de minha ideia. Um pouco mais tarde, tive oportunidade de explicar minhas ideias a Pye, que deu mostras de maior compreensão. Mas ele me explicou que, se estudasse uma reação química e obtivesse um resultado “turbulento” e não-periódico, consideraria fracassada a experiência e jogaria seu registro no lixo (Ruelle, 1993, p. 96-97).

Anos depois, o próprio Ruelle publicaria um artigo sobre o tema, conjecturando que uma dinâmica caótica, nos sistemas químicos de interesse biológico, poderia ter grande significado fisiológico, ou mesmo patológico (Ruelle, 1973). De fato, mais tarde, não só as reações caóticas foram observadas (Roux *et al.*, 1980), como deram ensejo à “primeira reconstrução explícita de um atrator estranho” (Ruelle, 1993, p. 97). Na segunda parte desta publicação, analisaremos tais regimes oscilatórios e suas consequências para além da química.

Como considerações provisórias, ressaltamos que, nesta primeira parte, buscamos mostrar que o tema da desordem

– e, conseqüentemente, da passagem do tempo, abarcando comportamentos não apenas aperiódicos, como inovadores – é passível de ser incorporado à ciência sem que ela abdique de seu compromisso com a exatidão e a objetividade. Mesmo a equação logística, cujas duplicações de período constituem uma “rota para o caos”, não deve ser encarada para além do que ela própria se mostra ser: um modelo que, se não realiza o determinismo laplaciano, ao menos favorece um diálogo mais profícuo entre homem e natureza.

Um resumo diagramático de nossa exposição, até o desenvolvimento da física moderna, é apresentado no Quadro 1, que será retomado e complementado na próxima publicação.

Nota

1. O capítulo “Leonardo da Vinci 500 anos depois”, na obra de Koyré (1991), discorre sobre as contribuições do italiano para a história da ciência e da tecnologia. Infelizmente, não aborda os estudos de Leonardo sobre a turbulência.

Agradecimentos

À Fapesp (processo 2016/01817-9) e ao CNPq (processo 405235/2018-6). Este artigo é dedicado à memória do professor Ernesto Rafael Gonzalez (1938-2020), quem apresentou-nos os conceitos aqui abordados.

Rafael Cava Mori (rafael.mori@ufabc.edu.br), bacharel e licenciado em Química, mestre e doutor em Físico-Química pela Universidade de São Paulo. É docente do Centro de Ciências Naturais e Humanas, da Universidade Federal do ABC. Santo André, SP – BR. **Raphael Nagao** (nagao@unicamp.br), bacharel em Química, mestre e doutor em Físico-Química pela Universidade de São Paulo. É docente do Instituto de Química, da Univesidade Estadual de Campinas. Campinas, SP – BR.

Referências

BENSAUDE-VINCENT, B.; STENGERS, I. *História da química*. Tradução de Raquel Gouveia. Lisboa: Instituto Piaget, 1992.

CHALMERS, A. F. *O que é ciência afinal?* Tradução de Raul Filker. São Paulo: Brasiliense, 1993.

JAEGER, W. *Paidéia: a formação do homem grego*. Tradução de Artur M. Parreira. 3. ed. São Paulo: Martins Fontes, 1994.

JARONIEC, M.; GILPIN, R. K.; CHOMA, J. Correlation between microporosity and fractal dimension of active carbons. *Carbon*, New York, v. 31, n. 2, p. 325-331, 1993.

KOYRÉ, A. *Estudos de história do pensamento científico*. Tradução de Marcio Ramalho. 2. ed. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 1991.

KUHN, T. S. *A estrutura das revoluções científicas*. Tradução de Beatriz Vianna Boeira e Nelson Boeira. 1. reimpr. da 6. ed. São Paulo: Perspectiva, 2007.

LANDAU, L. D. On the problem of turbulence (in Russian). *Doklady Akademii Nauk Armjanskoj SSR*, Erivan, v. 44, p. 339-342, 1944.

LORENZ, E. N. The predictability of hydrodynamic flow. *Transactions of the New York Academy of Sciences*, New York, v. 25, n. 4, p. 409-432, 1963.

MANDELBROT, B. B. *The fractal geometry of nature*. New York: W. H. Freeman & Company, c1983.

PFEIFER, P.; WELZ, U.; WIPPERMANN, H. Fractal surface

dimension of proteins: Lysozyme. *Chemical Physics Letters*, Amsterdam, v. 113, n. 6, p. 535-540, 1985.

PYE, K.; CHANCE, B. Sustained sinusoidal oscillations of reduced pyridine nucleotides in cell-free extracts of *Saccharomyces calbergensis*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Washington, v. 55, p. 888-894, 1966.

ROUX, J. C.; ROSSI, A.; BACHELART, S.; VIDAL, C. Representation of a strange attractor from an experimental study of chemical turbulence. *Physics Letters A*, Amsterdam, v. 77, p. 391-393, 1980.

RUELLE, D. *Acaso e caos*. Tradução de Roberto Leal Ferreira. São Paulo: Unesp, 1993.

RUELLE, D. Some comments on chemical oscillations. *Transactions of the New York Academy of Sciences*, v. 35, n. 1, p. 66-71, 1973.

RUELLE, D.; TAKENS, F. On the nature of turbulence. *Communications in Mathematical Physics*, Berlin, v. 20, p. 167, 1971.

Para saber mais

GLEICK, J. *Caos: a criação de uma nova ciência*. Tradução de Waltensir Dutra. 17. ed. Rio de Janeiro: Campus-Elsevier, 2008.

STEWART, I. *Será que Deus joga dados?: a nova matemática do caos*. Tradução de Maria Luíza X. de A. Borges. 2. ed. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2011.

Abstract: *From order to chaos: a reorientation of sciences and chemistry.* In the pairs of subjects stability/instability, determination/indetermination, predictability/unpredictability, recurrence/innovation and order/chaos, the physical sciences have traditionally focused on the former terms of each pair. However, mainly from the 20th century onwards, three scientific revolutions contributed to a thematic rearrangement. With the advent of the chaos paradigm, in the second half of that century – thanks to studies on meteorology, fractal geometry and turbulence –, research of nature began to increasingly consider the importance of the latter terms. It would not be long before these new subjects (instability, indetermination, unpredictability, innovation and, in a word, chaos) would be admitted also in chemistry.

Keywords: paradigm, chaos, oscillating reactions



Mulheres na Ciência para Crianças: um Relato de Sala de Aula

Gizelle Inacio Almerindo, Anelise Ehrhardt, Patrícia F. Scherer Costódio, Tainara Fátima de Bona e Katlyn Thaís Nalepa

O Projeto de Extensão “Química Social”, com o objetivo de explorar o Dia Internacional das Mulheres, no contexto da Ciência, realizou a oficina temática Mulheres na Ciência, visando identificar as concepções das crianças sobre o tema. Na ocasião, o percurso metodológico de 2h foi realizado com crianças na faixa etária de 9 a 12 anos. Na metodologia de percepção da mulher na Ciência, destacou-se a descoberta feita por Marie Curie da fluorescência dos objetos. Em seguida, foram expostos diferentes objetos os quais homens e mulheres podem utilizar no dia a dia e observou-se que os que as crianças menos relacionaram às mulheres foram os jornais, os óculos de proteção e os jalecos. Também foi aplicado um questionário com perguntas relacionadas à educação e ao fato de conhecerem ou não um cientista, em que 93% das crianças responderam que as meninas não podiam ir à escola antigamente, e quase 50% das crianças responderam que não conheciam cientistas, exceto os de desenhos animados. Por fim, com o percurso metodológico, facilmente replicável, contribuiu-se na melhoria da concepção das crianças sobre uma temática tão emergente.

► democratização da química, mulheres cientistas, objetivos do desenvolvimento sustentável (ODS) ◀

Recebido em 08/04/2020, aceito em 08/07/2020

344

A importância dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) pode ser reconhecida ainda na infância. De fato, uma parceria entre a Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO) e o governo brasileiro resultou no desenvolvimento de oito vídeos infantis que visam auxiliar os educadores do Ensino Fundamental a explicar nove dos dezessete ODS, despertando o interesse das crianças pela temática (ONU Brasil, 2017).

A participação plena e efetiva das mulheres e a igualdade de oportunidades para a liderança é abordada nos ODS #5, que tem por título “Alcançar a igualdade de gênero e empoderar todas as mulheres e meninas”. Isso tem despertado o interesse da comunidade científica, a qual quer tornar mais significativa a presença e o reconhecimento das mulheres na área das Ciências. Desde

1901, apenas 3% dos prêmios Nobel de Ciência foram para mulheres, não por falta de candidatas, mas por falta de reconhecimento (Ansede, 2016; ONU Brasil, 2017).

Historicamente, de acordo com Ignatofsky (2017), a contribuição das mulheres cientistas no desenvolvimento da

humanidade foi muito importante, mas tem sido explicitada de forma muito tímida, quando são introduzidos os temas de Ciências nas escolas. A História mostra que a restrição ao acesso das mulheres à educação não era incomum e que frequentemente não tinham permissões de praticar a Ciência,

aliás, esperava-se apenas que elas fossem criadas para ser boas esposas e mães, enquanto os homens tinham o livre arbítrio para estudar (Ignatofsky, 2017). Atualmente, não há uma desigualdade ao acesso escolar entre meninas e meninos, porém - na vida adulta - segundo Bolzani (2019), há ainda muitos desafios no que tange à realização profissional das mulheres nas atividades científicas, mas também existem “avanços concretos obtidos nas últimas décadas”.

A participação plena e efetiva das mulheres e a igualdade de oportunidades para a liderança é abordada nos ODS #5, que tem por título “Alcançar a igualdade de gênero e empoderar todas as mulheres e meninas”.

A seção “Relatos de Sala de Aula” socializa experiências e construções vivenciadas nas aulas de Química ou a elas relacionadas.

Um estudo recente de Conceição e Teixeira (2018) demonstra que a presença feminina no contexto internacional reforça uma crescente inserção das mulheres na Ciência. Ocorrem ainda, entretanto, “barreiras a serem transpostas pelas mulheres na luta para a conquista do seu espaço científico” (p. 14). Ao se analisarem os avanços na área da tecnologia, alguns nomes familiares, como Marie Curie, se fazem constantemente presentes, mas há outras inúmeras mulheres “desde a Grécia Antiga até os dias de hoje, que, diante de um ‘Não’, responderam ‘Tente me impedir’” (Ignatofsky, p. 7, 2017).

Mais especificamente, há muitas mulheres brasileiras que fizeram contribuições incríveis, porém pouco lembradas, inclusive, na história da ciência brasileira (CNPq, s. d.). Entretanto, procurando dar maior visibilidade a respeito da contribuição de mulheres brasileiras na Ciência, existe o trabalho de Melo e Rodrigues (2006), intitulado *Pioneiras da Ciência no Brasil*. Dentre as pioneiras, podemos destacar Nise da Silveira, Ruth Nussenzweig e Celina Turchi, sendo esta última epidemiologista pesquisadora da FIOCRUZ, quem descobriu a relação entre a microcefalia e o vírus Zika, um tema análogo que, pelas piores razões, perturba-nos nos dias de hoje.

Nesse contexto, algumas ações já vêm ocorrendo no Brasil e no mundo, como o “Prêmio L’Oréal – UNESCO para Mulheres na Ciência” que visa reconhecer o potencial de cientistas no desenvolvimento de pesquisas que contribuam para o mundo da Ciência (Prêmio, 2018).

O reconhecimento de mulheres cientistas pode ser aliado à contextualização do tema sobre Mulheres na Ciência para crianças, o qual apresenta dados escassos na literatura, mas tanto a ONU – Organização das Nações Unidas (ONU Brasil), quanto as associações científicas têm direcionado esforços para a promoção, o estímulo e o apoio em iniciativas que diminuam as desigualdades entre homens e mulheres (Bolzani, 2019). Uma excelente contribuição foi o reforço na temática Meninas na Ciência em 2019, visto que 370 escolas públicas brasileiras da Educação Básica têm sido beneficiadas com o apoio do CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, 2019).

Há poucos estudos na literatura relacionados a estereótipos no mundo da Ciência com uma abordagem ao público infantil, mas tem-se a contribuição do Teste DAST (*Draw a Scientist Test*), proposto por Chambers (1983). Os desenhos de figuras de cientistas feitos pelas crianças e adolescentes, ao longo de cinco décadas, mostram uma ideia masculinizada da Ciência, apesar de, na atualidade, já haver acréscimo no número de desenhos referentes às mulheres (Miller, 2018).

Algumas das ações relacionadas à temática meninas e mulheres na Ciência podem ter início ainda na infância,

considerando tanto a importância da história na educação científica, quanto a experimentação para crianças, meninos e meninas. A contextualização e a experimentação podem potencializar a aprendizagem dos estudantes em diversas áreas (Giordan, 1999; Lima, 2000). Mais precisamente, segundo Giordan (1999), “Tomar a experimentação como parte de um processo pleno de investigação é uma necessidade, reconhecida entre aqueles que pensam e fazem o ensino de ciências, pois a formação do pensamento e das atitudes do sujeito deve se dar preferencialmente nos entremeios de atividades investigativas” (p. 44). Ademais, a História e a Filosofia da Ciência são de significativa importância na educação científica (Paixão e Cachapuz, 2003; Freire Júnior, 2002; Wang e Marsh, 2002; Solbes e Travers, 1996).

O ensino de Ciências para crianças é outro aspecto relevante, conforme Cachapuz (2015), “o estudo das ciências/química é a melhor forma de conhecermos o mundo natural e deve começar desde cedo” (p. 126). Ainda, segundo Cachapuz (2015), “há níveis intermediários de compreensão, permitindo ajudar os mais jovens a problematizar o senso comum e ter um olhar menos ingênuo sobre o mundo natural” (p. 125). Portanto, uma experimentação adequada

pode despertar o interesse científico desde a infância, refletindo em avaliações mais positivas de estudantes brasileiros e, consequentemente, aumentando a probabilidade de meninas seguirem carreiras na área das Ciências. Entretanto, sabe-se pouco sobre as estratégias usadas, e o rigor científico adequado para crianças (Cachapuz, 2015).

No contexto de estratégias para crianças, da importância da história na educação científica e do

reconhecimento de mulheres cientistas perante o aspecto do ODS #5, realizou-se a oficina temática Mulheres na Ciência, em proximidade à data do Dia Internacional da Mulher (08 de março), na qual procurou-se, mais especificamente, o objetivo de identificar as concepções das crianças sobre as Mulheres na Ciência, assim como, também, propiciando e introduzindo o reconhecimento sobre a temática. Ainda, quanto ao ODS #5, o presente trabalho pretende promover uma melhor compreensão de crianças do Ensino Fundamental sobre o papel das mulheres na Ciência. Esta oficina foi realizada pela UNIVALI, no âmbito do Projeto de Extensão “Química Social”, do curso de Engenharia Química, oferecida dentro de uma escola municipal no contraturno (Centro Municipal de Educação em Tempo Integral - CEDIN) e cujo público alvo foi de crianças entre 9 a 12 anos.

Metodologia

A oficina temática, intitulada Mulheres Cientistas, foi realizada no Centro Municipal de Educação em Tempo

O reconhecimento de mulheres cientistas pode ser aliado à contextualização do tema sobre Mulheres na Ciência para crianças, o qual apresenta dados escassos na literatura, mas tanto a ONU – Organização das Nações Unidas (ONU Brasil), quanto as associações científicas têm direcionado esforços para a promoção, o estímulo e o apoio em iniciativas que diminuam as desigualdades entre homens e mulheres (Bolzani, 2019)

Integral Verde Vale. O presente trabalho é de natureza aplicada com abordagem qualitativa, cuja duração foi de duas horas-aulas. Um total de quinze crianças, sendo 7 meninas, na faixa etária de 9 a 12 anos, três extensionistas e duas professoras da Universidade de Vale do Itajaí (UNIVALI) estavam presentes ao longo da atividade. A mesma será apresentada a seguir em duas fases, sendo: (i) identificação de ideias e (ii) desenvolvimento.

Identificação de ideias

As ideias das crianças quanto a conhecer cientistas (masculinos ou femininos), o acesso das meninas à escola em relação aos dias de hoje, e o que é comemorado no dia 8 de março foram identificadas mais especificamente, com as respostas dadas a alguns questionamentos. Salienta-se que as respostas não foram diferenciadas por gênero. Uma roda de conversa foi realizada para estimular a curiosidade das crianças acerca do tema com os seguintes questionamentos: “Vocês conhecem alguma cientista?”; “O que se comemora no dia oito de março?”; “Vocês acham que antigamente as meninas podiam ir à escola como hoje em dia?”. Desta maneira, foi introduzida a questão da comemoração do dia oito de março, mencionando-se que, em homenagem à data, o tema do dia seria sobre as mulheres que desbravaram, inovaram, trabalharam e ajudaram em várias descobertas na Ciência, ou seja, as cientistas.

Desenvolvimento

Imagens de cinco mulheres foram mostradas às crianças: Maria Mayer, Mária Telkes, Cecilia Payne-Gaposchkin, Mary Anning e Marie Curie, logo em seguida, foi dito às mesmas que elas são conhecidas como cientistas, pois fizeram grandes descobertas científicas (Farias, 2001). As imagens apresentadas foram relacionadas às descobertas realizadas pelas mesmas, de forma breve e simples, tais como, menor partícula da natureza, geladeira, composição das estrelas, fóssil de réptil marinho e raios-x. No decorrer do encontro, contaram-se mais

detalhes sobre a história e descobertas feitas por Marie Curie, juntamente com Pierre Curie (seu esposo), ressaltando a importância da contribuição da cientista no trabalho que Pierre Curie levou às classes de cientistas da época.

Em continuidade, indagou-se as crianças sobre o Prêmio Nobel, se elas sabiam o que significava. Perguntas relacionadas também aos exames médicos realizados no dia a dia foram feitas, como, por exemplo: “Alguém já quebrou algum osso?”. Foi, então, abordada a importância de exames de raios-x, mediante descoberta do casal Curie (Lima *et al.*, 2011). A doença da Marie Curie foi apresentada, enfatizando às crianças a importância do uso de equipamentos de proteção individual (EPI).

Por seguinte, perguntou-se se conheciam algo que brilhava, porém que não fizesse mal à saúde, como os elementos radioativos usados por Marie Curie. Tal atividade se articula com a vida profissional de Marie Curie, pois é de conhecimento que o casal Curie isolou o rádio (RaCl_2), o qual é um cristal que brilha no escuro (Afonso, 2010). Então, enfatizou-se que Marie Curie não sabia que os elementos eram prejudiciais, mas que, na atualidade, deve-se sempre se proteger diante do desconhecido (Mello-da-Silva e Fruchtingarten, 2005). Foram entregues às crianças folhas em branco e canetas tipo marca-texto, sendo em seguida solicitado que escrevessem o nome de uma mulher especial para cada um deles. Uma lâmpada de luz negra foi utilizada para que a palavra “brilhasse”, ou seja, para que ocorresse fluorescência dos nomes escritos na presença de radiação ultravioleta, comumente chamada de luz negra (Elias *et al.*, 2017). Ainda, em um béquer com álcool e água foi adicionada a tinta de uma das canetas marca-texto e, então, submetidos à luz negra.

Por fim, tendo em vista aprofundar eventuais estereótipos sobre as mulheres, as crianças tinham diversos objetos sobre uma mesa, os quais deveriam relacionar ou não com as mulheres, tais como: calculadora, panela, bolsa, jaleco, óculos de proteção, bolsa, livro, esmalte, jornal, vassoura (Figura 1).

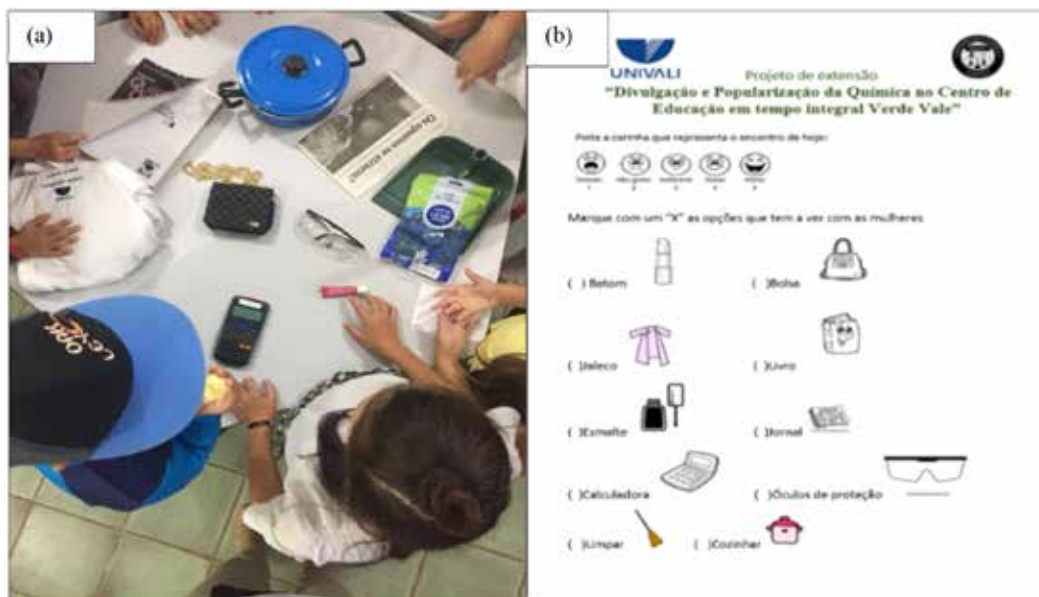


Figura 1: (a) Correlação entre os Objetos e as Mulheres na Ciência e (b) Questionário aos alunos.

Resultados e Discussão

A correlação entre os objetos e as Mulheres na Ciência foi relacionada com o dia a dia dos alunos em seu contato com o Universo Feminino (batom, bolsa, esmalte), artigos de beleza comumente vinculados às mulheres.

A concepção das crianças quanto a conhecer cientistas (masculinos ou femininos), o acesso das meninas à escola em relação aos dias de hoje, e o que é comemorado no dia 8 de março foram verificados mais especificamente, com as respostas dadas a alguns questionamentos feitos na Etapa 1, e que são apresentadas na Figura 2. Mais da metade dos alunos (53%) relataram que conheciam cientistas. Todavia, ocorreram nas respostas menções ao “Cientista Maluco” e “Bob, o Cientista”. Apenas um cientista amplamente conhecido (Albert Einstein) foi mencionado, evidenciando não somente um desconhecimento sobre mulheres na Ciência, mas também sobre cientistas, independentemente de estereótipos. Ainda, uma das professoras do projeto de extensão teve o nome citado em 50% das respostas, mostrando uma relação destas com o “Ensino, Pesquisa e Extensão”, a qual é devida às diferentes oficinas com experimentação, como a “Química do Chocolate”, a “Química das Argilas”, a “Alquimia e a Química”- já oferecidas pelo projeto desde o segundo semestre de 2017 (Almerindo *et al.*, 2018; Almerindo *et al.*, 2019; Almerindo, Ehrhardt e Costódio, 2019).

Um estudo de Cavalli e Meghioratti, realizado em 2018, porém com alunos em idade superior ao do presente trabalho, oitavo ano do Ensino Fundamental, utilizou o Teste DAST (*Draw a Scientist Test*), proposto por Chambers (1983), em que é solicitado que o aluno desenhe uma pessoa cientista, explicando o desenho. Segundo os autores, os desenhos mostraram uma ideia masculinizada da ciência. Entretanto,

apesar de ainda haver um estereótipo de cientista, na atualidade, há um aumento no número de desenhos referentes às mulheres. Por exemplo, um estudo realizado com crianças, nos Estados Unidos, relacionado a “desenhar um cientista”, o qual avaliou 20.860 figuras desenhadas por estudantes de 5 a 18 anos, durante cinco décadas, mostrou que, em 2016, houve um aumento de 34% em esboços de figuras femininas. Nas décadas de 1960 e 1970, menos de 1% dos estudantes desenharam mulheres. (Langin, 2018).

Um outro estudo, que mostra resultados promissores sobre os estereótipos de gênero na ciência, foi a oficina Brincando e Construindo a Igualdade de Gênero, realizada no Festival WoW - Mulheres no Mundo, em 2018, no qual crianças também desenharam figuras de cientistas, sendo que “entre diálogos, trocas e brincadeiras”, desconstruíram-se, “aos poucos, as percepções que ainda afetam nossas meninas e nossa sociedade” (Moraes, Paes e Falaschi 2019). Os resultados obtidos mostraram, segundo os autores, um futuro promissor no que tange à temática.

Na Figura 2, também é apresentado que 93% das crianças achavam que as meninas não podiam ir à escola antigamente, sendo que não souberam responder o porquê, mostrando que não sabem o real motivo, possivelmente, por desconhecimento do preconceito ligado à mulher. Uma aluna comentou que a mãe trabalha desde os 7 anos de idade e que iria começar uma faculdade somente este ano. Uma pequena fração (7%) não soube responder este questionamento, provavelmente por não ter tido contato com o tema até então. Mais da metade da turma (60%) sabia o significado do dia 8 de março, pois este é comemorado amplamente em todos os níveis da sociedade, apesar de não remeter ao tema das mulheres na ciência, especificamente.

Em relação às cientistas famosas, ocorreu que a maioria

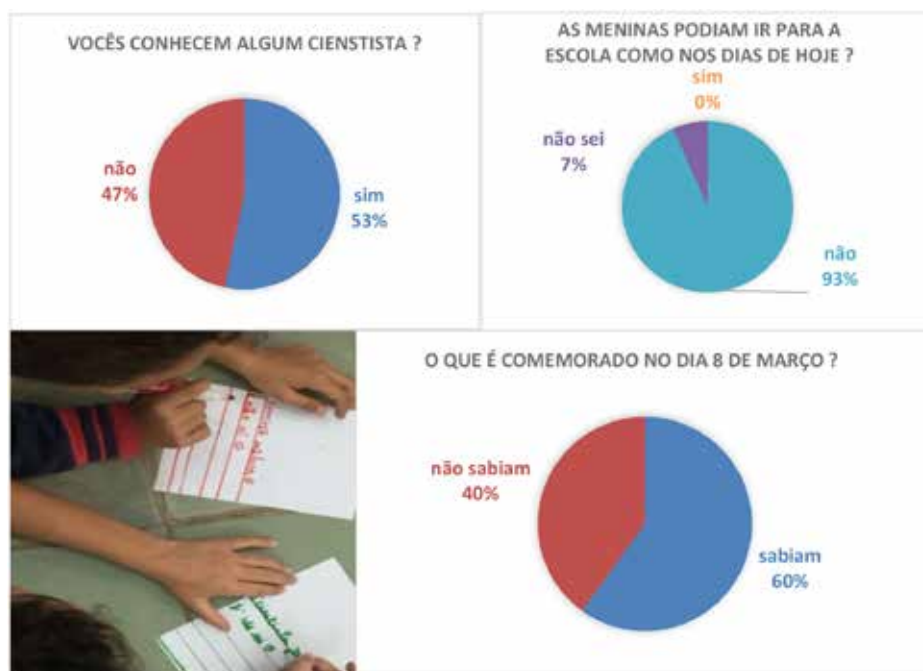


Figura 2: Respostas sobre cientistas famosos, liberdade de ir-e-vir das meninas para frequentar a escola e a data comemorativa de 8 de março.

dos alunos demonstrou interesse pelas imagens (Figura 3). O prêmio Nobel foi mencionado como desconhecido pelas crianças.



Figura 3: O despertar científico, por meio de fotos, histórias e fatos de cientistas famosas e a ilustração/anotação de fatos pelas crianças.

Um momento de percepção sobre o raio-X (estudos de Marie Curie) foi feito com o auxílio de radiografias que foram trazidas pelas extensionistas. Ao se depararem com estas radiografias, cinco crianças relataram que já haviam quebrado ossos, sendo que uma delas descobriu, com o raios-x, que não havia “quebrado realmente o tornozelo”. Uma aluna perguntou do que é feito o osso e a resposta foi dada pela colega que respondeu que era feito com cálcio. Paralelamente, foi abordado o assunto de segurança perante algumas ações e/ou atividades profissionais que envolvam o raio-X. Ao serem questionadas sobre os equipamentos de proteção individuais (EPI) necessários, devido à abordagem sobre o motivo do falecimento da Marie Curie pela exposição à radiação, as crianças mencionaram empolgadamente: óculos, jalecos e máscaras de gás. Este desdobramento do tema foi ao encontro de algumas palavras de Freire (1974), as quais descrevem que temas geradores são aqueles em que há desdobramentos em outros, inferindo em novas atividades. Tanto o elemento químico cálcio e EPI mostraram a importância da alfabetização científica, visto que a equipe de extensão tem atuado com várias oficinas com as mesmas crianças, cujos elementos químicos e EPI têm sido abordado na experimentação com chocolate (Almerindo *et al.*, 2018), argilas (Almerindo *et al.*, 2019), assim como, química e alquimia (Almerindo *et al.*, 2019).

Na fase 2 – Desenvolvimento (Figura 4), destacam-se os nomes de familiares que brilharam, resultando em muita empolgação e alegria a cada nome que brilhava. Segundo Fonseca (2016), “As emoções são uma fonte essencial da aprendizagem, na medida em que as pessoas (crianças, adolescentes, adultos e idosos) procuram atividades e ocupações que fazem com que elas se sintam bem, e tendem, pelo contrário, a evitar atividades ou situações em que se sintam mal” (p. 366).

No experimento com o béquer e a tinta do marca-texto, muitos ficaram surpresos, apenas uma aluna falou que achou sem graça, porque ela já o tinha visto. Entretanto, ela foi a



Figura 4: Experimentos com luz negra.

mais curiosa para saber o que aconteceria, se colocassem mais álcool e como a cor poderia voltar ao normal, enfatizando que um experimento simples pode gerar o despertar científico. De fato, Silva e Cavalcante (2009) mencionam a importância da curiosidade científica no processo de aprendizagem, pois infere em maior interesse dos alunos na obtenção de novos saberes.

Em relação à percepção dos alunos com relação aos diversos objetos sobre uma mesa, os quais as crianças deveriam relacionar ou não com as mulheres, ocorreu que uma das crianças disse a uma extensionista “você assinalaria todos, porque as mulheres podem fazer o que elas quiserem!”, palavras estas que emocionaram muito a equipe de extensão. O jornal, os óculos de proteção e o jaleco foram os menos relacionados com mulheres (Figura 5). A calculadora era algo desconhecido para um aluno, despertando muita curiosidade. Como já observado em outros encontros, houve muitas solicitações para a possibilidade de uso dos óculos e dos jalecos. Uma das crianças questionou uma extensionista se seria cientista no futuro.

A concepção das crianças sobre a contribuição de mulheres cientistas na história foi verificada como inexistente, pois apenas um nome masculino foi lembrado, mostrando inclusive um desconhecimento sobre a Ciência em geral. Entretanto, a presença de uma das professoras na equipe de extensão resultou na associação da palavra cientista (50%), possivelmente devido aos esforços direcionados pela equipe de extensão que atuou, durante os seis encontros do projeto, no Centro de Educação em Tempo Integral – Verde Vale. As imagens de cientistas famosas despertaram muita curiosidade no que tange a suas descobertas, inferindo na possibilidade de falar mais sobre Ciência e mulheres na Ciência para as crianças, ou seja, promovendo a emergente temática, já citada em todo o artigo. A atividade, bastante simples, auxiliou significativamente no despertar científico.

Conclusão

A oficina temática Mulheres na Ciência permitiu identificar a concepção das crianças quanto ao tema, sendo o nome masculino de um cientista famoso mencionado por elas. Entretanto, observou-se não somente um desconhecimento a respeito de mulheres na Ciência, mas também

ITENS RELACIONADOS À MULHER

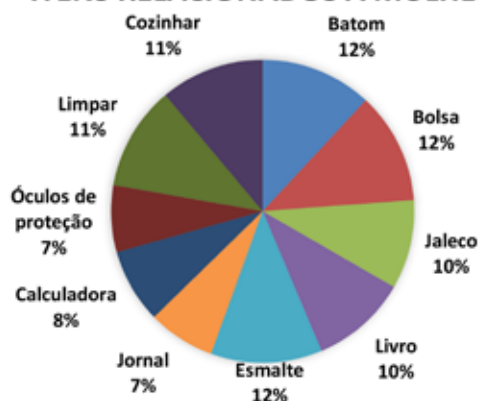


Figura 5: Percepção dos alunos com relação aos itens relacionados às Mulheres na Ciência.

sobre cientistas, independentemente de estereótipos. O fato de apresentar o tema com uma atividade lúdica fez com que os alunos tivessem conhecimento sobre a importância histórica das mulheres na Ciência, despertando significativamente a curiosidade, ao observarem, simplesmente, algumas imagens. Acredita-se que as atividades realizadas, as quais foram simples e de fácil execução em sala de aula, contribuíram para a concepção das crianças sobre uma temática tão emergente. Ainda, o presente relato de experiência contribui com os poucos dados da literatura referentes às estratégias para crianças. Mediante os resultados obtidos, verificou-se que são necessárias atividades que contemplem e divulguem os ODS #5, referentes aos Objetivos do Desenvolvimento

Sustentável, que visa “Alcançar a igualdade de gênero e empoderar todas as mulheres e meninas”. Sendo as mulheres a metade da população do planeta e que o progresso de qualidade e da humanidade depende da Ciência, como a autora Ignatofsky (2017) relata, “precisa-se inspirar a próxima geração”.

Agradecimentos

À Universidade do Vale do Itajaí pelo apoio técnico e financeiro, à Diretora Profa. Renata Gomes do CEDIN Verde Vale pelo incentivo e a Liliane Santos Queiroz pelas contribuições ortográficas.

Gizelle Inacio Almerindo (gizelle.almerindo@univali.br), doutora em Química pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), professora da Escola do Mar, Ciência e Tecnologia da Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI), e coordenadora do projeto de extensão “Química Social”. Itajaí - SC, BR. **Anelise Ehrhardt** (anelisee@gmail.com), doutora em Engenharia de Materiais pela University of Fukui, Province of Fukui, Japão, professora da Escola do Mar, Ciência e Tecnologia da Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI), e integrante do projeto de extensão “Química Social”. Itajaí - SC, BR. **Patrícia F. Scherer Costódio** (pscherer@univali.br), mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal Catarina de Santa (UFSC), professora da Escola do Mar, Ciência e Tecnologia na da Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI), coordenadora do curso de Engenharia Química e integrante do projeto de extensão “Química Social”. Itajaí - SC, BR. **Tainara Fátima de Bona** (tainaradebona@hotmail.com), acadêmica do curso de Engenharia Química da Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI) e integrante do projeto de extensão “Química Social”. Itajaí - SC, BR. **Katlyn Thaís Nalepa** (katlyn_th@hotmail.com), acadêmica do curso de Engenharia Química da Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI) e integrante do projeto de extensão “Química Social”. Itajaí - SC, BR.

Referências

- AFONSO, J. C. Rádio. *Química Nova na Escola*, v. 32, n. 1, p.58-59, 2010. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc32_1/12-EQ-4909.pdf. Acesso em mai. 2020.
- ALMERINDO, G. I. et al. Argilas, Cores e Elementos Químicos: Uma Abordagem Sobre o Dia Nacional da Conservação do Solo. Cataventos, Cruz Alta, v. 2, n. 11, p.1-10, 2019. Disponível em: <http://revistaeletronica.unicruz.edu.br/index.php/Cataventos/article/view/8208/2312>. Acesso em fev. 2020.
- ALMERINDO, G. I. et al. O Despertar do Interesse Científico com a Química do Chocolate. Cataventos, Cruz Alta, v. 2, n. 10, p.94-101, 2018. Disponível em: <http://revistaeletronica.unicruz.edu.br/index.php/Cataventos/article/view/6873/1736>. Acesso em fev. 2020.
- ALMERINDO, G. I.; EHRHARDT, A.; COSTÓDIO, P. F. S. Alquimia, Magia e Química: Um Relato de Experiência de um Projeto de Extensão. Caminho Aberto: Revista de Extensão do IFSC, p.77-84, 2019. Instituto Federal de Educação - Ciência e Tecnologia de Santa Catarina-IFSC. <http://dx.doi.org/10.35700/ca.2019.ano6n10.p77-84.2421>. Disponível em: <https://periodicos.ifsc.edu.br/index.php/caminhoaberto/article/view/2421>. Acesso em fev. 2020.
- ANSEDE, M. Homens ganharam 97% dos Nobel de ciência desde 1901. 2016. Disponível em: https://brasil.elpais.com/brasil/2016/10/14/ciencia/1476437077_380406.html. Acesso em fev. 2020.

BOLZANI, V. S. As mulheres na ciência e as expectativas para o século XXI. 2019. Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência. Disponível em: <http://portal.sbpnet.org.br/noticias/as-mulheres-na-ciencia-e-as-expectativas-para-o-seculo-xxi-3/>. Acesso em fev. 2020.

CACHAPUZ, A. F. Química Nova na Escola: um caso de sucesso. *Química Nova na Escola*, [s.l.], v. 2, n. 37, p.121-126, 2015. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc37_especial_2/04-EA-107-15.pdf. Acesso em fev. 2020.

CAVALLI, M. B. e MEGLHIORATTI, F. A. A participação da mulher na ciência: um estudo da visão de estudantes por meio do teste DAST. *ACTIO: Docência em Ciências*. v. 3, n. 3, p.86-107, 2018.

CHAMBERS, D. W. Stereotypic images of the scientist: The Draw-a Scientist Test. *Science Education*, v. 67, n. 2, p.255-265, 1983.

CONCEIÇÃO, J. M.; TEIXEIRA, M. R. F. Mulheres na Ciência: Um Estudo da Presença Feminina no Contexto Internacional. *Tear: Revista de Educação, Ciência e Tecnologia*, [s.l.], v. 7, n. 11, p.1-18, 2018. Instituto Federal de Educação - Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul. <http://dx.doi.org/10.35819/tear.v7.n1.a2710>. Disponível em: <https://doi.org/10.35819/tear.v7.n1.a2710>. Acesso em fev. 2020.

CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO (CNPq). *Pioneiras da Ciência no Brasil*. Disponível em <http://cnpq.br/pioneiras-da-ciencia-do-brasil>. Acesso em mai. 2020.

CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO (CNPQ). [2019]. *CNPq leva projeto de meninas nas ciências a mais de 300 escolas*.

Disponível em: http://www.cnpq.br/web/guest/noticiasviews/-/journal_content/56_INSTANCE_a6MO/10157/7045816. Acesso em mai. 2020.

EDUCAÇÃO, Carta. Brasil mantém últimas colocações no Pisa. 2016. Disponível em: www.cartaeducacao.com.br/reportagens/brasil-mantem-ultimas-colocacoes-no-pisa/. Acesso em fev. 2020.

ELIAS, J. A.; CARVALHO, A. C. e; MÓL, G. S. O Escorpião Fluorescente: Uma Proposta Interdisciplinar para o Ensino Médio. *Química Nova na Escola*, v. 3, n. 39, p.286-290, 2017. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc39_3/10-EEQ-60-16.pdf. Acesso em fev. 2020.

FARIAS, R. F. As Mulheres e o Prêmio Nobel de Química. *Química Nova na Escola*, p.28-30, 2001. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc14/v14a06.pdf>. Acesso em fev. 2020.

FONSECA, V. Importância das Emoções na Aprendizagem: Uma Abordagem Neuropsicopedagógica. *Revista Psicopedagogia*, São Paulo, v. 102, n. 33, p.365-384, 2016. Disponível em: <http://pepsic.bvsalud.org/pdf/psicoped/v33n102/14.pdf>. Acesso em fev. 2020.

FREIRE JÚNIOR, O. A relevância da filosofia e da história da ciência para o ensino de ciência. In: SILVA FILHO, W. J. (Org.). *Epistemologia e Ensino de Ciências*. Salvador: Arcádia, 2002. p. 13-30.

FREIRE, P. *Pedagogia do oprimido*. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1974.

GIORDAN, M. O Papel da experimentação no ensino de ciências. *Química Nova na Escola*, n. 10, p.43-49, 1999. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc10/pesquisa.pdf>. Acesso em fev. 2020.

IGNOTOFSKY, R. *As Cientistas: 50 mulheres que mudaram o mundo*. São Paulo: Blucher, 2017. 128 p.

LANGIN, K. *What does a scientist look like? children are drawing women more than ever before*. 2018. American Association for the Advancement of Science. Disponível em: <https://www.sciencemag.org/news/2018/03/what-does-scientist-look-children-are-drawing-women-more-ever?>. Acesso em fev. 2020.

LIMA, J. F. L. *et al.* A Contextualização no ensino de cinética química: velocidade de reação. *Química Nova na Escola*, n. 11, p.26-29, 2000. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc11/v11a06.pdf>. Acesso em fev. 2020.

LIMA, R. S.; PIMENTEL, L. C. F.; AFONSO, J. C. O Despertar da radioatividade ao alvorecer do século XX. *Química Nova na Escola*, v. 2, n. 33, p.93-99, 2011. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc33_2/04-HQ10509.pdf. Acesso em fev. 2020.

MELLO-DA-SILVA, C. A.; FRUCHTENGARTEN, L. Riscos Químicos Ambientais à Saúde da Criança. *Jornal de Pediatria*, v. 5, n. 81, p.205-211, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/jped/v81n50/v81n5Sa11.pdf>. Acesso em fev. 2020.

MELO, H. P. e RODRIGUES, L. M.C.S. *Pioneiras da Ciência no Brasil*. Rio de Janeiro: SBPC, 2006. 38 p. Disponível em: <http://cnpq.br/documents/10157/6c9d74dc-0ac8-4937-818d-e10d8828f261>. Acesso em mai. 2020.

MILLER, D. I.; NOLLA, K. M.; EAGLY, A. H.; UTTAL, D. H. The Development of Children's Gender-Science Stereotypes: A Meta-analysis of 5 Decades of U.S. Draw-A-Scientist Studies. *Child Development*, v. 89, n. 6, p. 1943–1955, 2018. Disponível em: <https://d-miller.github.io/assets/MillerDAST.pdf>. Acesso em mai. 2020.

MORAES, A. M.; PAES, B. e FALASCHI, R. L. Estereótipos de Gênero pelo Olhar das Crianças. *Revista Mulheres na Ciência*, p.31-33, 2019. Disponível em: https://www.britishcouncil.org/sites/default/files/d1_revista.pdf. Acesso em mai. 2020.

ONU BRASIL. Nações Unidas. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/>. Acesso em fev. 2020.

ONU BRASIL. UNESCO e governo brasileiro lançam vídeos para auxiliar educadores a falar sobre desenvolvimento sustentável. 2017. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc14/v14a06.pdf>. Acesso em fev. 2020.

PAIXÃO, F.; CACHAPUZ, A. Mudanças na Prática de Ensino da Química pela Formação dos Professores em História e Filosofia das Ciências. *Química Nova na Escola*, n. 18, p.1-6, 2003. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc18/A07.PDF>. Acesso em fev. 2020.

PRÊMIO Para Mulheres na Ciência. [2018]. Para Mulheres na Ciência. Disponível em: <https://www.paramulheresnaciencia.com.br>. Acesso em fev. 2020.

SILVA, P. B. e CAVALCANTE, P. S. Trabalhando a curiosidade científica na sala de aula de química: perspectivas e possibilidades de mudanças? *Enseñanza de las Ciencias*. Número Extra VIII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias. p. 2745-2749, 2009.

SOLBES, J.; TRAVER, M. J. La Utilización de la Historia de las Ciencias en la Enseñanza de la Física y la Química. *Enseñanza de Las Ciencias: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, v. 1, n. 14, p.103-112, 1996. Disponível em: <https://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/21438/93400>. Acesso em fev. 2020.

WANG, H. A.; MARSH, D. D. Science Instruction with a Humanistic Twist: Teachers' Perception and Practice in Using the History of Science in Their Classrooms. *Science and Education*, v. 11, n. 2, p.169-189, 2002. Springer Science and Business Media LLC. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1023%2FA%3A1014455918130>. Acesso em fev. 2020.

Abstract: *Women in science for children: a classroom report.* The “Química Social (Social Chemistry)” Extension Project, with the objective of exploring the International Women's Day, in the context of Science, held the thematic workshop Women in Science, aiming to identify the children's conceptions on the theme. At the time, the 2-hour methodological course was carried out with children aged 9 to 12 years. In the methodology of perception of women in science, Marie Curie's discovery of the fluorescence of objects. Then, different objects were exposed which men and women can use on a daily basis and it was observed that the objects that children least related to women were newspapers, goggles and lab coats. A questionnaire was also applied with questions related to education and whether or not they knew a scientist, in which 93% of children answered that girls could not go to school in the past, and almost 50% of children answered that they did not know scientists, except the cartoon ones. Finally, with the methodological path, easily replicable, it contributed to improving the conception of children on such an emerging theme.

Keywords: popularization of chemistry, women in science, sustainable development goals (SDG)

Determinação do teor de cloreto de sódio em arroz cozido: uma proposta para o ensino de química e o combate à hipertensão arterial

Andreza Duarte Memelli Mendonça, Wanny Tavares Nogueira Cabral, Andressa da Silva Antunes, Victor Gabriel de Paula Saide, Sheisi Fonseca Leite da Silva Rocha, Cristina Maria Barra e José Geraldo Rocha Junior

Este artigo relata atividades realizadas em sala de aula com o objetivo de ensinar, informar e conscientizar os estudantes do ensino médio sobre a relação entre o consumo excessivo de sal e a hipertensão arterial. Um experimento colorimétrico prático e rápido foi desenvolvido para ser executado pelos estudantes com o intuito de determinar o teor de NaCl em amostras de arroz cozido preparado em suas residências. Um número elevado de amostras (cerca de 90%) apresentou teores de sódio acima do recomendado pela OMS. As atividades desenvolvidas neste trabalho relacionaram o ensino de química com o cotidiano dos estudantes, facilitando a aprendizagem dos conteúdos apresentados. O êxito desta proposta ficou demonstrado no interesse manifestado pelos estudantes ao longo das atividades realizadas em sala de aula.

► NaCl, colorimetria, $\text{Hg}(\text{SCN})_2$ ◀

Recebido em 29/05/2020, aceito em 30/07/2020

351

O sódio é um elemento fundamental para a manutenção de inúmeras funções fisiológicas do organismo. A maior parte do sódio ingerido provém do sal de cozinha (cloreto de sódio, NaCl), adicionado para salgar os alimentos. Entretanto, quando em excesso, pode causar ou agravar doenças, principalmente a hipertensão arterial (Bazanelli e Cuppari, 2009).

A hipertensão arterial, popularmente conhecida como “pressão alta” é o principal fator de risco para doenças cardiovasculares. Em 2017, o Brasil registrou 141.878 óbitos devido à hipertensão ou a causas relacionadas a ela (Conasems, 2020). Além disso, a hipertensão é a comorbidade mais comum nos quadros de covid-19 que necessitam de internação, segundo uma pesquisa realizada nos hospitais de Wuhan, na China (Zhou *et al.*, 2020).

A hipertensão, apesar de ser uma doença que não tem cura e que se agrava com a idade, pode ser controlada. Uma estratégia importante é a redução do consumo de sódio. O Ministério da Saúde, em um acordo voluntário com a Associação Brasileira das Indústrias da Alimentação (ABIA), retirou 17,2 mil toneladas de sódio dos alimentos

industrializados. A meta é remover 28,5 mil toneladas até 2022 (Agência Fiocruz de Notícias, 2020; Lessa, 2020; Secretaria de Saúde do RJ, 2017).

A Organização Mundial de Saúde (OMS) recomenda que o consumo diário de sódio não ultrapasse 2,0 g por adulto, o que equivalente a 5,0 g de NaCl (World Health Organization, 2012). Entretanto, o consumo médio de sal da população brasileira é, aproximadamente, o dobro do recomendado (Mill *et al.*, 2019).

As medidas de redução de sódio nos alimentos industrializados indicam uma melhoria no perfil nutricional dos alimentos; entretanto, têm pouco impacto no consumo médio de sódio. O controle da quantidade de sódio nos alimentos caseiros é praticamente inexistente, visto que a quantidade consumida depende da preferência e do conhecimento individual de quem irá prepará-los (Agência Fiocruz de Notícias, 2020; Mantovani *et al.*, 2008; Souza *et al.*, 2016).

Segundo análise da Vigilância de Fatores de Risco e Proteção para Doenças Crônicas por Inquérito Telefônico (Ministério da Saúde, 2019), do Ministério da Saúde,

A hipertensão, apesar de ser uma doença que não tem cura e que se agrava com a idade, pode ser controlada. Uma estratégia importante é a redução do consumo de sódio.

As atividades desenvolvidas, ao longo do ano de 2019, foram decorrentes de um projeto de extensão universitária da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) e teve como público alvo estudantes do segundo e terceiro anos do ensino médio de escolas públicas da região de Seropédica, RJ. Essas atividades foram realizadas em dois encontros, para atender a grade de horários disponibilizada pelas escolas, sendo divididas em três etapas principais: contextualização (1º encontro), experimentação (2º encontro) e avaliação (1º e 2º encontros).

As atividades desenvolvidas, ao longo do ano de 2019, foram decorrentes de um projeto de extensão universitária da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) e teve como público alvo estudantes do segundo e terceiro anos do ensino médio de escolas públicas da região de Seropédica, RJ. Essas atividades foram realizadas em dois encontros, para atender a grade de horários disponibilizada pelas escolas, sendo divididas em três etapas principais: contextualização (1º encontro), experimentação (2º encontro) e avaliação (1º e 2º encontros).

Metodologia

As atividades desenvolvidas, ao longo do ano de 2019, foram decorrentes de um projeto de extensão universitária da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) e teve como público alvo estudantes do segundo e terceiro anos do ensino médio de escolas públicas da região de Seropédica, RJ. Essas atividades foram realizadas em dois encontros, para atender a grade de horários disponibilizada pelas escolas, sendo divididas em três etapas principais: contextualização (1º encontro), experimentação (2º encontro) e avaliação (1º e 2º encontros).

Contextualização

A contextualização ocorreu na forma de uma palestra, de 50 minutos, utilizando-se como ferramenta didática um equipamento de *data show*. A palestra foi elaborada e apresentada pelos discentes de graduação e pós-graduação envolvidos no projeto.

A palestra teve, em um primeiro momento, o objetivo de conscientizar os estudantes sobre os malefícios do consumo excessivo de sódio e sua relação com a hipertensão. Para elucidar o efeito do sal em excesso na corrente sanguínea, foi realizado um experimento demonstrativo conhecido como “osmose na batata” (Arrigo *et al.*, 2017). Nesse experimento, uma batata previamente descascada, cortada ao meio e com uma cavidade ao centro foi apresentada aos estudantes como um “modelo” de vaso sanguíneo. Em uma das bandas da batata foi adicionado sal de cozinha suficiente para cobrir toda a cavidade, representando assim o consumo excessivo de sal. As duas metades foram colocadas em um recipiente transparente contendo água com corante alimentício azul para facilitar a visualização (Figura 1A). Com o passar do tempo, a água no recipiente foi absorvida somente para o interior da cavidade da batata contendo o sal (Figura 1B).

O aumento do volume de líquido no interior dessa banda da batata foi comparado ao acúmulo de líquido no organismo, o que acarreta o aumento da pressão arterial, ou seja, a hipertensão.

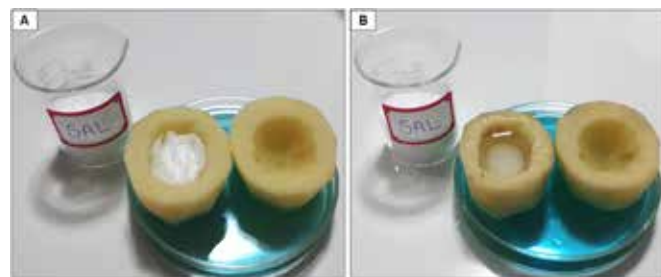


Figura 1. Experimento “osmose na batata” (A) imediatamente e (B) após 40 minutos da adição do sal em uma das bandas da batata.

Em um segundo momento, tomou-se o cuidado de provocar os estudantes a observarem os rótulos dos alimentos industrializados que consomem e instruí-los sobre a leitura correta do teor de sódio nos rótulos desses alimentos para alertá-los sobre a grande quantidade de sódio presente em certos alimentos, como macarrão instantâneo, embutidos, etc. Alternativas mais saudáveis para realçar o sabor dos alimentos caseiros sem que haja a necessidade da adição em excesso de sal foram apresentadas, como o uso de temperos naturais (alho, cheiro-verde, orégano, etc.) e o uso do sal *light*, que é constituído por 50% de cloreto de potássio e 50% de cloreto de sódio.

Ao final da palestra foram apresentados os fundamentos teóricos e as vidrarias do experimento colorimétrico desenvolvido para a determinação do teor de NaCl em arroz. Os estudantes foram incentivados a trazerem uma amostra de arroz cozido, preparado em seus domicílios, para que fosse avaliada a quantidade de sal presente no alimento no 2º encontro.

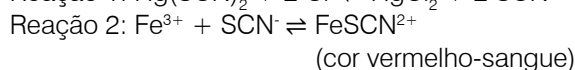
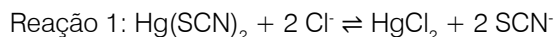
Experimentação

Fundamentação teórica do experimento

No sal de cozinha (NaCl), a proporção de sódio é estequiometricamente igual à de cloreto (1:1). Logo, a quantidade de sódio em alimentos que foram temperados apenas com sal de cozinha pode ser estimada a partir da quantidade de cloreto presente nessas amostras (Bazanelli e Cuppari, 2009; Peixoto, 1999).

O experimento proposto tem seus princípios teóricos semelhantes ao de um dos métodos analíticos empregados para a determinação de cloreto em amostras de origem biológica (Yokoi, 2002). Esse experimento se baseia na observação da intensidade da coloração avermelhada produzida após a reação do cloreto (Cl⁻) com o tiocianato de mercúrio (II)

($\text{Hg}(\text{SCN})_2$), em presença de íons férrico (Fe^{3+}), conforme as equações químicas (1) e (2), a seguir:



De acordo com a reação (1), o ânion Cl^- desloca o ânion tiocianato (SCN^-). Na reação (2), tem-se que o ânion SCN^- liberado na reação (1) reage com o cátion Fe^{3+} formando o íon complexo FeSCN^{2+} , de coloração vermelho-sangue. A intensidade da cor observada é proporcional à quantidade de FeSCN^{2+} produzido que, por sua vez, é maior na presença de altas concentrações de SCN^- . Como, pela reação (1), o Cl^- é o responsável pela formação do SCN^- , a intensidade da coloração avermelhada é um indicativo do teor de NaCl.

Preparação dos reagentes e da amostra

Soluções padrão de NaCl de diferentes concentrações e uma solução do reagente analítico colorimétrico necessárias para o experimento foram levadas para a escola prontas para uso. As soluções-amostra analisadas foram preparadas pelos estudantes da escola no dia da realização do experimento. O preparo dessas soluções foi realizado da seguinte maneira:

- **Soluções padrão de NaCl:** em béqueres, foram dissolvidos 3,0 mg, 6,0 mg, 15,0 mg e 60,0 mg de NaCl P.A. em água destilada. Essas soluções foram diluídas em balões volumétricos de 50,00 mL, produzindo soluções de NaCl de concentrações de $1,0 \text{ mmol L}^{-1}$, $2,0 \text{ mmol L}^{-1}$, $5,0 \text{ mmol L}^{-1}$ e $20,0 \text{ mmol L}^{-1}$, respectivamente.
- **Solução do reagente analítico:** Em um béquer, foram dissolvidos 130 mg de óxido de mercúrio (II) (HgO) em 30 mL de ácido nítrico (HNO_3) $3,0 \text{ mol L}^{-1}$. A essa solução foi adicionada uma ponta de espátula de nitrato férrico ($\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$), e em seguida foi dividida em duas porções de 15 mL. Na primeira porção foram adicionadas gotas de solução de tiocianato de potássio (KSCN) $0,50 \text{ mol L}^{-1}$ até o aparecimento de coloração levemente avermelhada. A seguir, a segunda porção foi adicionada sobre a primeira, gota a gota, até que a primeira porção se tornasse incolor. Finalmente, a primeira porção sofreu a adição de 20 gotas de água destilada produzindo a solução do reagente analítico. Essa solução deve ser preparada em, no máximo, 2 dias antes do uso.
- **Solução-amostra:** Os estudantes da escola pesaram cerca de 2 g de arroz cozido em um tubo falcon, apoiado por um béquer posto sobre uma balança de $\pm 0,05 \text{ g}$ de precisão. A amostra foi triturada com um bastão de vidro. Em seguida, foi adicionada água destilada até completar 10 mL. O tubo foi fechado e agitado vigorosamente por 1 minuto. Após agitação, adicionou-se água destilada até completar 50 mL. Esta solução foi

homogeneizada, produzindo a solução-amostra. Posteriormente, foram transferidos 5 mL da solução-amostra para um béquer, com o auxílio de uma pipeta de Pasteur envolta por algodão em sua ponta (que atuou como um meio filtrante).

Análise da amostra

Para a execução da análise, os estudantes tomaram seis tubos de ensaio. Em quatro tubos foram adicionadas, com o auxílio de pipetas de Pasteur, 10 gotas de cada solução padrão de NaCl, variando a concentração em cada tubo. Para o quinto e sexto tubos de ensaio foram transferidas 10 gotas de água destilada e 10 gotas da solução-amostra, respectivamente.

Finalmente, foram adicionadas 10 gotas do reagente analítico colorimétrico em cada tubo de ensaio. Após agitação, o conteúdo dos tubos foi transferido para uma placa de toque de porcelana com o intuito de comparar a intensidade da cor obtida pela solução-amostra com a intensidade da cor produzida pelos padrões de NaCl (Figura 2).

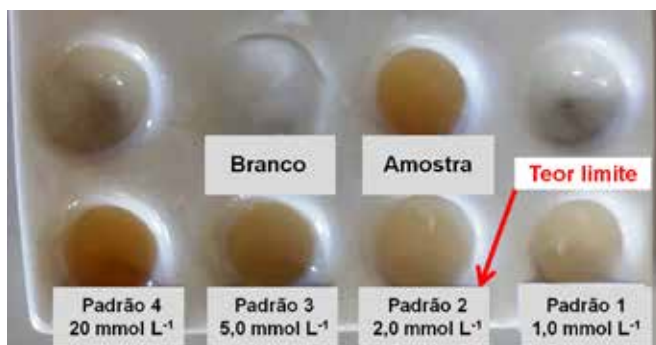


Figura 2. Placa de toque com as cores produzidas pela solução-amostra, água destilada (branco), e pelos padrões de NaCl.

A mistura do reagente analítico com as soluções padrão de NaCl produz coloração alaranjada devido à formação do complexo FeSCN^{2+} , de cor vermelho-sangue (Figura 2). A intensidade da cor está relacionada com a concentração de íons cloreto. Ao se misturar o reagente analítico na solução-amostra, por comparação de cor com os padrões de NaCl, tem-se a estimativa da quantidade de cloreto nas amostras.

Cálculo do teor limite de NaCl no arroz

A OMS recomenda o consumo de 2,0 gramas de sódio por dia (World Health Organization, 2012), o que equivale a 5,0 gramas de NaCl. Assumindo que todo sódio e cloreto presentes nos alimentos sejam provenientes do sal de cozinha adicionado, a quantidade máxima de cloreto que poderia ser consumido é de 3,0g por dia. Tomando como base uma dieta de 2000 kcal por dia, na qual são consumidos estes 3,0 g de cloreto, e sabendo-se que os 2,0 g de arroz branco cozido analisado possuem 2,58 kcal (Tabela Nutricional, 2020), a

A mistura do reagente analítico com as soluções padrão de NaCl produz coloração alaranjada devido à formação do complexo FeSCN^{2+} , de cor vermelho-sangue (Figura 2). A intensidade da cor está relacionada com a concentração de íons cloreto.

Roteiro Experimental: Determinação de NaCl em arroz															
1) Preparo da amostra a. Pesar 2,0 g de amostra de arroz em um tubo falcon de 50 mL, apoiado em um béquer. b. Adicionar 10 gotas de água destilada e macerar a amostra com um bastão de vidro. c. Adicionar água destilada até 10 mL, fechar o tubo e agitar vigorosamente por 1 minuto. d. Adicionar água destilada até completar 50 mL e homogeneizar. e. Transferir 5 mL desta solução, com o auxílio de uma pipeta pasteur envolta na ponta por algodão, para um béquer.	2) Análise a. Rotular os tubos de ensaio e adicionar 10 gotas das seguintes soluções/solvente: <table border="1"> <thead> <tr> <th>Rótulo</th><th>Solução/solvente</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Padrão 1</td><td>NaCl 1,0 mmol L⁻¹</td></tr> <tr> <td>Padrão 2</td><td>NaCl 2,0 mmol L⁻¹</td></tr> <tr> <td>Padrão 3</td><td>NaCl 5,0 mmol L⁻¹</td></tr> <tr> <td>Padrão 4</td><td>NaCl 20 mmol L⁻¹</td></tr> <tr> <td>Branco</td><td>Água destilada</td></tr> <tr> <td>Amostra</td><td>Solução-amostra</td></tr> </tbody> </table> b. Adicionar em cada tubo 10 gotas do reagente analítico e agitar. c. Transferir o conteúdo dos tubos para a placa de toque. d. Comparar a intensidade da cor obtida pela solução-amostra com a cor obtida pelo padrão de 2,0 mmol L ⁻¹ (limite estabelecido).	Rótulo	Solução/solvente	Padrão 1	NaCl 1,0 mmol L ⁻¹	Padrão 2	NaCl 2,0 mmol L ⁻¹	Padrão 3	NaCl 5,0 mmol L ⁻¹	Padrão 4	NaCl 20 mmol L ⁻¹	Branco	Água destilada	Amostra	Solução-amostra
Rótulo	Solução/solvente														
Padrão 1	NaCl 1,0 mmol L ⁻¹														
Padrão 2	NaCl 2,0 mmol L ⁻¹														
Padrão 3	NaCl 5,0 mmol L ⁻¹														
Padrão 4	NaCl 20 mmol L ⁻¹														
Branco	Água destilada														
Amostra	Solução-amostra														

quantidade de cloreto máxima na solução-amostra será de 3,9 mg. Como foram produzidos 50 mL de solução-amostra, a concentração de NaCl máxima recomendada nesta solução será de 2,0 mmol L⁻¹. Portanto, a cor produzida no ensaio colorimétrico com a solução padrão de NaCl de concentração 2,0 mmol L⁻¹ pode ser tomada como referência (Figura 2). Se a solução-amostra apresentar coloração mais intensa do que a cor produzida por este padrão, a quantidade de sal no arroz estará acima do valor recomendado pela OMS.

Apesar da coloração produzida pela solução-amostra com o reagente analítico ser comparada apenas com a cor produzida por um dos padrões de NaCl (2,0 mmol L⁻¹), foram utilizados padrões de diferentes concentrações para que os estudantes tivessem uma melhor compreensão da relação existente entre a intensidade da cor observada e a concentração do cloreto de sódio.

Experimentação nas escolas

Para a execução do procedimento experimental, os estudantes foram divididos em grupos de 4 a 6 estudantes. Cada grupo ficou sob a tutoria de um estudante da graduação ou pós-graduação do curso de Química ou áreas afins. Os estudantes foram alertados sobre a toxicidade do mercúrio presente no reagente analítico e advertidos quanto aos cuidados para evitar o seu contato com a pele e no descarte do rejeito.

Cada grupo recebeu um roteiro para a execução do experimento (Quadro 1) e um kit de materiais (Figura 3) com os seguintes itens: 1 suporte para tubos de ensaio; 6 tubos de ensaio; 1 bastão de vidro; 6 pipetas de Pasteur de 5 mL; 1 tubo falcon de 50 mL; 1 béquer de 50 mL; 1 chumaço de algodão; 1 placa de toque; 1 frasco contendo o reagente analítico; 4 microtubos eppendorf de 5 mL, cada um com uma solução padrão de NaCl de diferentes concentrações (1,0 mmol L⁻¹, 2,0 mmol L⁻¹, 5,00 mmol L⁻¹ e 20,0 mmol L⁻¹).

Os tutores acompanharam a execução da análise realizada pelos estudantes, explicando os procedimentos adotados e



Figura 3. Kit empregado em sala de aula para determinação de NaCl nas amostras de arroz.

recapitulando os conceitos de química abordados no 1º encontro para melhor compreensão dos fenômenos observados. Além disso, ficaram responsáveis por realizar o descarte dos rejeitos em frascos apropriados, para que fossem encaminhados à universidade e recebessem o destino adequado.

Avaliação

No início do 1º encontro foi aplicado um questionário de pré-intervenção para avaliar o conhecimento prévio dos estudantes sobre hipertensão arterial e alguns assuntos de química. No final do 2º encontro foi aplicado um questionário de pós-intervenção para avaliar o impacto das atividades. As perguntas foram simples e objetivas (Quadro 2).

Verificação da metodologia experimental proposta

A intensidade das cores observadas para um determinado padrão de NaCl e uma solução-amostra de mesma concentração podem se diferenciar, pois os padrões empregados na

Questionário de pré-intervenção	Questionário de pós-intervenção
1) O que é química? _____	1) Você gostou das atividades realizadas? Sim () Não ()
2) Já tinha ouvido falar em química analítica? Sim () Não ()	2) O que é química analítica? _____
3) Sabe o que é uma reação de dupla troca? Sim () Não ()	3) Sabe dizer o que é hipertensão arterial e qual a sua relação com o NaCl? Sim () Não ()
4) Sabe o que é uma reação de complexação? Sim () Não ()	4) Sabe qual quantidade de sal se pode consumir diariamente? Sim () Não ()
5) Conhece a relação entre a hipertensão e o NaCl? Sim () Não ()	5) Como você pode contribuir para a diminuição dos casos de hipertensão em seu meio social? _____
6) Sabe como controlar a hipertensão arterial? Sim () Não ()	6) Gostaria de ter mais atividades como esta? Sim () Não ()
7) Sabe a quantidade de sal que se pode ingerir diariamente? Sim () Não ()	7) Sugestões para melhorar a atividade: _____
8) Conhece alguma vidraria de laboratório? Sim () Não () Quais? _____	
9) Já realizou algum experimento de química? Sim () Não ()	

comparação não sofrem a influência da matriz da amostra, comprometendo os resultados. Para avaliar a influência da matriz, três amostras de 2,00 ($\pm 0,05$) g de arroz cozido sem sal, recém-preparado, sofreram adição de solução padrão de NaCl 0,1000 mol L⁻¹ suficiente para produzir soluções-amostra de concentração 0,10 mmol L⁻¹, 2,0 mmol L⁻¹ e 40 mmol L⁻¹ de NaCl. Essas amostras foram analisadas pela metodologia proposta e a intensidade das cores produzidas foram comparadas com padrões de NaCl de mesmas concentrações.

Em outra investigação, os resultados obtidos pelo método proposto foram comparados com o método de Mohr, que é a metodologia oficial para determinação de cloretos em alimentos (Instituto Adolfo Lutz, 2005). Nesse método, foi realizada a titulação da solução-amostra com uma solução padrão de nitrato de prata, empregando o cromato de potássio como indicador. Para isso, duas amostras de arroz preparadas com diferentes quantidades de sal de cozinha foram analisadas pelo método de Mohr (em triplicata) e pelo método proposto.

Resultados e Discussão

Contextualização

Através das apresentações, os estudantes do ensino médio puderam conhecer a relação entre o consumo em excesso de sal com a hipertensão arterial e os principais malefícios dessa doença no corpo humano. A relevância dessa temática serviu para atrair a atenção dos estudantes, além de motivá-los para o desenvolvimento da parte experimental.

Foi utilizado um diálogo simples e claro sobre o assunto, promovendo debates sobre o tema e instigando a curiosidade dos estudantes (Figura 4).



Figura 4. Palestra realizada em sala de aula (1º. encontro).

O experimento demonstrativo “osmose na batata” foi eficiente para apresentar de forma didática o efeito do excesso de sal no organismo e foi conveniente para abordar os conceitos de osmose, concentração de soluções, meio hipotônico e hipertônico. No entanto, entende-se que a relação entre o excesso de sódio no organismo e a hipertensão é uma questão mais ampla e possui um mecanismo bioquímico mais complexo (Karppanen e Mervaala, 2006). Porém, esse modelo foi utilizado por sua simplicidade e por proporcionar um entendimento aceitável do assunto. A proposta desse experimento durante uma das palestras surgiu através de

um programa de televisão, no qual uma médica utilizou o experimento para relacionar o consumo excessivo de sal com a hipertensão (Bem Estar, 2020).

Conteúdos diversificados de química puderam ser abordados durante a palestra, como a principal forma de obtenção do sal de cozinha, fórmula química, estequiometria, ligação iônica, reações de dupla troca, formação de complexos e soluções. Além disso, a química analítica foi apresentada aos estudantes como uma das áreas da química, buscando identificar a sua presença em seriados famosos, como os relacionados a investigações criminais, visando tornar a química uma ciência mais atrativa. Por último, os estudantes puderam conhecer algumas vidrarias de laboratório e seus usos.

Experimentação

A experimentação realizada em sala de aula ocorreu de forma satisfatória devido à simplicidade da metodologia desenvolvida e a praticidade dos *kits* apresentados. Com o auxílio de um tutor em cada grupo, todos os estudantes puderam participar efetivamente da execução do experimento (Figura 5).



Figura 5. Grupos constituídos pelos estudantes e tutores durante a realização das análises (2º. encontro).

A palestra realizada no 1º. encontro e o experimento proposto despertaram o interesse e a curiosidade científica nos estudantes, o que pôde ser constatado pelas observações realizadas pela equipe proponente. Alguns estudantes, instigados pelo conhecimento, trouxeram voluntariamente, além das amostras de arroz cozido para o consumo em suas residências: arroz cozido sem adição de sal, arroz com excesso de sal, arroz com sal rosa do Himalaia e arroz com outros temperos, para verificar a veracidade dos experimentos. Além disso, eles solicitaram a análise do arroz preparado no refeitório escolar.

Ao longo da execução dos experimentos, alguns estudantes das escolas demonstraram especial interesse pela compreensão dos fenômenos químicos ocorridos, tomando nota das equações químicas e explicações realizadas pelos tutores. Alguns estudantes compartilharam o interesse em seguir carreira em profissões de áreas correlatas à química e outros ficaram empolgados com o manuseio das pipetas de

Pasteur e dos tubos de ensaio, o que remete a uma grande carência que o público-alvo apresenta em relação às atividades de química experimental nas escolas.

Cerca de 90% das amostras de arroz tiveram o teor de sódio acima do recomendado pela OMS, reforçando a importância da conscientização da nova geração para uma alimentação com um menor teor de sódio. Dentre as poucas amostras de arroz com baixo teor de NaCl estavam a preparada pela família de um indivíduo com quadro de hipertensão arterial, na qual os alimentos são preparados com pequena quantidade de sal, e uma amostra de arroz preparado sem sal por uma estudante da escola, que teve a curiosidade de testar se o experimento acusaria baixo teor de sal.

Avaliação

O experimento contou com a participação de, no total, 86 estudantes do segundo e do terceiro ano do ensino médio de duas escolas públicas. As respostas fornecidas pelos estudantes a algumas questões abordadas nos questionários estão apresentadas na Figura 6.

Analisando as Figuras 6A e 6B, é possível destacar que: somente 35% dos estudantes já haviam ouvido falar em química analítica e apenas uma pequena parcela (28%) conhecia a relação entre a hipertensão arterial e o NaCl, o que mostra a relevância da realização deste trabalho. É notável que uma porcentagem maior de estudantes informou ter conhecimento sobre como controlar a hipertensão (47%), mas não conhecia a relação entre hipertensão arterial e o NaCl, indicando, provavelmente, conhecer outros fatores causadores da hipertensão, como o excesso de peso e o sedentarismo. Além disso, é possível que eles não tivessem o conhecimento da fórmula química do principal componente do sal de cozinha (NaCl) ou que, finalmente, não soubessem como ele afeta o organismo e, por isso, acabaram respondendo que não sabiam relacionar a hipertensão arterial e o NaCl.

Uma parcela muito pequena de estudantes (19%) conhecia a quantidade de sal recomendada para a ingestão diária, o que é um dado preocupante. Isso evidencia a falta de políticas de conscientização nesse sentido e revela o motivo de números tão alarmantes de óbitos, divulgados pelo Ministério da Saúde (Conasems, 2020), referentes a esse problema de saúde pública. Poucos estudantes conheciam alguma vidraria de laboratório (20%), demonstrando a carência da experimentação em sala de aula. Em oposição, um número bem superior de estudantes afirmou que já havia realizado algum experimento de química (66%), o que sugere que o experimento possa ter sido realizado com material alternativo, como é comum no ensino fundamental e médio. A análise da Figura 6B configura que a atividade foi bem aceita pelos estudantes e que, unanimemente, demonstraram aprovação da metodologia utilizada. Ao final das atividades, 85% dos estudantes declararam conhecer a relação entre hipertensão arterial e o NaCl, o que corresponde a um aumento de 57%. Esses dados mostram o êxito das atividades desenvolvidas e evidenciam a necessidade de dar continuidade a este trabalho, a fim de que mais escolas sejam alcançadas.

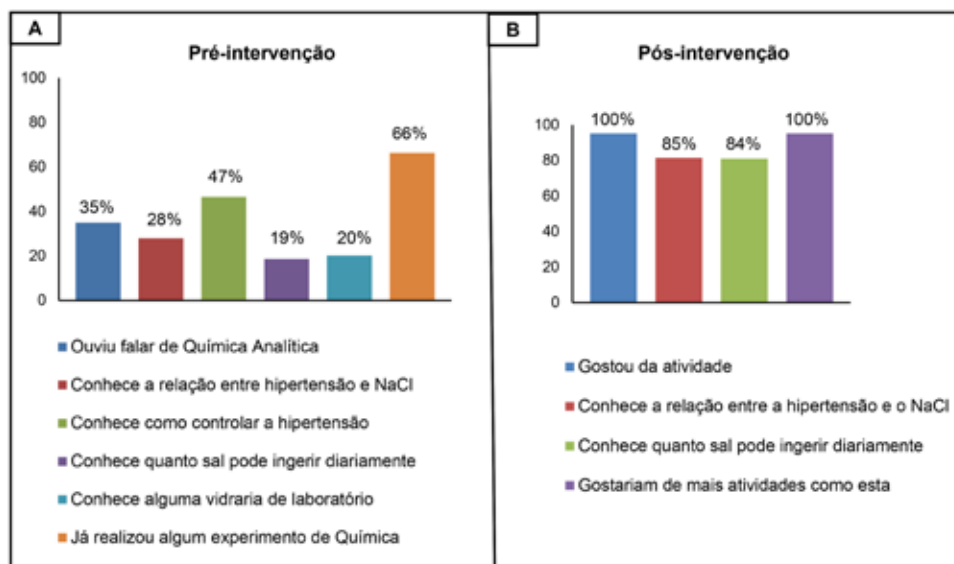


Figura 6. Respostas de algumas questões apresentadas nos questionários de (A) pré-intervenção e (B) pós-intervenção.

Verificação da metodologia proposta

Na avaliação da influência da matriz da amostra na cor observada na análise, notou-se que a intensidade das cores produzidas pelas soluções-amostra do arroz cozido sem sal e, posteriormente, fortificadas até diferentes concentrações de NaCl ($0,10 \text{ mmol L}^{-1}$, $2,0 \text{ mmol L}^{-1}$ e 40 mmol L^{-1}) foi semelhante às dos padrões de NaCl de mesma concentração (Figura 7). Esse resultado mostra que a matriz não interfere na intensidade da coloração observada.



Figura 7. Cores produzidas pelas soluções-amostra de arroz preparado sem sal e fortificadas com NaCl até diferentes concentrações, e cores produzidas pelas soluções padrão de NaCl nas mesmas concentrações.

Na análise de duas amostras distintas de arroz cozido com sal, realizada pelo método de Mohr, foram obtidos os seguintes teores de NaCl: $5,1 \text{ mmol L}^{-1}$ e 19 mmol L^{-1} . Essas amostras foram avaliadas pelo método proposto neste trabalho e a intensidade das cores observadas foram semelhantes à dos padrões de NaCl de concentração $5,0$ e 20 mmol L^{-1} , respectivamente (Figura 8). Esses resultados indicam que o método colorimétrico proposto é adequado para estimar o teor de NaCl e, portanto, confiável para ser empregado nas escolas.

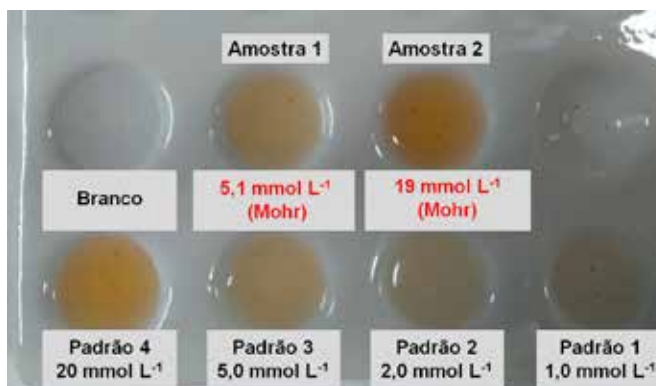


Figura 8. Ensaio colorimétrico para estimar o teor de NaCl em duas amostras de arroz cozido com sal, realizando comparação com padrões de NaCl. Os teores de NaCl determinados pelo método de Mohr na amostra 1 e na amostra 2 foram $5,1 \text{ mmol L}^{-1}$ e 19 mmol L^{-1} , respectivamente.

Conclusão

As atividades realizadas neste trabalho permitiram abordar a temática da hipertensão e promover a reflexão sobre os malefícios do consumo excessivo de sal. Além disso, a interação entre o ensino de química e o cotidiano dos estudantes facilitou o aprendizado dos conteúdos apresentados. A experimentação realizada em sala de aula, além de despertar o interesse dos estudantes pelo assunto, foi útil para avaliar o teor de sal contido nas amostras de arroz cozido fornecidas por eles e evidenciar a necessidade da diminuição do sal adicionado nos alimentos caseiros. Assim, os estudantes puderam levar essa informação aos seus familiares, expandindo a conscientização promovida em sala de aula. Pelos resultados obtidos através dos questionários de pré-intervenção e pós-intervenção pôde-se verificar o impacto positivo das atividades realizadas.

Andrezza Duarte Memelli Mendonça (andrezamemelli@gmail.com), mestre em Química, doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Química da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (PPGQ/UFRJ). Seropédica, RJ – BR. **Wanny Tavares Nogueira Cabral** (tavareswanny@gmail.com), graduanda em Química na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRJ), Seropédica, RJ – BR. **Andressa da Silva Antunes** (andressa.saibertt@hotmail.com), graduanda em Química na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRJ), Seropédica, RJ – BR. **Victor Gabriel de Paula Saide** (vitosaide@gmail.com), mestre em Engenharia Química, doutorando do Programa de Pós-Graduação em Química da

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (PPGQ/UFRJ). Seropédica, RJ – BR. **Sheisi Fonseca Leite da Silva Rocha** (sheisi@msn.com), doutora em Química, professora do Departamento de Química Analítica da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (DQA/UFRJ). Seropédica, RJ – BR. **Cristina Maria Barra** (crismabarra@gmail.com), doutora em Química, professora do Departamento de Química Analítica da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (DQA/UFRJ). Seropédica, RJ – BR. **José Geraldo Rocha Junior** (geraldorocha@ufrj.br), doutor em Química, Professor do Departamento de Química Analítica da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (DQA/UFRJ). Seropédica, RJ – BR.

Referências

AGÊNCIA FIOCRUZ DE NOTÍCIAS. Brasileiros consomem quase o dobro de sal sugerido pela OMS. Disponível em: <https://portal.fiocruz.br/noticia/brasileiros-consumem-quase-o-dobro-de-sal-sugerido-pela-oms>. Acesso em abr. 2020.

ARRIGO, V.; ANJOS, L. C. G.; ASSAI, N. D. S.; LORENCINI JÚNIOR, Á. L. Uma proposta experimental para investigar o processo de osmose em aulas de química. *Imagens da Educação*, v. 7, n. 3, p. 51 - 62, 2017.

BAZANELLI, A. P.; CUPPARI, L. Funções Plenamente Reconhecidas de Nutrientes - Sódio. *International Life Sciences Institute - Brasil*, v. 4, p. 3-13, 2009.

BEM ESTAR (Programa de televisão brasileiro). Disponível em: <https://globoplay.globo.com/v/2048072/>. Acesso em abr. 2020.

CONASEMS (Conselho Nacional de Secretarias Municipais de Saúde). Hipertensão é a doença que mais mata no Brasil. Disponível em: <https://www.conasems.org.br/hipertensao-e-a-doenca-que-mais-mata-no-brasil/>. Acesso em abr. 2020.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. 4ª ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. Disponível em: http://www.ial.sp.gov.br/resources/editorinplace/ial/2016_3_19/analisedealimentosial_2008.pdf. Acesso em out. 2020.

KARPPANEN, H.; MERVAALA, E. Sodium intake and hypertension. *Progress in cardiovascular diseases*, v. 49, n. 2, p. 59 - 75, 2006.

LESSA, M. Coordenação de Alimentação e Nutrição do Ministério da Saúde. Ministério da Saúde lança ações para combater obesidade e outras doenças crônicas. Disponível em: <http://portal.arquivos.saude.gov.br/images/pdf/2017/junho/13/sodio-e-alimentacao-saudavel.pdf>. Acesso em jul. 2020.

MANTOVANI, M. F.; ULBRICH, E. M.; PINOTTI, S.; GIACOMOZZI, L. M.; LABRONICI, L. M.; SARQUIS, L. M. M. Percepção sobre a hipertensão arterial e qualidade de vida: contribuição para o cuidado de enfermagem. *Cogitare Enfermagem*, v. 13, n. 4, p. 526-534, 2008.

MILL, J. G.; MALTA, D. C.; MACHADO, I. E.; PATE, A.; PEREIRA, C. A.; JAIME, P. C.; SZWARCOWALD, C. L.; ROSENFELD, L. G. Estimativa do consumo de sal pela

população brasileira: resultado da Pesquisa Nacional de Saúde 2013. *Revista Brasileira de Epidemiologia*, v. 22, p. 1-14, 2019.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. <https://www.saude.gov.br/saude-de-a-z/hipertensao>, acessada em Abril de 2020.

MINISTÉRIO DA SAÚDE – Secretaria de Vigilância em Saúde – Departamento de Análise em Saúde e Vigilância de Doenças Não Transmissíveis. VIGITEL BRASIL 2018. Brasília: Ministério da Saúde, 2019. Disponível em: <https://portal.arquivos2.saude.gov.br/images/pdf/2019/julho/25/vigitel-brasil-2018.pdf>. Acesso em abr. 2020.

PEIXOTO, E. M. A. Elemento químico: Sódio. *Química Nova na Escola*, v. 10, [s.p.], 1999.

SOUZA, A. M.; SOUZA, B. S. N.; BEZERRA, I. N.; SICHIERI, R. Impacto da redução do teor de sódio em alimentos processados no consumo de sódio no Brasil. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 32, n. 2, p. 1 - 7, 2016.

TABELA NUTRICIONAL. Nutrição, Saúde e Bem-estar. 2020. Disponível em: <https://www.tabelanutricional.com.br>. Acesso em mai. 2020.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Guideline: Sodium intake for adults and children*. Geneva: World Health Organization, 2012. Disponível em: https://www.who.int/nutrition/publications/guidelines/sodium_intake_printversion.pdf. Acesso em mai. 2020.

YOKOI, K. Colorimetric determination of chloride in biological samples by using mercuric nitrate and diphenylcarbazone. *Biological Trace Element Research*, v. 85, n. 1, p. 87 - 94, 2002.

ZHOU, F.; YU, T.; DU, R.; FAN, G.; LIU, Y.; LIU, Z.; XIANG, J.; WANG, Y.; SONG, B.; GU, X.; GUAN, L.; WEI, Y.; LI, H.; WU, X.; XU, J.; TU, S.; ZHANG, Y.; CHEN, H.; CAO, B. Clinical course and risk factors for mortality of adult in patients with COVID-19 in Wuhan, China: a retrospective cohort study. *The Lancet*, v. 395, p. 1054 - 1062, 2020.

Para Saber Mais

PAULA, W. X. P.; SINISTERRA, R. D.; SANTOS, R. A. S. D.; BERALDO, H. A. A química inorgânica no planejamento de fármacos usados no controle da hipertensão. *Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola*, v. 6, p. 19-26, 2005.

Abstract: Determination of sodium chloride content in cooked rice: a proposal for chemistry teaching and combating arterial hypertension. This article reports activities carried out in the classroom with the aim of teaching, informing and raising awareness among high school students about the relationship between excessive salt consumption and arterial hypertension. A practical and quick colorimetric experiment was developed to be carried out by students in order to determine the NaCl content in cooked rice samples prepared at home. A high number of samples (about 90%) had sodium levels above that recommended by WHO. The activities developed in this work related the teaching of chemistry with the students' daily lives, facilitating the learning of the contents presented. The success of this proposal was demonstrated in the interest shown by students throughout the activities carried out in the classroom.

Keywords: NaCl, colorimetry, Hg(SCN)₂



O ensino de Ciências na Educação Infantil: Relatos de Sala de Aula

Sthéfany Zaida Silva do Amparo e Ana Cristina Ribeiro Vaz

O artigo apresenta reflexões sobre os resultados obtidos no desenvolvimento do Projeto Brincando de Cientista: o Ensino de Ciências Naturais na Educação Infantil, desenvolvido pela equipe do Programa Ações Educativas Complementares, com 38 crianças na faixa etária de cinco anos de idade, que cursam a Educação Infantil em uma escola da Rede Municipal de Belo Horizonte, MG. No curso do trabalho, as crianças foram convidadas a realizar atividades, observações e explorações a partir de experiências investigativas que favoreciam a descoberta do mundo que as cerca. A realização dessas práticas teve como objetivo o reconhecimento das atitudes dos informantes frente às experiências. Com base em nossas observações em sala de aula, na análise dos desenhos produzidos pelos estudantes e na entrevista ao final das atividades, percebemos o desenvolvimento de uma atitude científica por parte das crianças diante das vivências, o que reforça a importância da inclusão do Ensino de Ciências na Educação Infantil.

► educação infantil, ensino de ciências, investigação ◀

Recebido em 09/03/2020, aceito em 21/08/2020

359

A educação infantil (EI) representa a primeira etapa da educação básica brasileira, de acordo com a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB 9394/96), sendo um dever do Estado e um direito da criança de 0 a 5 anos de idade. Nessa etapa, acontece o primeiro contato do indivíduo com a escola, o que é fundamental para o desenvolvimento global e a formação humana dos sujeitos. Nessa fase, a criança está desenvolvendo todas as suas potencialidades. Por isso, as práticas pedagógicas adotadas na EI devem propiciar um ambiente de crescimento, de conhecimento do mundo físico e social, no qual sejam abordados aspectos cognitivos, físicos, motores, psicológicos, culturais e sociais dos educandos, por meio de atividades lúdicas que favoreçam a experimentação, a imaginação e a criatividade. Como bem colocam Kramer (1989) e Zuquiere (2007), na EI, o foco deve estar no desenvolvimento da criança, considerando-a um ser social que apresenta interesses próprios e que é capaz de interferir no meio em que vive.

O Referencial Curricular Nacional para a Educação Infantil (RCN-EI) (Brasil, 1998) integra uma série de documentos dos Parâmetros Curriculares Nacionais elaborados pelo Ministério da Educação e do Desporto, além de ser um dos documentos utilizados pelas instituições de educação

infantil para nortear as suas práticas educacionais. O RCN-EI indica metas para uma educação de qualidade que contribuam para um desenvolvimento integral, bem como para uma formação socializadora. O documento destaca também a importância do aprender brincando e, no âmbito do Ensino de Ciências da Natureza (ECN), apresenta o eixo denominado Natureza e Sociedade, que reúne temas pertinentes ao mundo social e natural. O propósito é realizar o trabalho de modo integrado, ao mesmo tempo em que são respeitadas as especificidades das fontes, abordagens e enfoques advindos dos diferentes campos das Ciências Humanas e Naturais, destacando o histórico de vivência e compreensão do meio em que a criança está inserida por parte, principalmente, do professor.

Posto isso, focalizamos alguns questionamentos que nos pareceram pertinentes, os quais apresentamos neste trabalho: (1) por que o ECN é importante na EI? (2) quais temáticas devem ser tratadas na EI, na área de conhecimento Ciências da Natureza? e (3) como abordar Ciências na EI? Acreditamos que esses questionamentos se fazem necessários para que a inserção desse campo do conhecimento possa ser discutida e para que ele seja implementado de modo adequado na EI.

O ECN é necessário para o crescimento e desenvolvimento crítico de um indivíduo, pois tem o compromisso

com a formação do sujeito para interagir e atuar em diversos ambientes, conduzindo-o à compreensão de que há uma conexão entre as Ciências Naturais e a sociedade, numa dimensão planetária. Reis (2016) salienta que o ECN é uma das formas de produção de realidade, confrontando o senso comum e o saber científico. Zuquieri (2007) levanta um importante questionamento: “Qual o tipo de indivíduos que queremos formar?”, o que nos faz pensar que a educação é mais do que “formar sujeitos para a sociedade, mas sujeitos que a transformem...” (Oliveira, 1994, p.188).

Com base nos estudos de González *et al.* (2020) e Kim *et al.* (2020), enumeramos algumas razões atitudinais pelas quais as crianças da EI devem ter a oportunidade de se envolver com as Ciências: (1) as crianças apresentam curiosidade genuína sobre a natureza; (2) o contato com Ciências propicia o desenvolvimento do letramento científico e de um pensamento crítico; (3) as crianças, ao relatarem todas as evidências e reconhecerem o trabalho de outras pessoas, desenvolvem a honestidade, trabalham a objetividade e consideram várias alternativas possíveis ao investigar; e (4) as crianças ficam mais predispostas a mudar seu julgamento e/ou sua decisão. Esses posicionamentos são denominados atitudes científicas, que são de grande relevância, uma vez que podem contribuir para formação do caráter da criança, pois estimulam a busca pela fundamentação científica dos fatos e pode servir de apoio ao seu desenvolvimento futuro e ao da sociedade. Ou seja, experiências de aprendizado de Ciências permitem que a criança questione, observe, raciocine, prove, comprove, refute, explore e construa julgamentos que auxiliarão seu crescimento em experiências presentes e futuras.

Podemos dizer que o ECN é considerado relevante no ensino fundamental e médio por toda a comunidade educacional e científica. Todavia, a discussão sobre a relevância do ECN na EI ainda carece de maior destaque, embora encontremos fundamentação em trabalhos muito consistentes, como estes: Rhodes *et al.* (2020); Kim *et al.* (2020); Lichene (2019); Bruch e Ribeiro (2018); Tippet e Milford (2017); Reis (2016); Rocha *et al.* (2016); Eshach e Fried (2006); Fench (2004).

O estudo de Lichene (2019), por exemplo, traz uma pesquisa exploratória que fornece dados úteis ao descrever uma abordagem educacional que possa contribuir com a formação das crianças em um contexto de desenvolvimento da atitude científica. Por sua vez, o trabalho de Kim *et al.* (2020) utiliza o cultivo de plantas como método de exploração científica, cujo processo, como pôde ser observado, ofereceu oportunidades para o desenvolvimento de atitudes científicas de curiosidade e questionamento por parte das crianças, além da construção de um novo olhar para o significado da natureza.

[...] cabe aos educadores realizarem práticas pedagógicas para o desenvolvimento de um ensino que, além de priorizar o protagonismo das crianças, possibilite a apresentação de fenômenos naturais, respeitando e valorizando a natureza, para o que é essencial, um planejamento que vise oportunidades científicas diárias, motivadoras e seguras.

Na perspectiva apresentada pelos trabalhos citados, cabe aos educadores realizarem práticas pedagógicas para o desenvolvimento de um ensino que, além de priorizar o protagonismo das crianças, possibilite a apresentação de fenômenos naturais, respeitando e valorizando a natureza, para o que é essencial, um planejamento que vise oportunidades científicas diárias, motivadoras e seguras.

O Programa de Extensão Ações Educativas Complementares (PAEC), criado em 2006, procura fortalecer a articulação entre os diversos segmentos da instituição escolar,

por meio da criação de grupos de estudantes, professores e servidores técnico-administrativos envolvidos com questões sobre meio ambiente, saúde e formação humana de escolas das redes de Belo Horizonte. Tais grupos propiciam aos participantes um conjunto de ações didático-pedagógicas que visa promover a troca de saberes, a integração família-escola, o fortalecimento da autoestima e

a promoção social. O Programa busca, também, despertar os educandos da educação básica para a busca de respostas às suas indagações sobre ambiente, saúde, relações interpessoais, entre outras. Além disso, o Programa procura promover intercâmbio com escolas para a implementação do ECN na EI.

Diante desse cenário, a equipe do PAEC desenvolveu a investigação cujas evidências encontradas ora apresentamos, fazendo coro sobre a relevância da inserção do ECN na EI.

Cenário do projeto

Este estudo foi desenvolvido em 2016, por uma equipe composta por duas alunas bolsistas do PAEC, licenciandas do Curso de Química, e por duas professoras orientadoras, uma formada em Ciências Biológicas e outra em Pedagogia. O *locus* deste estudo foi uma escola de EI, da Rede Municipal da cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais. Participaram diretamente desta investigação 38 crianças (2 turmas com 19 estudantes em cada uma), todas com cinco anos de idade. Para os encontros, essas turmas eram organizadas em grupos com quatro e/ou cinco componentes cada. Na sala de aula, a professora regente de cada uma das turmas e a professora de apoio acompanharam as bolsistas todo o tempo. As ações tiveram duração de uma hora e foram realizadas semanalmente, durante três meses.

Procuramos ter cuidado com o planejamento das ações e seguir uma metodologia que viabilizasse um melhor desempenho das crianças em cada ação, abordando temas contextualizados, relevantes e adequados a elas, no âmbito da área de conhecimento das Ciências da Natureza (Química, Física e Biologia). Também procuramos, para uma compreensão e uma assimilação mais adequadas por parte das crianças, criar uma inter-relação entre as temáticas. Os conteúdos

abordados foram: luz e cores; substâncias homogêneas e heterogêneas; separação de “misturas” heterogêneas; densidade; e ciclo da água.

O processo de cada intervenção foi dividido em cinco etapas: (1) apresentação do tema; (2) levantamento de ideias das crianças; (3) realização de atividades práticas; (4) confronto de expectativas e realidade; e (5) realização de uma atividade/desenho/jogos sistematizadores da ação.

Após expor para as crianças o tema, a etapa de levantamento de ideias tinha como principal objetivo saber quais os conhecimentos e noções cotidianas que elas levavam para a sala de aula, uma vez que, apesar da tenra idade, elas estão inseridas em uma sociedade e dispõem de experiências e relações sociais informais que podem influenciar em seu desenvolvimento. A atividade prática consistia em um experimento ou reconhecimento de campo,

permitindo a experimentação e a exploração, de modo a conduzir as crianças a vivenciar o assunto abordado (De Oliveira e Correia, 2013). Em seguida, as crianças eram confrontadas com suas expectativas e a realidade observada, com o propósito de instigar o pensamento investigativo e crítico delas. Por fim, eram convidadas a realizarem uma sistematização da situação vivenciada, elaborando um desenho ou participando de um jogo, sempre com a finalidade de favorecer a construção de noções e/ou conceitos. O desenho apresenta um papel importante, sendo uma expressão da significação, mediador do conhecimento (Rocha *et al.*, 2016); em contrapartida, o jogo é um moderador entre o prazer e o conhecimento (Moraes e Araújo, 2012).

A metodologia usada neste estudo investigativo é baseada na pesquisa-ação (Bruch e Ribeiro, 2018) e na busca de uma atitude científica (Kim *et al.*, 2020). A pesquisa-ação é qualitativa e assenta-se em uma relação de reciprocidade entre o pesquisador e os demais envolvidos, caracterizando-se pela coparticipação e aproximação de teoria e prática. Esse tipo de pesquisa é interessante quando o pesquisador deseja identificar problemas e refletir acerca deles, de modo que possa agir no sentido de superá-los (Eiterer e Medeiros, 2010).

Em consonância com a metodologia adotada, a coleta de dados deste estudo foi assim realizada: (1) registro escrito de todos os encontros por parte das bolsistas, que relatavam todos os acontecimentos da ação, em um caderno de campo, ou seja, as observações feitas pelas crianças e demais participantes foram registradas; (2) produção de desenhos e atividades sistematizadoras ao final de cada encontro; e (3) elaboração e aplicação de uma entrevista individual com os estudantes, ao final do processo.

O desenvolvimento deste projeto culminou com a construção de um portfólio constituído pelas atividades realizadas em cada encontro. Esse material foi oferecido à família responsável por cada criança, em uma reunião de encerramento do semestre letivo.

Temas trabalhados e Resultados

a) Formação do arco-íris

Esse encontro com as crianças da educação infantil foi dividido em dois momentos. O primeiro começou com a apresentação da imagem de um arco-íris para elas, seguida do questionamento sobre o que era aquela imagem. Todas responderam que era um arco-íris. Na sequência, perguntamos: “como o arco-íris é feito?” e “por que ele aparece?”. Muitas responderam que o arco-íris somente aparecia quando tinha Sol e chuva ou “quando tem um pote de ouro no céu”. Para darmos continuidade ao primeiro momento do encontro,

entregamos uma folha A4, um copo com água e uma lanterna para cada grupo de crianças, para a realização de uma atividade prática sobre o arco-íris. Antes de cada grupo realizar o experimento, ele foi explicado de modo a minimizar

as dúvidas das crianças. Logo após, cada grupo realizou a atividade de produção similar a um arco-íris com os materiais fornecidos. Para finalizar o primeiro momento, as crianças foram orientadas a elaborar um desenho representando a experiência realizada (Figura 1).

Ao analisarmos os desenhos produzidos pelas crianças, percebemos que algumas representaram o arco-íris com menos cores do que em sua ocorrência durante o experimento. Outras crianças ilustraram todos os elementos da experiência, inclusive representando a si próprias no desenho; e há ainda as que desenharam apenas um arco-íris ou até elementos que não estavam presentes no experimento, como flores e o Sol. Segundo Goldberg *et al.* (2005), a partir do desenho, a criança expressa seu aprendizado e organiza informações. Os desenhos por elas produzidos podem ser classificados como desenhos realísticos (aqueles que representaram a realidade do experimento detalhadamente) e não realísticos (aqueles que adicionaram elementos como céu, flores, entre outros, se distanciando da atividade proposta). Essa classificação aplicada aos desenhos, bem como as nossas observações, vão ao encontro da significação dos desenhos no trabalho desenvolvido por Dominguez (2006), o que reforça o envolvimento lúdico com a atividade recriando ou reordenando a realidade.

No segundo momento do encontro, as crianças foram conduzidas ao pátio da Escola e organizadas na forma de um arco, ao redor de uma mangueira d’água. As bolsistas, responsáveis pelo desenvolvimento do projeto, criaram um arco-íris, posicionando a água da mangueira contra a luz do Sol. Importante ressaltar as manifestações de alegria por parte das crianças quando visualizaram o arco-íris.

No encontro seguinte, a experiência sobre a “formação do arco-íris” foi relembrada, em uma Roda de Conversa com as crianças, para reforçar o trabalho e propiciar a sistematização da vivência. Nesse momento, as crianças fizeram estes comentários: “o arco-íris acontece por causa da água, luz e o Sol.”; “o arco-íris só forma quando tem água, luz do

O desenvolvimento deste projeto culminou com a construção de um portfólio constituído pelas atividades realizadas em cada encontro.

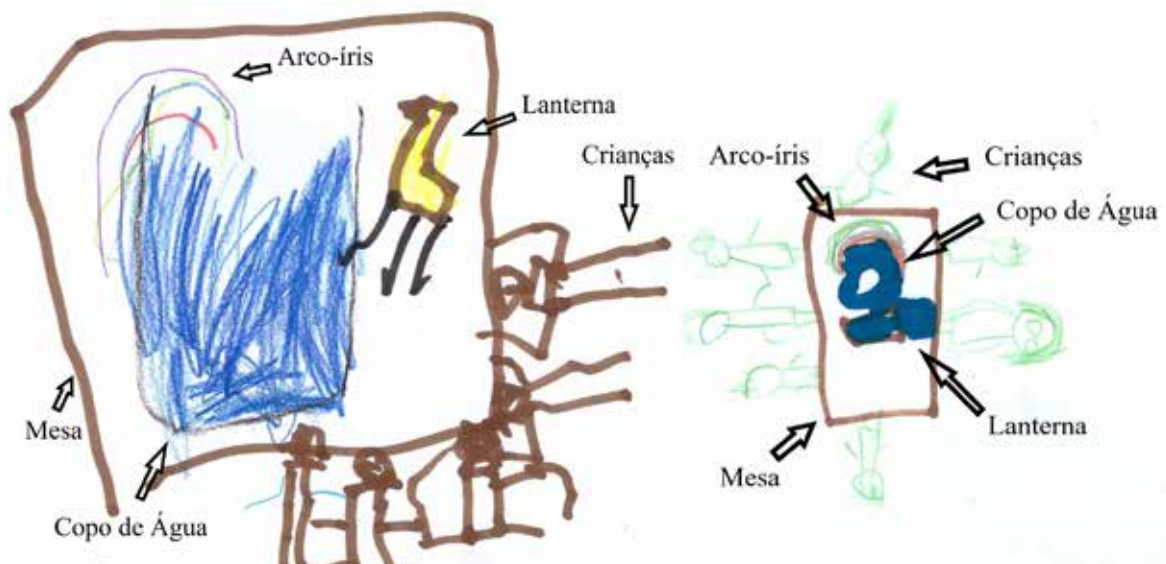


Figura 1: Ilustrações Ação Arco-íris. Fonte: Dados coletados pelo autor.

Sol, gota de chuva”; e “a luz aponta para a água e forma o arco-íris”. Tais comentários foram registrados no caderno de campo das bolsistas. Eles são evidências de iniciativa e engajamento ativo por parte dos participantes, o que leva ao desenvolvimento de uma das categorias necessárias para uma adoção de uma atitude científica.

b) Cores primárias e secundárias

No encontro sobre “cores primárias e secundárias”, introduzimos o tema por meio de uma contação de história, na qual duas crianças fizeram um lindo desenho, tendo apenas as cores amarelo, azul e vermelho. Finalizada a história, perguntamos se isso era possível e muitos estudantes responderam imediatamente que sim, e contaram que eles sabiam como produzir o verde, o laranja e o roxo, a partir das três cores citadas na história. Em seguida, perguntamos às crianças como seria possível obter a cor marrom, a partir das cores: amarelo, azul e vermelho. Para esse questionamento, as crianças não falaram nada. Então, realizamos uma atividade prática sobre como obter as cores secundárias e terciárias, tendo como base as cores primárias. Depois da realização da referida prática, pedimos às crianças que desenhassem

uma árvore, fazendo uso apenas das três cores primárias. Como exemplo do resultado desta atividade, apresentamos a Figura 2.

Depois de analisarmos os desenhos oriundos desta prática, observamos a ocorrência da cor marrom em apenas dois desenhos, um de cada turma. Considerou-se que as regras impostas pelas bolsistas desafiam às crianças e algumas se dispuseram a obedecer. Neste momento, segundo Vigotsky (2003), elas conseguem interiorizar o mundo a sua volta.

Nesse conjunto de desenhos das crianças, é importante observarmos a presença da grama, do Sol, das nuvens e do céu, algo que não foi solicitado. Com base em Vigotsky (2003), a presença desses elementos nos desenhos é uma indicação de que as crianças reorganizaram as suas ideias e recriaram uma realidade já vivida, em vez de desenharem apenas a árvore.

c) Substâncias heterogêneas e homogêneas

Iniciamos o encontro sobre “substâncias heterogêneas e homogêneas” com esta pergunta: “o que vocês entendem como mistura?”. Imediatamente, muitas respostas surgiram, como: “mistura é misturar uma coisa na outra coisa” e “é



Figura 2: Ilustração Cores Primárias e Secundárias. Fonte: Dados coletados pelo autor.

quando a gente pega uma coisa e põe na outra coisa”. Então, entregamos uma atividade impressa, na qual as crianças deveriam ilustrar o que elas imaginavam que resultaria de uma mistura entre: água e açúcar; água e areia; água e sal; água e óleo. Ao término dessa etapa, as crianças realizaram experiências sobre os respectivos assuntos e, novamente, foram convidadas a desenhar o que observaram em cada experimento. Analisamos as produções e comparamos os desenhos produzidos antes e depois da realização de cada experimento prático. Percebemos que, antes de realizarem as experiências, muitas crianças fizeram um único desenho para representar todas as quatro situações, desenhando, no segundo momento, após as práticas experimentais, algo diferente para cada situação. Diante dessas evidências, acreditamos que os últimos desenhos refletem a compreensão dos fenômenos por parte das crianças, o que nos leva a considerar, ainda mais, a importância da forma de abordagem de uma atividade sobre o processo de aprendizado.

d) Separação de uma “mistura” heterogênea

O tema “separação de uma mistura heterogênea” foi desenvolvido em três encontros. No primeiro, contamos uma história em que alguns amigos misturaram água e areia, sem querer, e precisavam de ajuda para separar os dois materiais, pois aquelas duas crianças não sabiam como fazer. Na sequência, solicitamos às crianças que ajudassem os personagens da história e que expusessem suas ideias sobre como poderiam separar a água da areia. Várias respostas surgiram, como: “podemos usar uma peneira!” e “podemos virar a água com muito cuidado”. Nesse momento, houve concordâncias e discordâncias, em relação às soluções. Entretanto, não chegaram a outras soluções para o problema. Acreditamos que essas respostas são evidências de conhecimentos prévios das crianças, ou seja, elas já haviam, possivelmente, realizado observação semelhante em um momento anterior, o que deve ser levado em consideração em sala de aula, pois valoriza o saber e enriquece seu processo de construção.

Nesse contexto, as bolsistas usaram um exemplo dado por uma das crianças (“podemos virar a água com muito cuidado”) e perguntaram à classe se seria uma boa ideia deixar a “mistura” em repouso por algum tempo e, depois, derramar o líquido do recipiente com cuidado, de modo que a areia ficasse no fundo do vasilhame de onde a água foi escoada. Após ouvirem a exemplificação, as crianças que, inicialmente, discordaram dessa ideia, passaram a concordar com ela. Diante disso, realizamos o teste prático da solução idealizada. Distribuímos um copo com água e areia e alguns materiais que serviriam de filtros (um papel de limpeza, um filtro de café, um pedaço de pano, uma peneira e uma meia) para cada grupo. Para a atividade, as crianças

Distribuímos um copo com água e areia e alguns materiais que serviriam de filtros (um papel de limpeza, um filtro de café, um pedaço de pano, uma peneira e uma meia) para cada grupo. Para a atividade, as crianças foram questionadas, primeiramente, quanto à eficiência dos filtros propostos. Após o questionamento, realizamos os experimentos com cada um dos filtros.

foram questionadas, primeiramente, quanto à eficiência dos filtros propostos. Após o questionamento, realizamos os experimentos com cada um dos filtros. Foram perceptíveis a alegria e a decepção das crianças com a eficácia ou não dos filtros. Manifestações como: “ah, eu achava que a peneira ia funcionar, mas passou algumas coisas”, “sabia que o papel não ia funcionar, ele fica mole depois de molhado”, entre outras, são evidências da importância da experimentação para se descobrir o novo.

A partir das observações, discutimos com as crianças o que foi observado, qual filtro seria o melhor e qual o pior para separar a “mistura” e o porquê. Perguntamos “quando a água passou pelo pano, ela saiu limpa ou suja? E quando passou pela peneira?”. Para tais questões, obtivemos estas repostas: “separa, só que vai sujeira também” e “a peneira tem essa gradezinha que deixa a areia fina passar, então não é bom”. Essas respostas indicam a importância da prática investigativa que proporciona o indivíduo momentos para participação de seu processo de ensino-aprendizagem. Para a finalização do momento, classificamos, entre os filtros, o “melhor” e o “pior”.

No segundo encontro, relembramos o que foi usado para separar a água da areia. Muitas crianças destacaram que a água havia continuado “suja” ou com cor estranha, apesar de ter sido filtrada pelos filtros propostos. Diante disso, propusemos a construção de um filtro de garrafa PET. Explicamos como montar este tipo de filtro e colamos uma imagem do referido filtro no quadro e auxiliamos as crianças em sua construção.

No decorrer da confecção do filtro, observamos que alguns grupos de crianças brincavam com os materiais disponibilizados, enquanto outros estavam mais empenhados na montagem do filtro. Após a construção, cada grupo teve a oportunidade de filtrar a água do último experimento, que ainda estava “suja”, e quase todos os grupos alcançaram êxito nessa nova filtragem, conforme atesta a água limpa/transparente, ilustrada

na Figura 3a. As crianças dos grupos em que água não estava ficando clara conseguiram observar a diferença entre a água deles e a dos demais grupos, e questionaram sobre o que poderia ter acontecido. Aproveitamos a situação e discutimos com o grupo sobre a agitação da garrafa, a perda dos elementos para colocar no filtro, o posicionamento do algodão, entre outros aspectos que poderiam ter influenciado o resultado. Após essa discussão e a observação da água clara obtida pelos grupos que alcançaram êxito, conduzimos as crianças à conclusão de que o filtro de garrafa PET poderia ser a melhor opção entre todos os filtros testados. Por fim, as bolsistas solicitaram que as crianças desenhassem o filtro construído (Figura 3b).

No terceiro e último encontro em que abordamos o tema

“mistura” heterogênea, perguntamos aos estudantes se seria possível beber aquela água que foi filtrada no filtro de garrafa PET, a água “limpa”, fruto do experimento do último encontro. A maioria dos alunos respondeu que sim: “claro que podemos, ela saiu limpinha”, “sim, ela saiu transparente”. Entretanto, um dos estudantes disse “não, porque a água ainda tem germes!”. Nesse momento, algumas crianças ficaram paradas, pensativas, enquanto outras comentavam “verdade, existe os micróbios” e “verdade, minha mãe fala deles”. Com base nesses diálogos, percebemos como as crianças estavam dispostas a mudar de decisão, quando novos argumentos foram apontados e elas puderam refletir sobre eles. Então, apresentamos, com o auxílio de um projetor, uma história desenvolvida pelo Programa Chuá de Educação Sanitária e Ambiental – COPASA sobre a Estação de Tratamento de Água – ETA (Revista Família Chuá/COPASA, 2016). Essa história trazia a ETA ilustrada detalhadamente e abordava a importância do tratamento da água para o seu consumo.

Para a sistematização, desenvolvemos um jogo de tabuleiro, no qual as crianças tinham que determinar como fazer o uso correto da água, evitando o seu desperdício (Figura 3c).

e) Densidade (Flutua na água ou não)

Para abordarmos o tema “densidade” com os estudantes da EI, mostramos um objeto flutuando na água e perguntamos: “como está o objeto?”. Diversas foram as respostas, entre elas: “o objeto está boiando na água”; “o objeto está flutuando na água”. Para darmos continuidade à abordagem, questionamos às crianças: “o que significava, para elas: flutuar?”. Muitas esperaram a resposta de outros colegas para responderem. Uma das crianças disse: “pra flutuar tem que estar em cima da água”.

Para esse encontro, as crianças ficaram sentadas no chão, em roda, em torno de uma bacia com água. Todos os objetos

que seriam colocados dentro da bacia foram apresentados para a turma: rolha, chave de metal, vela, colher de metal, colher de plástico, laranja, clipe de metal, canudinho, garrafa PET e um pedaço de madeira. Antes de darmos início ao experimento, perguntamos às crianças qual era a expectativa delas sobre o comportamento de cada objeto apresentado, ao ser colocado dentro da bacia com água: “ele iria afundar ou flutuar?”. Várias foram as respostas, tais como: “a colher de metal afundará porque é de metal, e a de plástico vai flutuar porque é de plástico”; “metal afunda, plástico flutua”; “o clipe é de metal e ele vai afundar”; “as coisas que são gordas, flutuam” (referindo-se à laranja). Após o levantamento de diversas hipóteses sobre o comportamento dos objetos na água, eles foram colocados um a um, dentro da bacia com água. Nesse instante, as crianças ficaram muito

entusiasmadas e manifestaram grande alegria ao verem suas hipóteses sendo concretizadas.

Depois de observarem essa prática, as crianças construíram as seguintes explicações para os resultados obtidos: “a laranja flutuou porque as coisas grandes flutuam e o clipe afundou porque as coisas pequenas afundam”; “mas a rolha, que é pequena, flutuou, porque é de plástico”; “as coisas que têm ar dentro flutuam e as coisas que não têm ar dentro afundam, por isso que a laranja flutuou”; “o canudo flutuou porque ele é mole”; “a garrafa flutuou porque ela é grande”; “a garrafa flutuou porque ela tem ar dentro”.

Todas as explicações das crianças foram ouvidas atentamente pelas bolsistas e, em seguida, as crianças assistiram a um episódio da animação “Show da Luna – Afunda ou Flutua” (Show da Luna, 2016), como forma de sistematização da investigação realizada. A escolha desse recurso audiovisual tem como justificativa a abordagem lúdica e, também, o caráter informal de tratamento do ECN. Na animação, os personagens buscam descobrir o meio que os cerca pela observação,

Antes de darmos início ao experimento, perguntamos às crianças qual era a expectativa delas sobre o comportamento de cada objeto apresentado, ao ser colocado dentro da bacia com água: “ele iria afundar ou flutuar?”.

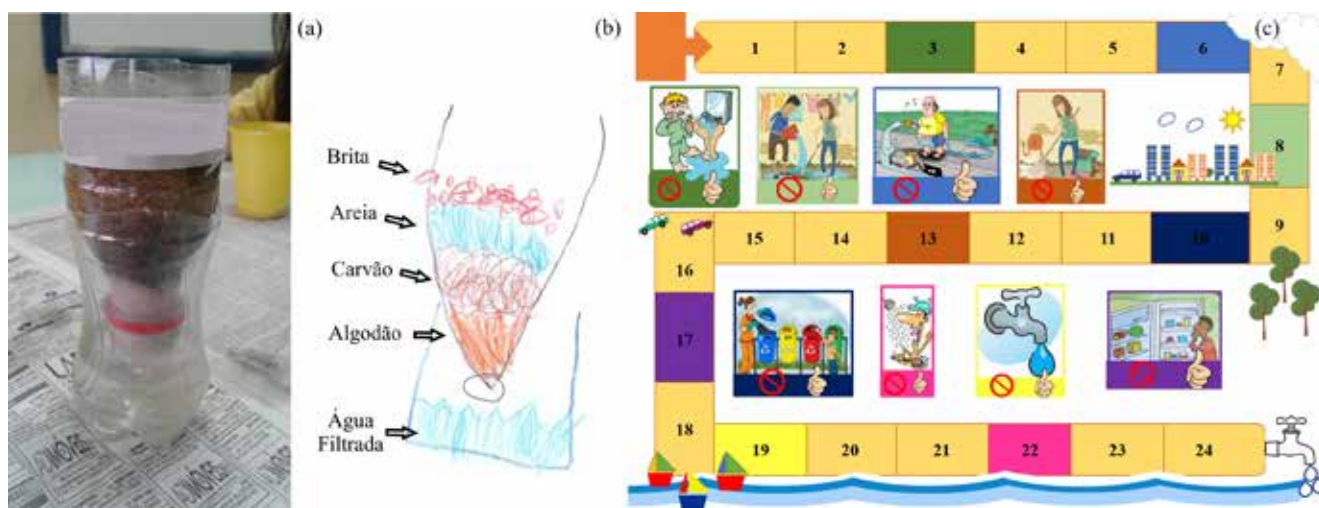


Figura 3: Separação de uma “mistura” heterogênea. (a) Filtro de garrafa PET; (b) Desenho do filtro de garrafa PET; (c) Jogo da água. Fonte: Arquivo pessoal do autor.

exploração e experimentação, em um ambiente familiar, o quintal de casa. O desenho é marcado por dois momentos principais: a construção de hipóteses e a experimentação. O próprio nome do episódio nos indica seu tema, o estudo da densidade. Os personagens explicam o mesmo experimento realizado pelas crianças participantes deste projeto e apresentam como estratégia o uso de uma canção. Ao final do episódio, as crianças pediram que o vídeo fosse exibido novamente e, juntos, cantamos a canção de explicação da densidade. Nesse momento, observamos que algumas crianças já conheciam o episódio exibido e pudemos, inclusive, correlacionar algumas das respostas obtidas após os experimentos com a animação (Leles e Miguel, 2017). Não houve registro de crianças explicando a palavra densidade e apenas três crianças explicaram o fenômeno indicando a presença de ar na matéria. O trabalho de Moreira (2019) traz resultados semelhantes aos que apresentamos, principalmente no que tange ao fato de as crianças participantes não citarem a palavra densidade e à pequena quantidade de crianças que utilizaram a informação “presença de ar na matéria” para explicar o fenômeno.

f) Ciclo da água

O encontro com a temática “ciclo da água” teve início com esta pergunta às crianças: vocês sabem como a chuva acontece e como a água da chuva vai para as nuvens? Diversas respostas foram obtidas: “uma nuvem bate na outra e chove”; “a gravidade puxa a água lá pra cima”; “o Sol suga a água”; “o Sol leva a água lá para cima e chove”, entre outras. Após ouvirmos as crianças, realizamos um experimento no qual um cubo de gelo, colocado sobre um vidro de relógio, foi derretido, utilizando-se vapores de água aquecida contida em um copo. O vidro de relógio foi colocado sobre um recipiente também de vidro. Após a realização do experimento, as crianças perceberam que o vidro de relógio estava com a parte de baixo “suada” – com gotas de água. Com base em tal observação, foi possível discutir com as crianças sobre o fato de que uma mesma água pode passar por mais de um estado físico. Para melhor compreensão, o Ciclo da Água foi desenhado no quadro. Primeiramente, desenhamos o mar, o Sol, as nuvens e as gotas de chuva. Em seguida, explicamos que o Sol “esquenta” a água e que ela “sobe” para o céu; do mesmo modo como ocorreu no experimento que observaram anteriormente.

Uma das crianças disse: “é igual quando a gente esquenta a água no fogão e ficam aquelas bolhas e aquele vapor de água”. Então, perguntamos, na sequência, o que aconteceu quando a “água quente” (em forma de vapor) entrou em contato com o vidro de relógio sobre o qual estava o cubo de gelo? A resposta foi unânime: “o gelo derreteu”. Logo após, para organização do raciocínio, explicamos que o gelo derrete por causa do calor do vapor de “água quente”. Deste modo, podemos associar o desenho do quadro ao que acontece com a água do mar quando o Sol a “esquenta”. Explicamos também que, quando o vapor de água chega a partes muito altas e frias do céu (atmosfera), as nuvens são formadas.

Para melhor apreensão da discussão, solicitamos às crianças que desenhassem o que entenderam sobre o Ciclo da Água. Após esse encontro, percebemos que os estudantes não somente tinham gostado bastante do encontro, mas também que realmente haviam conseguido construir um conhecimento sistematizado, sendo, inclusive, possível a gravação de um vídeo acerca do tema trabalhado, que se encontra disponibilizado na rede social *Facebook*.

Entrevista e Reunião Final Pais / Responsáveis

Ao final do desenvolvimento do Projeto, realizamos uma entrevista individual com cada criança que participou deste estudo, totalizando 24 estudantes (14 faltaram, nesse dia). Para essa entrevista, as perguntas foram elaboradas previamente, e as respostas das crianças foram anotadas em nosso caderno de campo, durante a própria entrevista. Essa prática teve como objetivo levantar indícios sobre o impacto da realização do Projeto na realidade/na vida daquelas crianças. Ficamos satisfeitas ao ouvir a opinião das crianças sobre o trabalho desenvolvido e ao sabermos que algumas delas levaram as experiências para casa. Os gráficos apresentam os dados quantificáveis oriundos da referida entrevista (Figura 4).

Observa-se que 100% das crianças entrevistadas gostaram do projeto e 50% delas falaram sobre o projeto em casa, sendo que 46% dessas crianças realizaram alguma experiência em casa. Esse engajamento com o projeto permite considerar um aspecto de relevante: o interesse das crianças pelo o que havia sido proposto, dando pistas do envolvimento cognitivo e afetivo causado pela proposta educativa. Quanto ao fato de

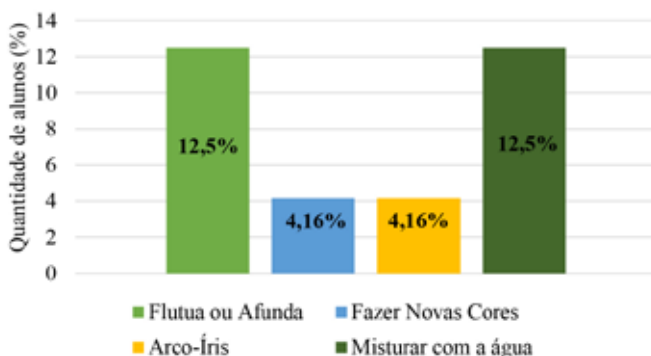


Figura 4: Entrevista com as crianças participantes do Projeto. Fonte: Dados coletados pelo autor.

as experiências sobre densidade e misturas de substâncias terem sido mais reproduzidas, isso se deve à possibilidade de utilização de materiais diferentes dos materiais escolares usuais, como os lápis de cores.

O contato com as famílias ocorreu durante uma reunião semestral que a Escola realiza regularmente com os pais/responsáveis pelas crianças, a fim de entregar a eles os documentos comprobatórios dos resultados obtidos durante o semestre letivo pelos estudantes.

Nessa reunião, entregamos às famílias o portfólio com as atividades que foram realizadas pelas crianças, no decorrer do Projeto. Aproveitamos para obter um retorno por parte dos pais/responsáveis sobre o trabalho que realizamos. Muitos foram os comentários elogiosos e favoráveis à incorporação do ECN na EI. Nesse momento final, também recebemos a solicitação de materiais para a reprodução dos experimentos em casa, por parte das crianças, o que é bastante significativo e reforça o teor positivo das respostas das crianças durante a entrevista e, conseqüentemente, o desenvolvimento de uma atitude científica.

Considerações finais

Este estudo apresenta indícios positivos sobre o Ensino de Ciências Naturais na educação infantil, pois traz informações relevantes sobre a construção de conhecimentos nos campos do ECN e sobre a construção de uma atitude científica na infância.

Diante desses dados, que corroboram outros estudos sobre o ECN na EI, a equipe do PAEC reforça a necessidade do ECN desde os primeiros anos escolares e assegura a possibilidade de construção de um saber científico juntamente com as crianças. No curso do desenvolvimento do Projeto, percebemos que, ao explorar o mundo das Ciências, as crianças levantaram hipóteses, observaram os fatos, realizaram tentativas, tiveram êxito, incorreram em erros, refletiram e se mostraram abertas para novas opiniões e realidades. Franco e Munford (2017) discorrem sobre a:

[...] *importância de se introduzir discussões que demandem trabalho com dados que possam ser usa-*

dos como evidências na produção de respostas pelas crianças. Para isso, deve ser valorizada uma cultura de questionamento na sala de aula, baseada no constante trabalho em torno de questões, sejam elas produzidas pelos professores, sejam pelas crianças (Franco e Munford, 2017, p.120).

Além de toda a relevância do ECN na EI, esta investigação também nos mostrou o quanto as atividades propostas para esse público da EI precisam ser cuidadosamente pensadas, planejadas e fundamentadas, para que se possam proporcionar às crianças momentos de desenvolvimento de uma atitude científica consistente, de modo adequado à faixa etária dos estudantes. Nesse sentido, as autoras Sasseron e Carvalho (2011) destacam que é necessário que alguns tipos básicos de questões sejam estimuladas em sala de aula, sobretudo, se se deseja que os estudantes sejam capazes de construir argumentos que representem suas ideias em relação aos fenômenos e às situações. As pesquisadoras citadas alertam também para o fato de que o tempo destinado ao ECN e à formação de professores que possam mediar a construção desse conhecimento ainda é incipiente nos cursos de formação de professores para a EI. Embora haja pesquisas que relatem e evidenciem a importância do ECN para essa primeira etapa escolar, sua efetividade nas escolas brasileiras pode ser considerada aquém do esperado.

Nesse contexto, julgamos oportuno que o ECN seja visto como um direito das crianças, o qual deve ser garantido pelo Estado para que elas tenham a oportunidade de descobrir o mundo ao seu redor (Larimore, 2020) sob a ótica da ciência, o que contribuirá para formação de uma sociedade capaz não apenas de compreender e interpretar o mundo (natural, social e tecnológico), mas também de transformá-lo (Tippett e Milford, 2017).

Sthéfany Zaida Silva do Amparo (sthéfany_zaida@hotmail.com), doutoranda em Físico-Química e licenciada em Química pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Belo Horizonte, MG – BR. **Ana Cristina Ribeiro Vaz** (anaribvaz2@gmail.com), professora de Ciências no Centro Pedagógico UFMG. Mestre em Microbiologia pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Belo Horizonte, MG – BR.

Referências

- BRASIL. Ministério da Educação e do Desporto. Secretaria de Educação Fundamental. *Referencial curricular nacional para a educação infantil*. Brasília: MEC/SEF, 1998.
- BRUCH, D. R.; RIBEIRO, M. E. M. Da Chuva ao Arco-Íris: Introduzindo a pesquisa na sala de aula da Educação Infantil. *Revista ENCITEC*, v. 8, n. 3, p. 125-139, 2018.
- DE OLIVEIRA, A. P. L.; CORREIA, M. D. Aula de campo como mecanismo facilitador do ensino-aprendizagem sobre os ecossistemas recifais em alagoas. *Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia*, v. 6, n. 2, p. 163-190, 2013.
- DOMINGUEZ, C. R. C. *Desenhos, palavras e borboletas na educação infantil: brincadeiras com as idéias no processo de*

significação sobre os seres vivos. Tese (doutorado) - Universidade de São Paulo, Faculdade de Educação, 2006.

EITERER, C. L.; MEDEIROS, Z. *Metodologia de pesquisa em educação*. Belo Horizonte: UFMG, v. 1, 2010.

ESHACH, H. ; FRIED, M. N. Should science be taught in early childhood? *Journal of Science Education and Technology*, v. 14, n. 3, p. 315-336, 2005.

FRANCO, L. G.; MUNFORD, D. Quando as crianças argumentam: a construção discursiva do uso de evidências em aulas investigativas de ciências. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 22, n. 3, 2017.

FRENCH, L. Science as the center of a coherent, integrated early childhood curriculum. *Early Childhood Research Quarterly*, v. 19, n. 1, p. 138-149, 2004.

GOLDBERG, L. G.; YUNES, M. A. M.; FREITAS, J. V. DE. O desenho infantil na ótica da ecologia do desenvolvimento humano. *Psicologia em estudo*, v. 10, n. 1, p. 97-106, 2005.

GONZÁLEZ, S. A.; GODOY, R.; VEAS, P. Science and Technology Congress for Preschoolers as a strategy for the initiation of science. *Early Child Development and Care*, v. 190, n. 4, p. 594-614, 2020.

KIM, K. J. et al. The Power of Garden-Based Curriculum to Promote Scientific and Nature-Friendly Attitudes in Children Through a Cotton Project. *Journal of Research in Childhood Education*, p. 1-13, 2020.

KRAMER, S. *Com a pré-escola nas mãos: uma alternativa curricular para a educação infantil*. Editora Atica, 1989.

LARIMORE, R. A. Preschool Science Education: A Vision for the Future. *Early Childhood Education Journal*, p. 1-12, 2020.

LELES, D. G.; MIGUEL, J. R. Desenho animado como instrumento de ensino das ciências. *Revista de Educação, Ciências e Matemática*, v. 7, n. 1, 2017.

LICHENE, C. Promoting science education in early childhood: a research in a nursery school. *European Early Childhood Education Research Journal*, v. 27, n. 3, p. 397-408, 2019.

MORAIS, E.; ARAÚJO, E. Jogos e brincadeiras: O lúdico na Educação Infantil e o desenvolvimento intelectual. *Faculdade de Pimenta Bueno/RO*, 2012.

MOREIRA, Y. C. *O show da Luna: um estudo sobre a recepção das idéias científicas pelas crianças*. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto, Instituto de Ciências Humanas e Sociais, 2019.

OLIVEIRA, B. A. *Fundamentação marxista do pensamento de Dermeval Saviani. Dermeval Saviani e a educação brasileira. O simpósio de Marília*. São Paulo: Cortez, 1994.

REIS, S. S. F. dos. *Ensino de Ciências da Natureza na Educação Infantil entre o currículo prescrito e o currículo modelado*. Dissertação (mestrado) - Universidade de Araraquara, 2016.

Revista Família Chuá. COPOASA, Belo Horizonte, [s.d.].

Disponível em: <http://www.copasa.com.br/wps/portal/internet/pesquisa-escolar/destaques/revista-familia-chua/revista-familia-chua>. Acesso em mar. 2016.

RHODES, M.; CARDARELLI, A.; LESLIE, S.-J. Asking young children to “do science” instead of “be scientists” increases science engagement in a randomized field experiment. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 117, n. 18, p. 9808-9814, 2020.

ROCHA, A. G. et al. Educação infantil. Articulando a produção de desenhos com a educação ambiental em uma escola comunitária do sul do Brasil. *Revista Ibero-americana de Educação*, v. 72, p. 183-206, 2016.

SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P. Uma análise de referenciais teóricos sobre a estrutura do argumento para estudos de argumentação no ensino de ciências. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 13, n. 3, p. 243-262, 2011.

Show da Luna. Afunda ou flutua. 2014. (11m38s). Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=A957b3MtX_Y. Acesso em mar. 2016.

TIPPETT, C. D.; MILFORD, T. M. Findings from a pre-kindergarten classroom: Making the case for STEM in early childhood education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, v. 15, n. 1, p. 67-86, 2017.

VIGOTSKY, L. S. *La imaginación y el arte en la infancia*. Ediciones Akal, 2003.

ZUQUIERI, R. DE C. B. *O ensino de ciências na educação infantil: análise de práticas docentes na abordagem metodológica da pedagogia histórico-crítica*. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências, 2007.

Para saber mais

MARTINS, Isabel et al. *Despertar para a ciência-atividades dos 3 aos 6*. Lisboa: Ministério da Educação, 2009.

CHARPAK, G. *La Main à la pâte: Les sciences à l'école primaire*. Paris: Flammarion, 1996.

Abstract: *Science teaching in early childhood education: classroom reports.* The article presents reflections on the results obtained in the development of the Project Playing as a Scientist: the Teaching of Natural Sciences in Early Childhood Education, developed by the team of the Complementary Educational Actions Program, with 38 children aged five years, who attend Early Childhood Education in a school of the Municipal Network of Belo Horizonte, MG. In the course of the work, the children were invited to perform activities, observations, and explorations based on investigative experiences that favored the discovery of the world around them. The realization of these practices aimed to recognize the attitudes of the informants towards the experiences. Based on our observations in the classroom, on the analysis of the drawings produced by the students, and on the interview at the end of the activities, we perceive the development of a scientific attitude on the part of the children in the face of the experiences, which reinforces the importance of the inclusion of Science Teaching in Early Childhood Education.

Keywords: early childhood education, science education, research.

Problema no ensino do equilíbrio de fases condensadas com fase de vapor

Victor Dubas da Silva

O mito de que o iodo não funde ao ser aquecido em pressão atmosférica e, em vez disso, passa diretamente para a fase de vapor é tão disseminado que é difícil encontrar quem nunca o tenha ouvido. Ao mesmo tempo, observa-se dúvidas com relação à “temperatura de evaporação” da água. Ambos problemas são indicativos de conceitos mal formados sobre o equilíbrio de fases condensadas com fase de vapor e, portanto, é necessário elucidar os problemas mencionados. Para tal, transições de fases e o equilíbrio de fases condensadas com fase de vapor são revistos, baseando a discussão no conceito de pressão de vapor. Transições de fases sólidas para vapor são distinguidas com base na relação entre a pressão de vapor da substância e a pressão atmosférica e comparadas com a evaporação e ebulição de líquidos. Propostas referentes a definições mais cuidadosas dos termos de transição sólido-vapor são compartilhadas como possíveis meios de evitar a associação do iodo ao gelo seco.

► ensino de química, equilíbrio sólido-vapor, sublimação ◀

Recebido em 15/04/2020, aceito em 04/07/2020

Duas substâncias comumente utilizadas para demonstrar a transição da fase sólida diretamente para a fase gasosa são o iodo e o gelo seco (dióxido de carbono sólido). Se mantidas em recipientes abertos à temperatura ambiente (25 °C), ambas as substâncias espontaneamente se transformam em vapor, de modo lento para o iodo, que passa de um sólido cinza escuro para um vapor de coloração roxa (e tóxico), e rápido para o gelo seco, que passa de um sólido branco, semelhante ao gelo comum, para um vapor incolor, mas, devido à sua baixa temperatura, condensa o vapor de água em suas proximidades e, portanto, causa a impressão de emitir um vapor branco (Kotz *et al.*, 2008; Stojanovaska *et al.*, 2012; Chang e Goldby, 2016; Brown *et al.*, 2016). As demonstrações, então, comumente seguem dizendo que este é um fenômeno chamado sublimação, e os estudantes associam as duas substâncias como exibindo o mesmo comportamento. Um problema emerge, contudo, quando os estudantes descobrem que o gelo seco não funde ao ser aquecido sob pressão atmosférica, mas o iodo, sim. Uma questão comum é “como pode o iodo fundir se ele sublima?”.

Intimamente relacionada está a questão “a que temperatura a água evapora?”, que confunde muitos discentes e intrigou o autor durante parte de seu ensino médio. Neste caso, a confusão surge porque tem-se difundido que a água evapora a 100 °C, mas o discente observa que a água de lagos evapora e as roupas úmidas no varal secam sem que a temperatura do ambiente atinja aquele valor (Silveira, 2016).

A relação entre as duas questões se encontra no problema que as origina: a incúria no ensino do equilíbrio de fases condensadas (estados sólido e líquido) com fase de vapor. Este artigo tem por objetivos esclarecer a origem de tal equilíbrio e responder às questões citadas.

O mito do iodo

O iodo tem pontos de fusão e ebulição bem estabelecidos à pressão atmosférica e disponíveis em livros didáticos comumente utilizados no ensino superior (cerca de 114 °C e 184 °C, respectivamente) (Atkins e Jones, 2012; Silberberg, 2013; Shriver *et al.*, 2014; Brown *et al.*, 2016; Chang e Goldby, 2016). Apesar disso, é fácil encontrar materiais de divulgação científica e livros que afirmam que, ao ser aquecido sob pressão atmosférica, o iodo não funde, apenas transita para a fase gasosa, mesmo já existindo discussões acerca deste problema (Stojavoska *et al.*, 2012; NileRed, 2017).

A seção “Ensino de Química em Foco” inclui investigações sobre problemas no ensino de Química, com explicitação dos fundamentos teóricos, procedimentos metodológicos e discussão dos resultados.

O *The periodic table book: a visual encyclopedia of the elements* (O livro da tabela periódica: uma enciclopédia visual dos elementos), ótimo em diversos aspectos, afirma com destaque que “Todo sólido **não funde** quando aquecido, mas se transforma em vapor”¹ (Jackson, 2017, p. 186, grifo do autor). A empresa MEL Science, que possui excelentes materiais de divulgação científica, afirma em um vídeo disponível no YouTube que “Quando aquecido, iodo **sublima** – passa do estado sólido para o gasoso, evitando o estado líquido”² (MEL Science, 2017, grifo do autor). Um artigo da revista *Education in Chemistry*, voltada para professores de química e publicada pela *Royal Society of Chemistry*, apresenta o aquecimento de uma amostra de iodo como substituto do gelo seco em demonstrações de sublimação e é completamente omissivo quanto à sua fusão, induzindo os leitores a crer que as substâncias se comportam de modo igual e, portanto, que o iodo não funde (Fleming, 2018). Em contraste, um artigo anterior da *Química Nova na Escola* acerca de uma demonstração do equilíbrio de sublimação do iodo destaca que “por aquecimento há passagem da fase sólida diretamente para a gasosa, quando se encontra em temperaturas abaixo da de seu ponto de fusão (113,55 °C)” (Machado Júnior *et al.*, 2006). Adicionalmente, existem relatos de professores que proferiram o mito e posteriormente descobriram sua falha (Jansen e Brubacher, 2015).

Como o iodo tem pontos de fusão e ebulição (à pressão atmosférica) bem determinados, pode-se esperar que, ao se aquecer uma amostra de iodo em um recipiente aberto até seu ponto de fusão, sua fusão seja observada. De fato, sua fusão é observada nessas condições e pode ser conferida em diversos vídeos no YouTube (Edu Corner, 2017; NileRed, 2017; BackYard Science 2000, 2019; John Geologist, 2019; Thoisoi2 – Chemical Experiments!, 2019). A fusão do naftaleno nas mesmas condições também pode ser conferida pelo leitor em vídeos na mesma plataforma (KClassScienceChannel, 2013; Subath Productions, 2018). O conteúdo da segunda referência, contudo, não deve ser repetido de modo algum, pois o naftaleno é tóxico (e possivelmente carcinógeno) (Stohs *et al.*, 2002; Luttrell, 2009).

Alguns pontos devem ser destacados, entretanto, pois podem dificultar a observação da fase líquida. Naturalmente, para que seja observada, deve-se atingir a temperatura de fusão da substância em questão e evitar atingir a de ebulição. Os pontos de fusão e ebulição das substâncias mencionadas são bem separados e, portanto, manter a amostra abaixo da temperatura de ebulição não deve ser um problema (os pontos de fusão e ebulição do iodo são, respectivamente: 113,7 °C e 184,4 °C; e os do naftaleno são: 80,22 °C e 218,0 °C, todos a 1 atm; Haynes, 2016). A temperatura de fusão, entretanto, deve ser atingida antes que todo o sólido transite para gás. Logo, o aquecimento não pode ser lento. Outro ponto primordial é que os vapores são intensos e podem ofuscar a fase líquida e, portanto, em uma demonstração pode ser interessante despejar o líquido em outro recipiente.

Sabendo, então, que sólidos podem passar para a fase gasosa e fundir, deve-se responder à primeira questão da introdução “como pode o iodo fundir se ele sublima?”

ou, equivalentemente, “como pode o gelo sublimar se ele funde?”. Para tal, convém rever o equilíbrio de fases condensadas com fase de vapor.

Equilíbrio de fases condensadas com fase de vapor

Transformações da matéria e, conseqüentemente, equilíbrios, são dirigidos por diferenças de energia livre. Ao atingir o equilíbrio entre fases, as energias livres de ambas as fases se igualam (Atkins e de Paula, 2012). Essa propriedade é aproveitada para calcular pressões de vapor, que também podem ser utilizadas para caracterizar equilíbrios e servirão de guia nesta discussão, por serem mais palpáveis.

É bem sabido que líquidos que não ocupam todo o espaço disponível em recipientes tendem a espontaneamente entrar em equilíbrio com sua fase de vapor, atingindo a pressão de vapor da substância a determinada temperatura, no denominado equilíbrio líquido-vapor (Atkins e Jones, 2012; Ball, 2014; Tro, 2016). Contudo, poucos são os livros que não dedicam apenas notas de rodapé a declarar que sólidos também se comportam desse modo e atingem um estado de equilíbrio sólido-vapor (Silberberg, 2013; Chang e Goldby, 2016; Tro, 2016).

A origem do equilíbrio sólido-vapor é a mesma do equilíbrio líquido-vapor: se trata de um fenômeno de superfície, em que partículas que estão na região superficial da substância adquirem, por flutuações térmicas, energia suficiente para vencer a atração das partículas vizinhas e acabam escapando da fase condensada para a fase de vapor. Ao mesmo tempo, partículas da fase de vapor retornam à fase condensada (Chang e Goldby, 2016; Tro, 2016). Quando a taxa de partículas partindo e retornando da fase condensada é igual, tem-se o equilíbrio da fase condensada com a fase de vapor (Atkins e Jones, 2012). Aquecer a amostra aumenta a chance de partículas da superfície adquirirem energia para escapar da fase condensada e, portanto, desloca o equilíbrio para o estado de vapor. Note que a transição do estado sólido para o líquido requer que a energia *média* das partículas seja suficiente para sobrepor parcialmente a atração entre as partículas do estado sólido (Silberberg, 2013; Brown *et al.*, 2016), enquanto o equilíbrio sólido-vapor é um fenômeno de superfície e se estabelece com a pequena parcela das partículas que têm energia suficiente para vencer tal atração. Note também que os dois fenômenos são independentes e, portanto, nada impede que uma substância sólida transite para os estados líquido e gasoso concomitantemente, como observado ao se aquecer uma amostra de iodo. De fato, não há nada de anômalo em transitar para vapor e para líquido em pressão atmosférica: esse é, de fato, o comportamento normal. Incomuns são substâncias que transitam para vapor e não fundem em pressão atmosférica, como o gelo seco (Stojanovska *et al.*, 2012). É possível encontrar práticas laboratoriais que purificam substâncias por sublimação e verificam a pureza medindo o ponto de fusão, tudo em pressão atmosférica (Laxamana *et al.*, 2020). Tem-se respondida, então, a primeira questão.

Pressão de vapor

A pressão de vapor de uma substância é a pressão exercida por seu vapor quando em equilíbrio com a fase condensada, e independe do tamanho da fase condensada, mas depende da temperatura (Atkins e Jones, 2012; Brown *et al.*, 2016). Pressões de vapor para diversas substâncias podem ser obtidas em tabelas específicas. Mais comuns e acessíveis, entretanto, são tabelas com as energias livres de Gibbs de formação (ΔG_f^0) de diversas substâncias em diversos estados (normalmente presentes no final dos livros de química). Identificando uma transição de fase com uma equação do tipo (1) (utilizando a água como exemplo), pode-se valer da equação (2) para calcular, de modo aproximado, a pressão de vapor da substância, reconhecendo que, neste caso, a constante de equilíbrio (K) corresponde à pressão de vapor da substância (mais precisamente, a fugacidade) expressa em bar (1 atm = 1,01325 bar). Cuidado deve ser tomado com a temperatura, entretanto, pois a variação da energia livre de Gibbs é função da temperatura e os valores normalmente fornecidos nos livros se referem a 25 °C (Atkins e de Paula, 2012; Ball, 2014).



A pressão de vapor para algumas substâncias, a 25 °C, pode ser conferida na Tabela 1.

Como visto, se uma substância em fase condensada estiver presente em um sistema fechado com espaço vazio, a substância transitará para a fase gasosa até atingir sua pressão de vapor característica da temperatura. Portanto, se a atmosfera puder ser tomada como um sistema fechado, pelo menos localmente, um copo de água irá evaporar até que a pressão parcial da água (a pressão que o sistema teria se a água fosse seu único componente) na atmosfera iguale sua pressão de vapor. Essa é a base para o cálculo da umidade relativa, definida pela equação (3) (Atkins e Jones, 2012). Como sua pressão de vapor nunca chega a zero (exceto a 0 K), a água (e qualquer substância) evapora espontaneamente a qualquer temperatura (Stojanovska *et al.*, 2012; Silveira, 2016). Algumas substâncias, entretanto, possuem pressões de vapor tão baixas que, para efeitos práticos, desconsidera-se a transição para fase gasosa (ver tabela 1).

$$\text{Umidade Relativa} = \frac{\text{pressão parcial da água}}{\text{pressão de vapor da água}} \times 100\% \quad (3)$$

O que acontece então com a água a 100 °C? Nessa temperatura, a pressão de vapor da água se iguala a 1 atm e tem-se seu ponto de ebulição normal (temperatura em que a pressão de vapor da substância atinge 1 atm) (Brown *et al.*, 2016). O ponto de ebulição varia conforme a pressão atmosférica, que não é, necessariamente, igual a 1 atm. Notavelmente, devido à variação da pressão atmosférica, o ponto de ebulição é função da altitude. Conforme Atkins e Jones (2012, p. 338), “No

Tabela 1: Pressão de vapor de algumas substâncias a 25 °C, em atmosferas, calculadas por meio da equação (2) e dados obtidos de Atkins e de Paula (2012). Pressão de vapor para CO₂ obtida em Lemmon *et al.* (2018), naftaleno em Růžicka *et al.* (2005) e ácido benzoico em van Genderen e Oonk (2002).

Substância	Pressão de vapor a 25 °C (atm)
Dióxido de carbono	63,501
Bromo	0,28147
Benzeno	0,11085
Etanol	0,07804
Água	0,03123
Iodo	0,00041
Naftaleno	0,00011
Mercúrio	$2,62824 \times 10^{-6}$
Ácido benzoico	$9,4745 \times 10^{-7}$
Potássio	$2,39543 \times 10^{-11}$
Zinco	$2,12076 \times 10^{-17}$
Alumínio	$8,74688 \times 10^{-51}$
Cobre	$4,84593 \times 10^{-53}$
Ferro	$1,12334 \times 10^{-65}$

alto do Monte Everest – onde a pressão é aproximadamente 240 Torr – a água ferve em 70 °C” (240 Torr equivalem a 0,316 atm). Tal ponto é caracterizado pela formação intensa de bolhas no líquido (não confundir com a liberação de gases dissolvidos), indicando que a transição deixa de ser um fenômeno exclusivamente de superfície (Atkins e Jones, 2012; Silveira, 2016). Acima desse ponto a fase condensada deixa de existir. Conferindo a tabela 1, percebe-se que uma amostra de iodo (a 25 °C) transitará para a fase gasosa até atingir a pressão parcial de 0,00041 atm quando, então, entrará em equilíbrio e a fase condensada restante deixará de diminuir. O gelo seco, por sua vez, só deixará de abandonar a fase condensada quando atingir a pressão de 63,501 atm! Em outras palavras, é impossível existir dióxido de carbono sólido a temperatura ambiente e pressão atmosférica (pelo menos no nosso planeta) (Stojanovska *et al.*, 2012; Tro, 2016). De fato, as amostras de gelo seco em ambiente aberto se encontram, no máximo, a -78,46 °C (Haynes, 2016). Essa propriedade, aliada à disponibilidade do gelo seco, rendem seu uso em banhos refrigerantes (normalmente com acetona) para reações químicas que precisam ser realizadas a baixas temperaturas (Bruice, 2006). Fica evidente, portanto, que o iodo e o gelo seco pertencem a grupos distintos de substâncias. A equiparação dos comportamentos das substâncias (ou a falta de zelo em distingui-los) faz com que, ao se descobrir que o gelo seco não funde ao ser aquecido em pressão atmosférica (daí seu nome), espere-se que o iodo (e qualquer substância que transita de modo notável para a fase gasosa) também não funda, o que, como visto, não é verdade.

Terminologia

A transição do sólido para o gasoso do dióxido de carbono destoa do caso observado para o iodo, pois suas pressões

de vapor a 25 °C estão, respectivamente, acima e abaixo da pressão atmosférica (a pressão de vapor do iodo só atinge 1 atm a 184,4 °C) (Haynes, 2016). Em uma analogia com transições do estado líquido para o gasoso, o caso do CO₂ representaria a “ebulição” e o caso do iodo a “evaporação”.

Tem-se, portanto, dois processos distintos, mas que não são assim tratados nos livros didáticos. Sublimação é comumente definida como a transição do estado sólido para o estado gasoso (Kotz *et al.*, 2008; Atkins e Jones, 2012; Silberberg, 2013; Chang e Goldby, 2016; Tro, 2016) e, portanto, representa os dois casos. Evaporação (ou vaporização), por sua vez, é definida como transição do estado líquido para o gasoso (Kotz *et al.*, 2008; Atkins e Jones, 2012; Silberberg, 2013; Tro, 2016), mas pode ser distinguida de ebulição pois, nesse último caso, a pressão de vapor se iguala à pressão exterior (Kotz *et al.*, 2008; Atkins e Jones, 2012; Silberberg, 2013; Chang e Goldby, 2016; Tro, 2016; Brown *et al.*, 2016). Observa-se também a definição de evaporação como escape de moléculas da superfície de um líquido (Chang e Goldby, 2016). O livro de ouro (*Compêndio de Terminologia Química*) da IUPAC (União Internacional de Química Pura e Aplicada), referência em terminologia química, define sublimação como a transição direta de um sólido para um vapor sem passar por uma fase líquida, e cita a transição do CO₂ sólido para vapor como exemplo (essa definição engloba os dois casos). O que se tem, portanto, são dois termos para transições líquido-vapor e apenas um para sólido-vapor. Uma terminologia mais prudente reservaria sublimação para o caso representado pelo CO₂ e incluiria o caso do iodo em evaporação, ou usaria outro termo. Um artigo prévio sugere a adoção de sublimação como “processo em que uma substância sólida, ao ser aquecida **em pressão atmosférica ordinária**, passa por uma transição sólido → gás diretamente, sem primeiro fundir”³ e, portanto, representa o caso do gelo seco, mas não os do iodo e do naftaleno (Stojanovska *et al.*, 2012, grifo do autor). O mesmo artigo reconhece que outra opção seria o uso de um novo termo para a transição análoga à ebulição (a do gelo seco). O bioquímico e *youtuber* canadense “NileRed”, que também investigou esse problema, sugeriu o termo *nilation*, ou “nilação” para o processo análogo à evaporação (NileRed, 2017).

Conclusões

A apresentação da pressão de vapor, sempre associada ao equilíbrio de fases condensadas com fase de vapor, facilita a compreensão das transições para a fase gasosa e permite a percepção de que não há nada de extraordinário na transição para vapor do iodo, naftaleno e afins.

Deve-se sempre agir com zelo na comparação do comportamento de substâncias, para evitar a formação de conceitos errôneos. Ao se comparar o gelo seco e o iodo, por exemplo, é preciso explicitar em quais condições se observa comportamento semelhante (abaixo do ponto de fusão do iodo e quando sua pressão parcial está abaixo de sua pressão de vapor).

O uso do termo sublimação como análogo à ebulição e, ao mesmo tempo, à evaporação de líquidos, agrava o problema de ensino do já negligenciado equilíbrio sólido-vapor. Tal uso é, ao menos parcialmente, culpado por observações do tipo “iodo não funde, sublima”, e até mesmo “iodo não é um sólido, pois sublima”, que o autor já ouviu de um professor universitário (que provavelmente confiou muito na comparação com gelo seco). A discriminação dos casos se faz necessária, portanto, e há propostas na literatura, em especial o uso do termo sublimação apenas para o caso exemplificado pelo gelo seco.

Agradecimentos

A meus amigos e motivadores, João Marcos Soares Maia, por sugestões valiosas e Denise Eduarda da Silva Reis, por seu apoio. Aos assessores da revista, sem os quais este artigo não teria a mesma qualidade.

Notas

¹ “Solid iodine **does not melt** when heated, but turns into a vapour” (Jackson, 2017, p. 186, grifo do autor).

² “When heated, iodine **sublimes** – it moves from a solid to a gaseous state, avoiding a liquid state” (MEL Science, 2017, grifo do autor).

³ “process where a solid substance on heating, **at ordinary atmospheric pressure**, undergoes a solid → gas transition directly, without first melting” (Stojanovska *et al.*, 2012, grifo do autor).

Victor Dubas da Silva (victordubas@hotmail.com), licenciando em Química pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Sorocaba, SP – BR.

Referências

- ATKINS, P.; JONES, L. *Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente*. Trad. R. B. de Alencastro. 5a. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.
- ATKINS, P.; de PAULA, J. *Físico-Química*, vol. 1. Trad. E. C. da Silva; M. J. E. N. Cardoso; O. E. Barcia. 9a. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.
- BACKYARD SCIENCE 2000. Crystallizing Iodine! Also, will Iodine melt?. 2019. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=3-a4QRD-Twk>. Acesso em jun. 2020.
- BALL, D. W. *Physical Chemistry*. 2a. ed. Stanford: Cengage Learning, 2014.
- BROWN, T. L.; LEMAY Jr., H. E.; BURSTEN, B. E.; MURPHY, C. J.; WOODWARD, P. M.; STOLTZFUS, M. W. *Química: a ciência central*. Trad. E. Lopes; T. Jonas; S. M. Yamamoto. 13a. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.
- BRUCE, P. Y. *Química Orgânica*, vol. 1. Trad. D. O. Futuro; A. L. Valverde; C. M. R. Ribeiro; E. M. F. Muri; M. Behrens; T. B. Machado. 4a. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2006.
- CHANG, R.; GOLDBY, K. A. *Chemistry*. 12a. ed. New York: McGraw-Hill Education, 2016.

- EDU CORNER. Iodine EXPERIMENTS (Amazing Sublimation). 2017. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=ICgaYH6xwU0>. Acesso em jun. 2020.
- FLEMING, D. Sublime Iodine. *Education in Chemistry*, 2018. Disponível em: <https://edu.rsc.org/exhibition-chemistry/sublime-iodine/2000060.article>. Acesso em jun. 2020.
- HAYNES, W. M. *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. 97a. ed. Boca Raton: CRC Press, 2016.
- IUPAC. *Compendium of Chemical Terminology*, 2a. ed. Compilado por A. D. McNaught e A. Wilkinson. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1997. Versão online (2019-) criada por S. J. Chalk. Disponível em: <https://goldbook.iupac.org/>. Acesso em jul. 2020.
- JACKSON, T. *The periodic table book: a visual encyclopedia of the elements*. London: Dorling Kindersley, 2017.
- JANSEN, M. P.; BRUBACHER, L. Sublimation of iodine: Rise and fall of a misconception. *Chem13 News Magazine*, 2015. Disponível em: <https://uwaterloo.ca/chem13-news-magazine/october-2015/feature/sublimation-iodine-rise-and-fall-misconception>. Acesso em jul. 2020.
- JOHN GEOLOGIST. Crystalization of iodine. 2019. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=tt7AzUIUCiE>. Acesso em jun. 2020.
- KCLASSSCIENCECHANNEL. Melting point of naphthalene using thermometer | State | Physics. 2013. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=t8vFW56ZrRI>. Acesso em jun. 2020.
- KOTZ, J. C.; TREICHEL, P. M.; TOWNSEND, J. R. *Chemistry & Chemical Reactivity*. 7a. ed. Belmont: Thomson Higher Education, 2008.
- LAXAMANA, J. A.; LIZARONDO, J. P. T.; MACASALONG, N. G.; MADERASO, D. G. L.; MALENAB, X. S. Sublimation and melting point determination. Disponível em: <https://pt.scribd.com/doc/83772525/sublimation-and-melting-point-determination>. Acesso em jul. 2020.
- LEMMON, E. W.; McLINDEN, M. O.; FRIEND, D. G. Thermophysical Properties of Fluid Systems. In: *NIST Chemistry WebBook, NIST Standard Reference Database Number 69*. Eds. P. J. Linstrom e W. G. Gaithersburg: NIST, 2018. <https://doi.org/10.18434/T4D303>. Acesso em jun. 2020.
- LUTRELL, W. E. Naphthalene. *Journal of Chemical Health & Safety*, v. 16, n. 2, p. 27–29, 2009.
- MACHADO JÚNIOR, I.; ASSIS, R. B.; BRAATHEN, P. C. Termômetro de Iodo: Discutindo Reações Químicas e Equilíbrio de Sublimação Usando Material de Baixo Custo e Fácil Aquisição. *Química Nova na Escola*, v. 24, p. 35–38, 2006.
- MEL SCIENCE. How to make a teleport with iodine and ice (“Chemical Teleport” experiment). 2017. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=ZdPo3uqBsPU>. Acesso em jun. 2020.
- NILERED. The Iodine Myth. 2017. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=dPIaEWd8zf4>. Acesso em jun. 2020.
- RŮŽIČKA, K.; FULEM, M.; RŮŽIČKA, V. Recommended Vapor Pressure of Solid Naphthalene. *Journal of Chemical & Engineering Data*, v. 50, n. 6, p. 1956–1970, 2005.
- SHRIVER, D.; WELLER, M.; OVERTON, T.; ROURKE, J.; ARMSTRONG, F. *Inorganic Chemistry*. 6a. ed. Oxford: Oxford University Press, 2014.
- SILBERBERG, M. S. *Principles of General Chemistry*. 3a. ed. New York: McGraw-Hill, 2013.
- SILVEIRA, F. L. Um tema negligenciado em textos de física geral: A vaporização da água. *Física na Escola*, v. 14, n. 2, p. 27–30, 2016.
- STOHS, S. J.; OHIA, S.; BAGCHI, D. Naphthalene toxicity and antioxidant nutrients. *Toxicology*, v. 180, n. 1, p. 97–105, 2002.
- STOJANOVSKA, M.; PETRUŠEVSKI, V. M.; ŠOPTRAJANOV, B. The concept of sublimation - iodine as an example. *Educación Química*, v. 23, p. 171–174, 2012.
- SUBATH PRODUCTIONS. My house was full of smoke by melting naphthalene balls in a pan. 2018. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=gtPBmYsSIM>. Acesso em jun. 2020.
- THOISO12 – CHEMICAL EXPERIMENTS!. Iodine – THE MOST COLOURFUL ELEMENT ON EARTH!. 2019. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=_e194ZAxwko. Acesso em jun. 2020.
- TRO, N. J. *Principles of Chemistry: A molecular approach*. 3a. ed. London: Pearson, 2016.
- VAN GENDEREN, A. C. G.; OONK, H. A. J. The (solid+vapor) equilibrium. A view from the arc. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, v. 213, n. 2, p. 107–115, 2003.

Para saber mais

- JANSEN, M. P.; BRUBACHER, L. Sublimation of iodine: Rise and fall of a misconception. *Chem13 News Magazine*, 2015. Disponível em: <https://uwaterloo.ca/chem13-news-magazine/october-2015/feature/sublimation-iodine-rise-and-fall-misconception>. Acesso em jul. 2020.
- SILVEIRA, F. L. Um tema negligenciado em textos de física geral: A vaporização da água. *Física na Escola*, v. 14, n. 2, p. 27–30, 2016.
- STOJANOVSKA, M.; PETRUŠEVSKI, V. M.; ŠOPTRAJANOV, B. The concept of sublimation - iodine as an example. *Educación Química*, v. 23, p. 171–174, 2012.

Abstract: A problem on teaching about condensed/vapour phases equilibrium. The myth that iodine does not melt on being heated under atmospheric pressure and, instead, goes directly to the vapour phase is so widespread that it is hard to find a person that has never heard of it. At the same time, doubts about the “evaporation temperature” of water are observed. Both problems are indicative of misconceptions about the condensed/vapour phases equilibrium and, therefore, it is necessary to elucidate such problems. To do so, phase transitions and the condensed/vapour phases equilibrium are reviewed, basing the discussion on the concept of vapour pressure. Solid phases transition to vapour are distinguished based on the relation of the substance’s vapour pressure and the atmospheric pressure and compared to liquid evaporation and boiling. Proposals regarding more careful definitions of the terms of solid-vapour transitions are shared as possible means to avoid the association of iodine to dry ice.

Keywords: chemical education; solid-vapour equilibrium; sublimation

A temática “agrotóxico” no ensino de química em sala de aula: análise de textos publicados na literatura

Flavio Adriano Bastos e Ingrid Vittoria Pereira

Agrotóxicos são substâncias usadas no controle de pragas na agricultura. Com o aumento da produção agrícola, o Brasil tornou-se um de seus maiores consumidores mundiais. Promover o conhecimento destas substâncias, suas propriedades, riscos e benefícios é fundamental, pois servirá de base para tomadas de decisões quanto a sua utilização, evitando-se assim prejuízos aos ecossistemas. Esses fatos mostram a necessidade de se explorar esse tema no ensino. O principal objetivo deste trabalho foi avaliar quali e quantitativamente como o tema “agrotóxicos no ensino de química” tem sido abordado em salas de aula no Brasil. Constatou-se que a temática ainda é pouco explorada, tendo maior incidência no último ano do ensino médio regular e ocorrendo principalmente em escolas rurais ou escolas urbanas com público predominantemente oriundo do meio rural. A pesquisa corrobora a importância de se explorar temas do cotidiano do aluno, de forma que ele perceba a presença da química em sua vida.

► agrotóxico, ensino de química no Brasil, sala de aula ◀

Recebido em 19/04/2020, aceito em 14/07/2020

373

A química é uma disciplina importante na construção de conhecimentos para compreensão do mundo. De acordo com as Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN⁺), o principal objetivo do ensino de química é desenvolver competências e habilidades que permitirão a formação de cidadãos com participação ativa na sociedade (Brasil, 2002).

Há relatos na literatura indicando que a forma como a disciplina de química vem sendo ministrada nas escolas não tem alcançado resultados satisfatórios, em virtude de dificuldades relacionadas a diversos fatores, como estrutura física inadequada da escola, falta de recurso financeiro e desinteresse dos estudantes pela matéria (Balica *et al.*, 2016), o que muitas vezes ocorre por conta destes alunos não encontrarem uma relação entre o conteúdo abordado e o seu cotidiano, acreditando tratar-se de uma disciplina que se resume ao aprendizado de teorias científicas, fórmulas e substâncias não usadas diariamente. Balica *et al.* (2016) afirmam que

Uma maneira de auxiliar a reverter este cenário atual estaria na forma de atuação do docente, no que diz respeito à maneira de ensinar essa disciplina. E o uso de temáticas que possuam relação com o cotidiano dos educandos durante as aulas poderia servir de alicerce para isto, trazendo assim mais significado ao seu aprendizado (Lima e Mozzer, 2019) [...]

o ensino da química em sala de aula, de forma geral, ainda faz uso de uma metodologia baseada essencialmente na memorização de princípios e algoritmos.

Uma maneira de auxiliar a reverter este cenário atual estaria na forma de atuação do docente, no que diz respeito à maneira de ensinar essa disciplina. E o uso de temáticas que possuam relação com o cotidiano dos educandos durante as aulas poderia servir de alicerce para isto, trazendo assim mais significado ao seu aprendizado (Lima e Mozzer, 2019), pois a exploração de assuntos que estão

relacionados com as vivências dos educandos no ensino de química, como é o caso dos agrotóxicos, é uma excelente contribuição para o desenvolvimento de cidadãos críticos e comprometidos com a sociedade em que vivem (Braubante e Zappe, 2012).

De acordo com a Lei Federal 7.802/1989, regulamentada pelo Decreto nº 4074 de janeiro de 2002 e conhecida como “Lei dos agrotóxicos”, os agrotóxicos são definidos como “produtos e agentes de processos físicos, químicos

ou biológicos utilizados na produção, armazenamento e benefício da agricultura, com a finalidade de preservar as plantações de organismos vivos considerados nocivos”. Resumidamente, são substâncias utilizadas para proteger as plantações de organismos nocivos (Lei Federal, 7.802 de julho de 1989).

Estas substâncias químicas podem causar mal à saúde do ser humano se usadas de forma indevida (Castilho e Olguin, 2014) e é justamente a falta de instrução sobre a forma de manuseio destas substâncias que tem levado muitos agricultores ao seu uso excessivo. Boa parte da população brasileira também desconhece os malefícios decorrentes do seu uso exagerado (Braibante e Zappe, 2012). Tal fato reforça a necessidade de se explorar este tema no ensino de química. Mas, apesar da evidente importância do assunto, surgem questões como: essa temática tem sido abordada em sala de aula no ensino de química? E, em caso afirmativo, de que forma e com que frequência isso vem ocorrendo? Qual tem sido a contribuição do ensino de química para formar o pensamento crítico dos alunos e como ele pode contribuir para o aprendizado dos alunos sobre os agrotóxicos?

Assim, é fundamental haver um maior conhecimento destas substâncias, suas propriedades, riscos e benefícios, pois isto servirá de base para tomadas de decisões no que tange à utilização mais adequada e responsável destes produtos na agricultura uma vez

que, atualmente, o Brasil tem ultrapassado o limite permitido pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) para o uso das mesmas, o que pode gerar consequências negativas, como a destruição do meio ambiente e o surgimento de inúmeras doenças para o ser humano e outras espécies de animais (Faria e Pandolfi, 2015).

Partindo-se da premissa que o ensino de química muitas vezes transcorre de forma que os alunos não conseguem perceber sua relação com seu cotidiano, surge a necessidade de entender porque, em geral, na disciplina de química não se ministram aulas de forma a explorar conteúdos que estejam mais relacionados ao dia a dia dos alunos. Dessa maneira, abordar temas como agrotóxicos em sala de aula pode ser uma maneira de se promover a contextualização desse ensino, no qual conceitos trabalhados em sala de aula poderiam ser aplicados no cotidiano, desenvolvendo nesses educandos um pensamento crítico no que diz respeito à forma como alimentos que eles consomem são cultivados e/ou armazenados e contribuindo assim para a formação de cidadãos mais críticos e responsáveis.

O principal objetivo deste trabalho foi avaliar quali e quantitativamente como o tema “agrotóxicos no ensino de química” tem sido abordado em salas de aula no Brasil, que é um dos maiores consumidores deste produto no mundo. Com isso, pretende-se contribuir para uma discussão mais aprofundada em trabalhos posteriores.

Fundamentação Teórica

Agrotóxicos: Contexto histórico brasileiro e suas classificações

O uso dos agrotóxicos nos plantios tem origem na necessidade de proteger a plantação da atuação das pragas. Essa atividade se tornou mais frequente depois da Revolução Verde, ocorrida posteriormente à Segunda Guerra Mundial (Silva *et al.*, 2018), quando ocorreram muitas transformações no sistema produtivo agrícola convencional, causando impacto na saúde e no meio ambiente, visto que os agricultores, no intuito de expandir sua produção, passaram a utilizar fertilizantes químicos para defesa do plantio contra seres nocivos (Borsoi *et al.*, 2014). Depois desse período, em função do crescimento do número de habitantes, houve um aumento da produção agrícola por meio do trabalho mecânico e principalmente por meio da utilização de agrotóxicos (Pinotti e Santos, 2013).

Em 2008, o Brasil passou a ser o maior consumidor de agrotóxicos do mundo (Cruz, 2014) e dentre os alimentos em que os pesticidas estão mais presentes tem-se: o pimentão (primeiro no ranking), o morango, o pepino e a alface. Em uma pesquisa realizada pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) entre 2011 e 2012, constatou-se que muitos dos agrotóxicos utilizados nas culturas analisadas não possuíam sequer o registro nessa agência (Faria e Pandolfi, 2015). As classes de substâncias mais aplicadas no país atualmente são os organo-

clorados, os organofosforados, os carbamatos, os piretróides e os derivados de triazinas (Borsoi *et al.*, 2014).

No Brasil, a metodologia produtiva agrícola predominante requer enormes quantidades de fertilizantes e agrotóxicos para facilitar a plantação em imensos latifúndios mediante a implementação de transgênicos. Muitas vezes são utilizados helicópteros para pulverizar e transportar essas substâncias para outras áreas mais distantes, causando danos ambientais e à saúde do ser humano (Friedrich *et al.*, 2018).

Enquanto o Brasil fatura 13,5% da receita mundial industrial, diversos outros países buscam diminuir ou até mesmo extinguir o uso destes produtos (Nogueira, 2019). Inclusive, foi aprovado pela Comissão Especial da Câmara dos Deputados, em 2018, o Projeto de Lei nº 6299/2002, que propõe mudanças para reduzir a burocracia na liberação de novos agrotóxicos, o que pode elevar ainda mais o número de agrotóxicos utilizados no país.

Os agrotóxicos podem ser classificados de acordo com: o tipo de praga que combatem, com a estrutura química da(s) substância(s) ativa(s), com a toxicidade à saúde humana e à periculosidade ao meio ambiente (Neves e Bellini, 2013). Um dos critérios de classificação dos agrotóxicos é baseado no grupo sobre o qual o agrotóxico age, sendo os mais comuns os inseticidas, fungicidas, herbicidas, acaricidas, nematicidas, moluscicidas, rodenticidas e/ou raticidas (Karan *et al.*, 2014).

Qual tem sido a contribuição do ensino de química para formar o pensamento crítico dos alunos e como ele pode contribuir para o aprendizado dos alunos sobre os agrotóxicos?

Quadro 1: Classificação toxicológica dos agrotóxicos à saúde humana.

Classe Toxicológica	Toxicidade	DL ₅₀ (mg/kg)	Cor da Faixa
I	Extremamente tóxico	≤ 5	Vermelha
II	Altamente tóxico	Entre 5 e 50	Amarela
III	Mediamente tóxico	Entre 50 e 500	Azul
IV	Pouco tóxico	Entre 500 e 5000	Verde

Fonte: Karan et al., 2014.

Eles também podem ser classificados de acordo com o grupo químico predominante: como organofosforados, ditiocarbamatos, organoclorados, piretróides, bipiridilos, organomercuriais, dinitrofenóis, dentre outros (Karan *et al.*, 2014).

Os agrotóxicos podem ser dispostos em quatro classes de acordo com o grau de toxicidade à saúde humana, como pode-se observar no Quadro 1.

A classificação no Quadro 1 é baseada no DL₅₀ (Dose Letal 50% ou dose letal média), que expressa o grau de toxicidade aguda de substâncias químicas, correspondendo às doses que provavelmente matarão 50% dos animais de um lote utilizados para experiência. Esses são valores calculados estatisticamente a partir de dados obtidos experimentalmente (Jardim *et al.*, 2009).

Os agrotóxicos podem ainda ser classificados com base na sua periculosidade quanto aos impactos ambientais, como pode ser observado no Quadro 2.

Quadro 2: Classificação toxicológica quanto aos impactos ambientais.

Classe toxicológica	Toxicidade ao meio ambiente
I	Altamente perigoso
II	Muito perigoso
III	Perigoso
IV	Pouco perigoso

Fonte: Braibante e Zappe, 2012.

Agrotóxico no Ensino de Química

A Educação Ambiental (EA) é um processo no qual um conjunto de práticas educacionais possui o intuito de desenvolver conhecimentos sociais, habilidades e competências para que os alunos tomem consciência da importância de cuidar do meio ambiente e promover mudanças atitudinais na sociedade (Loureiro e Franco, 2014). A Lei nº 9.795/99 diz que a EA deve estar presente no currículo escolar em todos os níveis de ensino e que deve ser trabalhada em todas as disciplinas de maneira interdisciplinar. Sob essa perspectiva e considerando-se um país como o Brasil, onde o uso de agrotóxico é extremamente significativo no setor agrícola, pode-se utilizar esse tema para promover a EA no ensino de química.

O uso desta temática pode ser um facilitador no ensino, trazendo benefícios na formação de conhecimentos sobre

o meio ambiente e à saúde do ser humano, a partir do qual os alunos adquirem informações sobre essas substâncias, como a forma mais adequada de identificá-las e utilizá-las, agindo como multiplicadores desse conhecimento para a comunidade à sua volta (Castilho e Olguin, 2014).

De acordo com Zappe e Braibante (2015), a química, como disciplina, possui uma linguagem universal e seu diferencial está na forma como é aplicada no ensino, ou seja, na metodologia utilizada. Além disso, sua relevância pode ser comprovada pela relação entre os seus conteúdos e temas que fazem parte do cotidiano das pessoas no processo de aprendizagem, corroborando a necessidade da contextualização do ensino desta disciplina (Trajano *et al.*, 2014). De acordo as Diretrizes Curriculares (1998), contextualizar os conteúdos em salas de aula significa apropriar-se do conhecimento como um todo e envolve uma relação direta entre sujeito e objeto. O ensino de química deve facilitar as relações vividas pelo educando; o conteúdo químico deverá ter relação com o cotidiano dos estudantes e da comunidade, possibilitando a interação do ensino, para que os estudantes sejam capazes de compreender os fenômenos que acontecem ao seu redor e assim possam levantar hipóteses e construir um pensamento crítico a respeito do mundo e, com isso, chegar a tomar atitudes que podem modificar a sociedade (Silva *et al.*, 2008). Acredita-se que a temática deva ser trabalhada em aula considerando perspectivas sociais, ambientais e econômicas. Desse modo, além dos estudantes conhecerem mais sobre a sua composição química e os possíveis danos causados à saúde humana, desenvolverão uma visão mais crítica a respeito dos agrotóxicos (Germano *et al.*, 2010).

Aspectos Metodológicos

A metodologia utilizada para realização desta pesquisa foi a pesquisa bibliográfica, em que se buscou por artigos, revistas, documentos didáticos, livros, monografias e trabalhos apresentados em eventos científicos que estejam relacionados com o uso da temática agrotóxicos no ensino de química em sala de aula no Brasil.

Para a busca de periódicos utilizou-se a base de periódicos da CAPES e a do Google Acadêmico com as seguintes palavras-chave: Agrotóxico, Ensino e Química.

Resultados e Discussão

Com base nas 53 obras encontradas na busca literária apresentada no Quadro 3, foi analisado a forma com que o tema agrotóxico tem sido explorado no ensino de química.

Com a leitura dos periódicos foi possível observar que a temática agrotóxico tem sido utilizada no ensino de química em trabalhos aqui classificados em: práticos, teóricos e entrevistas. Os trabalhos práticos são aqueles nos quais os autores realizam estudos de casos em que se utiliza o tema

Quadro 3: Documentos com a temática agrotóxico no ensino de química.

Título	Autor/Ano	Periódico
Abordando agrotóxico no ensino de química: uma revisão	Moraes, P. C. <i>et al.</i> , 2011	Revista Ciências & Ideias
A química dos agrotóxicos	Braibante, M. E. F.; Zappe, J. A., 2012	Química Nova na Escola
A ressignificação curricular possibilitada por meio da temática dos agrotóxicos: um processo de compreensão do contexto para a educação do campo	Duarte, T. S., Oliveira A. M. de; Domingos, D. A., 2018	Currículo sem Fronteiras
A agroecologia na percepção de alunos de ensino médio de quatro escolas públicas na cidade de Macapá-Amapá	Sá-Oliveira, J. C.; Vasconcelos, H. C. G.; Silva, E. S., 2015	Biota Amazônia
Agrotóxicos: uma proposta socioambiental reflexiva no ensino de química sob a perspectiva CTS	Bufollo, A. C. C.; Rodrigues, M. A., 2015	Revista Investigações em Ensino de Ciências
Agrotóxicos no ensino de química: proposta contextualizada através de um jogo didático	Mello, L. F. da Fonseca, E. M.; Duso, L., 2018	Revista Eletrônica Ludus Scientiae
Agrotóxicos: Uma proposta interdisciplinar no ensino médio em uma escola no campo no distrito Ipezal/MS	Soares, de A.; Vinholi Junior, A. J., 2018	Revista Eletrônica Itinerarius Reflectionis
A metodologia da resolução de problemas: uma proposta interdisciplinar sobre agrotóxicos na educação de jovens e adultos	Ribeiro, D. das C. de A.; Passos, G. C. e Salgado, T. D. M., 2019	Revista Linhas
Educação ambiental: construindo conhecimentos sobre a problemática dos agrotóxicos	Ferreira, I. de S.; Antunes, A. M., 2014	Ensino, Saúde e Ambiente
O uso da temática agrotóxico no ensino de química orgânica através da metodologia dos momentos pedagógicos	Simões, N. T.; Alves, E. F., 2018	Revista Debates em Ensino de Química
Agrotóxicos: uma temática para o ensino de química	Cavalcanti, J. A. <i>et al.</i> , 2010	Química Nova na Escola
Análise do entendimento conceitual em uma sequência didática sobre o uso de pesticidas fundamentada na modelagem analógica	Lima, A. M.; Mozzer, N. B., 2019	Química Nova na Escola
Contribuições através da temática agrotóxicos para a aprendizagem de química e para a formação do estudante como cidadão	Zappe, J. A.; Braibante, M. E. F., 2015	Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias
Unidade de ensino potencialmente significativa para o ensino de química orgânica, abordando a temática dos agrotóxicos.	Locatelli, A.; dos Santos K. de F.; Zoch A. N., 2016	Revista ARETÉ Revista Amazônica de Ensino de Ciencias
A educação do campo Amazônia legal, caminhos que se cruzam entre agrotóxicos, agroecologia e ensino de ciências	Mello, G. J. <i>et al.</i> , 2015	Revista Experiências em Ensino de Ciências
Um olhar dos estudantes do ensino médio sobre uso de agrotóxicos: uma contribuição para a preservação do meio ambiente e da saúde	Freitas Filho, J. R. <i>et al.</i> , 2013	Revista Educação Ambiental em Ação
Agrotóxicos: uma proposta didática para o ensino de educação ambiental	Costa, V. C.; Santos A. de S.; Gomes E. A., 2013	Revista Educação Ambiental em Ação
Título das Monografias (TCC)	Autor/Ano	
Educação ambiental no ensino de química: propostas de atividades para escola pública	Puga, I.T., 2014	
Análise da temática agrotóxicos relacionada à educação ambiental nos livros didáticos de química do PNLD 2015	Laranjo, M. T., 2014	
O tema agrotóxico no ensino médio: proposta de um texto didático	Nunes, A. R., 2011	
A temática dos agrotóxicos: uma análise em livros didáticos de química do ensino médio aprovados no Plano Nacional do Livro Didático de 2015	Misturini, A., 2017	
Agrotóxico como tema gerador no ensino de química: uma experiência metodológica de aprendizagem cooperativa	Tavares, L. N. S., 2017	
Contextualização do ensino de química orgânica através da temática agrotóxico com alunos da educação de jovens e adultos	Simões, N. T., 2017	
Os agrotóxicos como uma temática para o ensino de química e seu uso na comunidade rural de Pombal-PB	Costa, M. M. L. da, 2012	
Os três momentos pedagógicos no ensino de química: o uso de agrotóxicos e suas alternativas	Oliveira, T. M., 2018	

Quadro 3: Documentos com a temática agrotóxico no ensino de química (cont.).

Título dos Livros	Autor/Ano	
Agrotóxico e meio ambiente: uma proposta de ensino de ciências e química	Carraro, G., 1997	
Reflexões sobre a educação relacionada aos agrotóxicos em comunidades rurais	Peres, B. R. F., 2003	
Título das Dissertações de Mestrado	Autor/Ano	
Problemas ambientais causados por agrotóxicos: uma proposta de formação de professores de química viabilizando a metodologia da resolução de problemas	Ribeiro, D. das C. de A., 2016	
Agrotóxicos no contexto químico e social	Zappe, J.A., 2011	
Agrotóxicos e meio ambiente – abordagem CTS numa perspectiva freireana para o ensino de química em Culturama - MS	Gotardi, O. L. N., 2012	
Agrotóxicos: uma abordagem para o estudo da química	Castilho, M. A. de; Olguin, C.F., 2014	
Contribuições de um estudo de caso para a contextualização do tema agrotóxicos e construção de conhecimento químico por alunos do ensino médio	Ávila, R. A. de, 2016	
Agrotóxico e agricultura: uma abordagem socioambiental reflexiva no ensino de química	Andrade, F. F. de, 2018	
Título	Autor/Ano	Evento
Materiais didáticos e a temática da minimização dos problemas ambientais causados por agrotóxicos: abordagem de alternativas para a sua substituição	Ribeiro, das C. de A. <i>et al.</i> , 2017	37º EDEQ
O ensino de funções orgânicas através da temática dos agrotóxicos: uma proposta de sequência didática para a educação do campo.	Pereira, L. dos S., 2016	XVIII ENEQ
Tema gerador no ensino médio: agrotóxicos como possibilidade para uma prática educativa contextualizadora	Ferraz, D. F.; Bremm, C., 2003	IV ENPEC
O uso da temática agrotóxicos no ensino de ciências: a concepção dos alunos do curso de licenciatura plena em ciências naturais	Germano, C. M. <i>et al.</i> , 2010	XV ENEQ
As concepções de jovens da zona rural sobre o uso de agrotóxicos: uma análise do tema como contribuição para a preservação da saúde e do meio ambiente	Botega, M. P. <i>et al.</i> , 2011	VIII ENPEC
Um estudo sobre a importância da temática agrotóxicos na contextualização do ensino de química numa escola de ensino médio na cidade de Patos-PB	Trajano, L. L. <i>et al.</i> , 2014	12º SIMPEQUI
Concepções de estudantes do ensino médio sobre agrotóxicos e transgênicos	Roskosz, K. A.; Kraushaar, A., Sauer, E., 2016	V SINEC
Fertilizantes e agrotóxicos: uma concepção para o ensino de jovens e adultos	Ceridório, L. F., 2013.	VII EPPEQ
Atividade lúdica sobre agrotóxico: perspectiva para o ensino química orgânica	Mello L. F.; Duso, L., 2017.	9º SIEPE
Agrotóxicos: uma proposta de abordagem para o ensino aprendizagem de química no ensino médio	Balica, M. E. de P. <i>et al.</i> , 2016.	III CONEDU
Contextualizando o tema agrotóxico através de jogos lúdicos como auxílio para o ensino de química	Simões, N. T.; Alves, E. F., 2017.	III Ecif
Discussão de questões socioambientais por meio do tema agrotóxicos em aulas de química	Buffolo, A. C. C.; Rodrigues, M. A., 2016.	XVIII ENEQ
Utilizando a temática agrotóxico no ensino de química orgânica com alunos da educação de jovens e adultos	Simões, N. T.; Alves, E. F., 2017.	37º EDEQ
Utilizando a temática agrotóxicos em salas de aula do ensino médio	Cavalcanti, J. A. <i>et al.</i> , 2008.	XIV ENEQ
A temática ambiental agrotóxicos: a metodologia da resolução de problemas na educação de jovens e adultos	Ribeiro, D. das C. de A. <i>et al.</i> , 2017.	XI ENPEC
Ensino de química orgânica: agrotóxico como tema gerador	Rodrigues, M. A. R. da S. <i>et al.</i> , 2017.	XI ENPEC
Agrotóxicos no ensino de química: concepções de estudantes do campo segundo a educação dialógica freireana	Duarte, T. S. München, S.; de Oliveira, A. M., 2016.	XIII ENEQ
Percepções dos professores de química sobre educação ambiental e a investigação do tema "agrotóxico" no livro didático.	Siqueira, K. G. R.; Mendes A. N. F., 2016.	XVIII ENEQ

Encontro de Debates sobre Ensino de Química (EDEQ); Encontro Nacional de Ensino de Química (ENEQ); Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC); Simpósio Brasileiro de Educação Química (SIMPEQUI); Encontro Paulista de Pesquisa em Ensino de Química (EPPEQ); Simpósio Nacional de Ensino de Ciência e Tecnologia (SINEC); Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão (SIEPE); Congresso Nacional de Educação (CONEDU); Encontro de Ciência e Tecnologia do IFSUL Campus Bagé (Ecif)

agrotóxicos nas aulas de química como suporte para aulas; os trabalhos teóricos consistem em periódicos de pesquisa literária, nos quais é realizada a análise de materiais didáticos ou aqueles em que o autor propõe atividades nas quais se podem utilizar a temática e os trabalhos denominados entrevistas são aqueles em que foram realizadas entrevistas com alunos de ensino médio sobre a temática agrotóxicos ou com estudantes de licenciatura em química, sendo que nesses últimos o objetivo das entrevistas era conhecer o que pensavam esses alunos, quanto à utilização ou não do tema em aulas de química no ensino médio.

A Figura 1 mostra quantitativamente qual a forma de abordagem mais explorada no ensino de química.

Formas de abordagem da temática na literatura

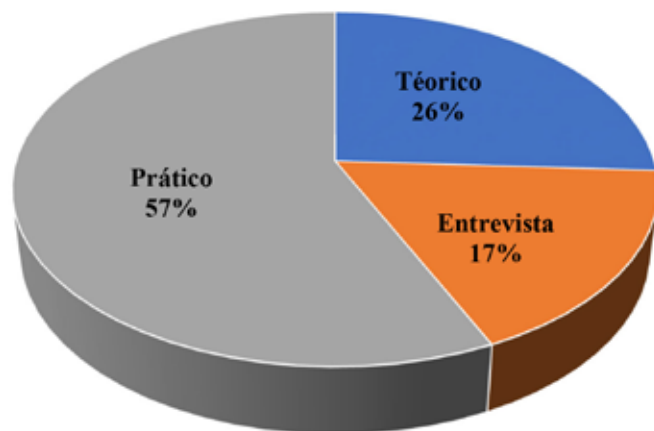


Figura 1: Formas de abordagem da temática na literatura.

De forma geral, observa-se que nas entrevistas os estudantes de licenciatura concordam com a importância de explorar essa temática no ensino e até mesmo sugerem tópicos do conteúdo que podem ser trabalhados (Germano *et al.*, 2010). Já nas pesquisas envolvendo estudantes do ensino de médio, nota-se que os alunos que vivem no campo possuem conhecimentos básicos a respeito do assunto, mas que muitas vezes esse conhecimento precisa ser aprimorado para que possam, assim, construir uma opinião mais crítica a respeito do assunto (Sá-Oliveira *et al.*, 2015).

Observando-se a Figura 1 pode-se notar que a temática é mais explorada na forma de trabalhos práticos, sendo este mais de 50% do total. Possivelmente, a justificativa esteja no fato das escolas escolhidas nos artigos pesquisados possuírem um público de origem predominantemente rural, onde o tema está diretamente ligado ao cotidiano desses alunos. Assim, a opção por trabalhos práticos pelos professores seria uma estratégia para estimular o aprendizado dos alunos, que perceberiam a relação entre a teoria aplicada em sala de aula e o seu cotidiano e, dessa forma, entenderiam que os conteúdos de química não se resumem apenas aos livros, mas que também possuem ampla aplicação no seu dia a dia.

Com esse número significativo em relação aos demais, surge a pergunta: em qual a modalidade de ensino esta temática tem sido mais utilizada?

Para responder a esta questão foram analisados todos os trabalhos denominados práticos e verificou-se que a temática tem sido abordada tanto no ensino médio regular quanto na Educação de Jovens e Adultos (EJA), conforme apresentado na Figura 2.

Trabalhos práticos encontrados na literatura com base na modalidade de ensino

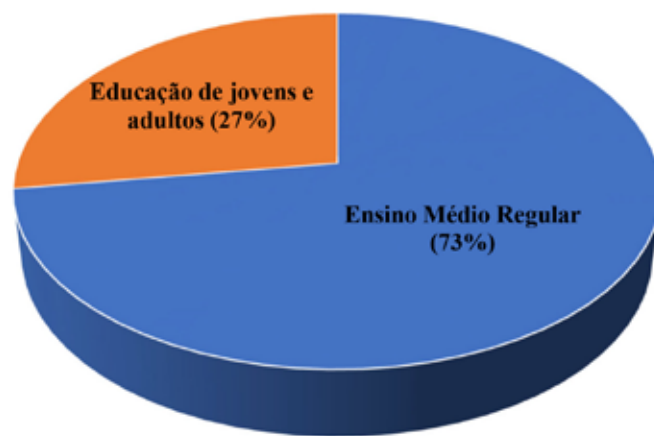


Figura 2: Trabalhos práticos encontrados na literatura com base na modalidade de ensino.

Com base na Figura 2, constata-se que apenas 27% dos trabalhos práticos são realizados na EJA. Possivelmente, a razão dessa menor porcentagem de trabalhos na modalidade EJA esteja relacionada justamente com o menor número de turmas existentes nessa modalidade quando comparados ao ensino regular no país (INEP, 2019).

Vale destacar que dentro dos 27% dos trabalhos realizados na EJA, todos utilizaram metodologias diferenciadas com o intuito de auxiliar as aulas de química e ainda como ressalta Simões e Alves (2018) “o uso da temática serviu como motivação para aprendizagem dos conteúdos de química, o que proporcionou debates em sala de aula e aumento do interesse dos alunos em relação ao assunto”.

Ainda baseado na Figura 2, percebe-se que a maior parte dos trabalhos práticos são realizados com alunos do ensino médio regular, representando 73% dos trabalhos dentro dessa modalidade de ensino. É importante salientar que todos os trabalhos práticos analisados foram aplicados em escolas de áreas rurais ou em escolas urbanas com público predominantemente rural, ou seja, onde a maioria dos estudantes tinham uma relação direta ou indireta com o campo. Dessa maneira, os alunos possuíam um certo conhecimento sobre o uso dos agrotóxicos na agricultura. Ceridório (2013) afirma que antes da aplicação desses trabalhos práticos, os estudantes apresentavam respostas simples e sem muita fundamentação científica quando questionados sobre o assunto. Já após a aplicação, os alunos mostraram uma visível evolução quanto aos conceitos químicos, tendo inclusive um posicionamento mais crítico em relação ao tema.

Como há uma maior frequência dos trabalhos práticos realizados no ensino médio regular, construiu-se a Figura 3,

que mostra a porcentagem de cada ano do ensino médio em que a temática agrotóxico foi utilizada como alicerce para o ensino de química.

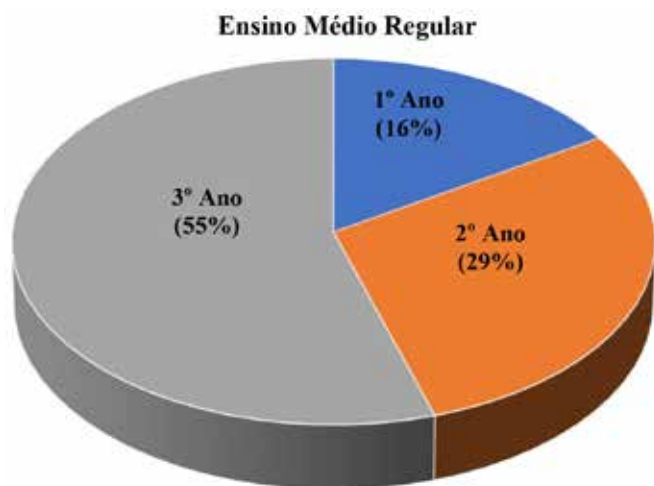


Figura 3: Análise quantitativa dos trabalhos práticos encontrados na literatura do ensino médio regular.

Observando-se a Figura 3, verifica-se que 55% dos trabalhos práticos realizados no ensino médio regular foram concretizados no 3º ano do ensino médio. Com base na análise literária é possível dizer que provavelmente a escolha da turma esteja relacionada com a expectativa de que alunos do 3º ano apresentem maior conhecimento químico quando comparados aos do 1º e 2º anos, conforme afirmam Lima e Mozzer (2019): “A seleção da turma (de 3º ano) foi realizada por se esperar que os estudantes desse nível possuam os conhecimentos prévios necessários para discutir os conceitos químicos trabalhados em cima desta temática”. Pelo mesmo gráfico, é possível concluir que o percentual dos trabalhos práticos aplicados no ensino médio regular vai decrescendo do 3º ano para o 1º ano. A mesma hipótese para esse decréscimo pode ser estendida aos alunos do 2º ano em relação aos do 1º ano, como é afirmado por Balica *et al.* (2016): “...para a escolha dos estudantes participantes deu-se preferência pelos alunos do 2º ano do ensino médio pela possibilidade do maior nível de conhecimentos que esses alunos possuem quando comparados com alunos do 1º ano”. Com base na análise de todos esses trabalhos práticos, pode-se notar que os principais conteúdos abordados relacionados a essa temática são assuntos relacionados à química orgânica. Possivelmente, isso se deva ao fato da maioria dos agrotóxicos serem compostos orgânicos, o que facilitaria a associação entre a teoria vista em aula e a prática, em tópicos como classificação de cadeias carbônicas, fórmulas estruturais, moleculares, funções orgânicas, entre vários outros que são abordados. Além disso, a química orgânica é trabalhada principalmente no 3º ano de ensino médio, o que contribui ainda mais para justificar sua maior porcentagem em relação a outros assuntos. A consequente exploração desse tema em sala de aula teria assim, mais sentido ao aluno, proporcionando a ele uma aprendizagem mais significativa.

Considerações Finais

Com a realização deste trabalho constata-se que há um crescente reconhecimento da importância desse tipo de abordagem no ensino como forma para que os alunos percebam o quanto os conceitos químicos estão presentes no seu cotidiano. Também observa-se que o uso de temáticas como os agrotóxicos no ensino de química deveria ser mais explorado considerando-se o contexto no qual os alunos estão inseridos.

O resultado desta pesquisa também permite ponderar que a temática “agrotóxicos” ainda vem sendo pouco utilizada no ensino de química, especialmente quando comparado a outras áreas da química, como Química Analítica e Físico-Química, por exemplo.

Adicionalmente, observa-se a predominância de trabalhos práticos, principalmente com alunos do 3º ano do ensino médio. Também pode-se constatar que, antes da utilização da temática no ensino, os estudantes apresentam respostas simples e sem muita fundamentação científica. Já após a exploração do tema em aula, estes mostram uma clara evolução quanto aos conceitos químicos, posicionando-se de forma mais articulada e crítica em relação ao assunto.

Nota

Este trabalho é um recorte do trabalho de conclusão de curso do curso de graduação em Licenciatura em Química apresentado pela segunda autora sob a orientação do primeiro autor.

Agradecimentos

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais (IFSULDEMINAS), pelo apoio.

Flavio Adriano Bastos (flavio.bastos@ifsuldeminas.edu.br), licenciado, mestre e doutor em Química, ambos pela Unicamp. Atualmente é professor efetivo no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais. Pouso Alegre, MG – BR. **Ingrid Vittoria Pereira** (victoriaingrid864@gmail.com), licenciada em Química pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais de Pouso Alegre. Atualmente, é mestranda em Agroquímica no Departamento de Química da Universidade Federal de Lavras – UFLA. Lavras, MG – BR.

Referências

BALICA, M. E. de P.; da SILVA, M. M.; da SILVA, J. M.; ANDRADE, L. B. da S. e JULIÃO, M. S. da S. Agrotóxicos: uma proposta de abordagem para o ensino aprendizagem de química no ensino médio. *Anais, Congresso Nacional de Educação*. Campina Grande, PB, 2016. Disponível em: <http://www.editorarealize.com.br/revistas/conedu/anais.php>. Acesso em out. 2019.

- BORSOI, A.; DOS SANTOS, P. R. R.; TAFFAREL, L. E. e JÚNIOR, A. C. G. Agrotóxicos: histórico, atualidades e meio ambiente. *Revista Acta Iguazu*, v. 3, n. 1, p. 86-100, 2014.
- BRAIBANTE, M. E. F. e ZAPPE, J. A. A química dos agrotóxicos. *Química Nova na Escola*, v. 34, n. 1, p. 10-15, 2012.
- BRASIL, MEC/Semtec, PCN + Ensino médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais – Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>. Acesso em nov. 2018.
- BRASIL, Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999. Brasília. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19795.htm. Acesso em out. 2019.
- BRASIL, Decreto nº 4.074 de 4 de janeiro de 2002. Regulamenta a Lei nº 7.802, de 11 de julho de 1989. Brasília. Disponível em: <https://bit.ly/2IGbNh7>. Acesso em jun. 2019.
- BRASIL, Ministério da Educação, Parecer n. CEB 15/98. Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. Brasília, 1998. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/Par1598.pdf>. Acesso em abr. 2020.
- BRASIL, Projeto de Lei nº 6299/2002, de 13 de fevereiro de 2002. PL 6299/2002. Altera os arts 3º e 9º da Lei nº 7.802, de 11 de julho de 1989. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=46249&ord=1>. Acesso em jun. 2020.
- CASTILHO, M. A. e OLGUIN, C. F. Agrotóxicos: uma abordagem para o estudo da química. Os desafios da escola pública paranaense na perspectiva do professor, *Cadernos PDE*, v. 1, p. 1-18, 2014. Disponível em: http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/cadernospde/pdebusca/producoes_pde/2014/2014_unioeste_qui_pdp_maria_alessandra_de_castilho.pdf. Acesso em jun. 2020.
- CERIDÓRIO, L. F. Fertilizantes e agrotóxicos: uma concepção para o ensino de jovens e adultos. *Anais, VII Encontro Paulista de Pesquisa em Ensino de Química*. Santo André, 2013. Disponível em: <http://eventos.ufabc.edu.br/eppeq2013/anais/resumos/64.pdf>. Acesso em jan. 2019.
- CRUZ, G. V. *O quadro de contaminação de frutas, legumes e verduras (FLVs) com resíduos de agrotóxicos no Brasil e as oportunidades emergentes*. Dissertação (Mestrado em Agronegócio) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.
- FARIA, A. P. L. e PANDOLFI, M. A. C. Os perigos de resíduos de agrotóxicos nos alimentos. *Anais, Simpósio de Tecnologia da Fatec Taquaritinga*. Taquaritinga, SP, 2017. Disponível em: <http://simtec.fatectq.edu.br/index.php/simtec/article/view/209>. Acesso em out. 2018.
- FRIEDRICH, K., SOARES, V. E.; AUGUSTO, L. G. da S.; GURGEL, A. do M.; de SOUZA, M. M. O.; ALEXANDRE, V. P. e CARNEIRO, F. F. Agrotóxicos: mais venenos em tempos de retrocessos de direitos. *Revista OKARA: Geografia em debate*, v. 12, n. 2, p. 326-347, 2018.
- GERMANO, C. M.; PALHETA, J. A. P.; das NEVES, P. A. P. F. G.; BUZA, R. G. C.; SILVA, M. D. de B.; HENRIQUES, L. A. F. e da SILVA L. P. O uso da temática agrotóxicos no ensino de ciências: a concepção dos alunos do Curso de Licenciatura Plena em Ciências Naturais. *Anais, XV Encontro Nacional de Ensino de Química*. Brasília, DF, 2010.
- INEP, Censo Escolar 2019: notas estatísticas. Brasília, 2019. Disponível em: <http://portal.inep.gov.br/web/guest/resultados-e-resumos>. Acesso em out. 2020.
- JARDIM, I. C. S. F.; ANDRADE, J. de A.; QUEIROZ, S. C. do N. de. Resíduos de agrotóxicos em alimentos: uma preocupação ambiental global - um enfoque às maçãs; *Química Nova*; v. 32, n. 4, p. 996-1012, 2009.
- KARAN, D.; RIOS, J. N. G. e FERNANDES, R. C. *Agrotóxicos*. p. 6-7, 2014. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1007543/1/Agrotoxicos.pdf>. Acesso em out. 2019.
- LIMA, A. M. e MOZZER, N. B. Análise do entendimento conceitual em uma sequência didática sobre o uso de pesticidas fundamentada na modelagem analógica. *Química Nova na Escola*, v. 41, n. 1, p. 82-97, 2019.
- LOUREIRO, C. F. B. e FRANCO. Educação ambiental: dialogando com Paulo Freire. In: LOUREIRO, C. F. B. e J. B. TORRES (Orgs.). *Aspectos teóricos e metodológicos do Círculo de Cultura: uma possibilidade pedagógica e dialógica em Educação Ambiental*. São Paulo: Editora Cortez, 2014.
- NEVES, P. D. M. e BELLINI, M. Intoxicações por agrotóxicos na mesorregião norte central paranaense, Brasil - 2002 a 2011. *Ciência & saúde coletiva*, v. 18, n. 11, p. 3147-3156, 2013.
- PINOTTI, M. M. Z. e SANTOS, J. C. P. From the ancient times of the agriculture to the biological control in plants: a little of the history. *Ciência Rural*, v. 43, n. 10, p. 1797-1803, 2013.
- NOGUEIRA, V. M. D. Uma síntese histórico-jurídica da segurança alimentar e nutricional e do impacto ambiental dos agrotóxicos. *Revista da Defensoria Pública da União*, v. 1, n. 12, p. 381-405, Junho 2020.
- SÁ-OLIVEIRA, J. C.; VASCONCELOS, H. C. G. e SILVA, E. S. A. Agroecologia na percepção de alunos de ensino médio de quatro escolas públicas na cidade de Macapá-Amapá. *Revista Biota Amazônia*, v. 5, n. 3, p. 98-107, 2015.
- SILVA, L. C. B. da.; SANTOS, L. de O.; OLIVEIRA, R. L.; GONÇALVES, M. V. V. A. Influência dos agrotóxicos na alimentação infantil. *Revista Dissertar*, v. 1, n. 2829, p. 25-34.
- SILVA, L. P.; CAVALCANTI, J. A.; de QUEIROZ, I. F. e FILHO, J. R. de F. A avaliação do impacto do uso de agrotóxico no meio ambiente e na saúde humana: o que pensa o estudante do ensino fundamental do município de bonito – PE? *Educação Ambiental em Ação*, 2008. Disponível em: <http://www.revista.uea.org/artigo.php?idartigo=635&class=21>. Acesso em jun. 2019.
- SIMÕES, N. T. e ALVES, E. F. O uso da temática agrotóxico no ensino de química orgânica através da metodologia dos momentos pedagógicos. *Revista Debates em Ensino de Química*, v. 4, n. 2, p. 147-178, 2018. Disponível em: <http://www.journals.ufrpe.br/index.php/REDEQUIM/article/view/2023>. Acesso em ago. 2019.
- TERRA, F. H. B. e PELAEZ, V. M. A evolução da indústria de agrotóxicos no Brasil de 2001 a 2007: a expansão da agricultura e as modificações na lei de agrotóxicos. *Anais, XLVI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociedade rural*. Rio Branco, AC. 2008.
- TRAJANO, L. L.; FILHO, F. D. F.; de MEDEIROS, G. D.; da COSTA, J. R.; da SILVA, J. F. M.; de MORAIS, T. T. F.; de FARIAS, F. M. e CANDEIA, H. R. F. L. Um estudo sobre a importância da temática agrotóxicos na contextualização do ensino de Química numa escola de ensino médio na cidade de Patos-PB. *Anais, XII Simpósio Brasileiro de Educação Química*. Fortaleza, 2014. Disponível em: <http://www.abq.org>.

br/simpequi/2014/trabalhos/90/4378-17208.html. Acesso em mai. 2019.

ZAPPE, J. A. e BRAIBANTE, M. E. F. Contribuições através

da temática agrotóxicos para a aprendizagem de Química e para a formação do estudante como cidadão. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, v. 14, p. 392-414, 2015.

Abstract: *The “pesticide” theme in the teaching of chemistry in the classroom: analysis of texts published in the literature.* Pesticides are substances used to control plagues in agriculture. With the increase in agricultural production, Brazil has become one of its largest consumers around the world. Promoting knowledge of these substances, their properties, risks and benefits is essential, as it will serve as a basis for making decisions about their use, thus avoiding damage to ecosystems. These facts show the need to explore this topic in teaching. The main objective of this work was to evaluate qualitatively and quantitatively how the topic “pesticides in the teaching Chemistry” has been approached in classrooms in Brazil. It was found that the theme is still little explored, having a greater incidence in the last year of regular high school and occurring mainly in rural schools or urban schools with a predominantly rural audience. The research confirms the importance of exploring themes of the student’s daily life, so that they realize the presence of chemistry in their life.

Keywords: pesticide, chemistry teaching in Brazil, classroom

Gases ácidos na atmosfera: fontes, transporte, deposição e suas consequências para o ambiente

Renan Kobal de Oliveira Alves Cardoso, Helena Maura Torezan Silingardi e Arnaldo Alves Cardoso

Processos naturais e atividades antrópicas emitem material particulado e gases para atmosfera. Nem todo esse material se acumula na atmosfera: os gases que são solúveis em água acabam se dissolvendo nas gotículas de água que formam as nuvens. O mesmo acontece com o material particulado polar. Na ausência de nuvens, tanto o material particulado quanto os gases se depositam na superfície do planeta, processo conhecido como deposição seca. Os gases solúveis em água acabam se incorporando a superfícies úmidas como lagos, rios, florestas e solos. Apesar de tão importante quanto a chuva ácida, este tipo de remoção de poluentes da atmosfera é pouco discutido fora dos meios acadêmicos. Com o intuito de apresentar e ampliar a utilização desse importante conceito, propomos o uso de experimentos práticos e simples para simular as consequências da deposição a seco no ambiente, mostrando seus efeitos negativos nos seres vivos, em águas superficiais e nos objetos metálicos.

► experimentos, contaminação, poluição atmosférica ◀

Recebido em 05/08/2019, aceito em 01/06/2020

A chuva ácida é um tema relacionado com a poluição do ar bastante debatido nos meios de comunicação e mesmo no ensino. A chuva ácida é o resultado de um processo atmosférico de solubilização de gases e partículas com caráter ácido pelas gotículas de água que formam as nuvens. Como resultado, ocorre um aumento da concentração de íons hidrogênio (H^+) dissolvidos nas gotículas de água das nuvens. Quando as nuvens se transformam em chuva, o resultado é uma precipitação ácida. A dissolução de compostos químicos é um importante processo natural de limpeza do ar atmosférico e também um importante processo de circulação de materiais na natureza. Esse mecanismo, essencial nos ciclos biogeoquímicos, é responsável pelo transporte de diversos materiais presentes na atmosfera para o solo e águas superficiais. Em regiões onde a atmosfera está poluída por muitos compostos químicos, a chuva arrasta para o solo grande parte desses compostos, fato que passa a ser um problema para o local onde ela se deposita. A vida local pode ser afetada pela acidificação do solo e das águas

superficiais. Metais como o alumínio e o chumbo, entre outros, estão presentes naturalmente no solo na forma de óxidos insolúveis em água. O aumento da acidez favorece reações de solubilização destes íons metálicos, podendo afetar as plantas ou serem levados pela água da chuva para rios e lagos. Já uma maior acidez de águas superficiais faz aumentar a frequência respiratória dos peixes, fazendo com que eles venham à superfície em busca de ar para respirar. Segundo o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), órgão ligado ao Ministério do Meio Ambiente que estabelece padrões para o controle da poluição, o pH das águas de rios e lagos deve permanecer entre 6 e 9 para preservar a vida aquática.

Na maior parte das regiões do planeta, o clima ao longo do ano pode ser dividido em período seco e outro chuvoso. Assim, o processo de depuração da atmosfera pela chuva só ocorre em um período restrito do ano. Fora do período de chuva, outro processo colabora para manter a atmosfera limpa e circular material dentro do ciclo biogeoquímico. Nesse período de seca ocorre a deposição seca de compostos químicos. Neste trabalho, propomos dois experimentos simples que podem ser utilizados em sala de aula para discutir a deposição seca de gases ácidos, tal como ela ocorre na natureza.

A seção "Experimentação no Ensino de Química" descreve experimentos cuja implementação e interpretação contribuem para a construção de conceitos científicos por parte dos alunos. Os materiais e reagentes usados são facilmente encontráveis, permitindo a realização dos experimentos em qualquer escola.

Emissão e remoção de compostos presentes na atmosfera

Processos naturais e atividades antrópicas emitem gases e material particulado para atmosfera (figura 1). Vulcões emitem gases como o dióxido de enxofre (SO_2) e ácido clorídrico (HCl), além de material particulado em abundância; plantas emitem compostos diversos como ácido fórmico (CHO_2H), ácido acético ($\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$) e grãos de pólen; e os excrementos dos animais são fontes de gás amônia (NH_3). Indústrias, cidades e a agricultura emitem gases e material particulado de composição química diversa para atmosfera. Todo esse material emitido deveria se acumular na atmosfera principalmente em épocas de poucas chuvas, porém isso não ocorre.

Os principais gases com propriedades ácidas são: SO_2 , NO_2 , CO_2 . Em geral, quanto mais ácido for o gás, mais ele será solúvel em água. Mesmo em regiões não poluídas, a chuva é ácida, porque o CO_2 é um gás ácido e é um componente da atmosfera (0,035%). Ele se incorpora nas gotículas das nuvens e forma o ácido carbônico ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$).

Na ausência de nuvens, a deposição seca passa a ser um importante processo de limpeza da atmosfera. A deposição seca é velha conhecida das pessoas responsáveis pela limpeza de ambientes fechados. O pó que se deposita sobre os móveis é uma forma comum de deposição de material particulado mais grosso. Essa deposição também ocorre no ambiente aberto, mas é difícil observar a deposição de pó sobre ruas, calçadas e jardins. Por outro lado, um carro parado na rua durante muitos dias apresenta logo um aspecto de sujo.

A deposição das partículas presentes na atmosfera depende do tamanho e da massa das mesmas: quanto maiores os valores dessas variáveis, mais rápida será a deposição e mais próxima à fonte de emissão. A deposição depende também da velocidade do vento: quanto menor ela for, mais rápida será a deposição. Os gases também podem sofrer deposição similar. O processo ocorre porque as moléculas dos gases e vapores estão sempre em movimento caótico. Imagine um liquidificador ligado com várias bolinhas duras, elas representam um modelo do gás na atmosfera. O movimento caótico de moléculas é conhecido como difusão molecular. As moléculas batem sobre uma superfície e podem ficar retidas, desde que haja interação superfície/molécula. Os gases solúveis em água, quando batem em uma superfície (a água de uma represa ou uma folha verde), podem ficar retidos. A retenção dos gases é favorecida pela umidade presente nessas superfícies. Dessa forma, ela ocorre preferencialmente sobre a superfície de lagos e rios, em florestas úmidas e, finalmente, no solo. Esse processo é conhecido como deposição seca. Contaminantes emitidos por uma cidade para atmosfera podem ser transportados pelos ventos que os levam para longe da fonte de emissão. As consequências para o ambiente dependem das propriedades químicas do gás depositado. No

Contaminantes emitidos por uma cidade para atmosfera podem ser transportados pelos ventos que os levam para longe da fonte de emissão. As consequências para o ambiente dependem das propriedades químicas do gás depositado.

caso de um ácido forte, ele diminui o pH do corpo de água, pode afetar o crescimento das plantas e acidificar o solo, ou seja, apresenta um efeito similar ao da chuva ácida.

A deposição seca é tão estudada pelos cientistas como a chuva ácida. Vamos descrever aqui um experimento que ajuda o aluno a conhecer o fenômeno da deposição seca e reconhecer suas consequências no ambiente. O experimento pode ser feito após o aluno ter conhecido os conceitos de ácidos e bases e suas propriedades.

Poluentes atmosféricos: ácidos fixos e não fixos

Para o desenvolvimento deste experimento o aluno deve saber identificar ácidos fixos e não fixos (voláteis). O ácido sulfúrico (H_2SO_4) é um ácido fixo, ou seja, apresenta baixa pressão de vapor, o que pode ser observado por meio de seu ponto de ebulição (P. E. H_2SO_4 : 300°C). Outro ácido fixo importante é o ácido fosfórico (H_3PO_4); já o ácido clorídrico apresenta elevada pressão de vapor, portanto é um gás volátil.

Outros ácidos voláteis são: o ácido nítrico, o ácido acético e o ácido fórmico. Os ácidos voláteis podem ser encontrados na atmosfera na forma de vapor, isto é, como moléculas isoladas diluídas no ar atmosférico. O ácido sulfúrico (H_2SO_4) só pode ser encontrado na atmosfera dissolvido nas gotas

de água que formam as nuvens. Os gases CO_2 , NO_2 e SO_2 são óxidos ácidos formados na combustão de combustíveis e queima de vegetação. Esses óxidos são os principais responsáveis pelas características ácidas da atmosfera. Eles formam seus respectivos ácidos reagindo com as microgotas de água que constituem as nuvens.



Os processos de emissão de gases provenientes das combustões para gerar energia, ou da queima de matas e florestas, estão contribuindo para um aumento dos compostos ácidos na atmosfera. A composição da atmosfera atualmente está sendo modificada pelo aumento dos gases ácidos, principalmente devido à ação humana. Quais serão as consequências para o ambiente? Este experimento evidencia possíveis efeitos para a biota, ambientes aquáticos e bens materiais.

Procedimento Experimental 1

O procedimento simula o processo de deposição seca de um poluente atmosférico como ocorre na natureza.

O experimento pode ser desenvolvido com alunos que já viram o tópico geral sobre propriedades ácidas ou o

tópico sobre poluição. É recomendável que os professores de química e de biologia trabalhem em colaboração, discutindo os conceitos básicos de ambas as disciplinas envolvidos nos experimentos. É importante demonstrar a deposição seca como meio para retirada de poluentes da atmosfera. Para simular a ação da deposição seca sobre a vegetação será utilizado um vaso com flores, recipiente com água que irá simular um lago, e um pedaço de palha de aço para simular objetos metálicos (carros, portão, esquadrias de janelas, etc.).

Materiais e reagentes

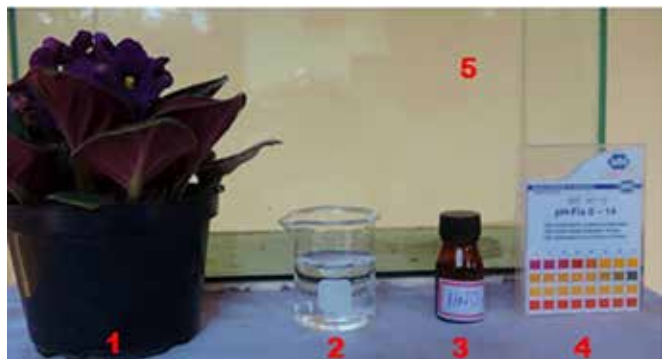


Figura 1: Material utilizado para o primeiro experimento, que simula a deposição de ácidos voláteis a seco no meio biótico. 1. vaso com planta; 2. béquer de 50 mL com água suficiente para cobrir o fundo, ou frasco similar, desde que tenha a boca larga; 3. frasco de vidro contendo o HNO_3 ; 4. papel de tornassol ou outra fita indicadora de acidez; 5. aquário de vidro com tampa.

Vaso com planta (a violeta é indicada porque é fácil de encontrar e suscetível à ação de ácidos); béquer de 50 mL com água suficiente para cobrir o fundo, ou frasco similar, desde que tenha a boca larga; vidro de cerca de 30 mL contendo o HNO_3 concentrado, suficiente para cobrir o fundo (vidro usado de medicamento com 2 cm de diâmetro e 5 cm de altura); papel de tornassol ou outra fita para indicar se a solução está ácida; aquário de vidro com tampa, ou pote de plástico com tampa.

No aquário, coloque o vaso com a planta, o béquer com água e o vidro (destampado) contendo o ácido nítrico. Faça a medição da acidez da água contida no béquer imediatamente após a montagem do experimento e então tampe o aquário. Após 48 horas verifique as folhas e as flores da planta e realize uma nova medição da acidez da água. Para a fixação do conhecimento, o professor pode pedir aos alunos para descreverem o experimento e seu resultado em um relatório.

É conveniente fotografar o vaso em dois momentos, antes de ele ser colocado no aquário e após os dois dias do experimento. Apenas o professor deve manipular o ácido concentrado, utilizando jaleco, luvas e óculos de proteção. Os alunos podem auxiliar no restante da montagem, desde que muito bem orientados pelo professor.

Resultados observados no experimento 1

A deposição do ácido nítrico ocorre sobre as estruturas aéreas da planta, causando um efeito prejudicial às folhas e flores (Figuras 2A e 2B). O tecido vegetal perece com a ação do ácido sobre células e tecidos (Figura 2C). No béquer, a acidez da água aumenta devido à deposição de HNO_3 .

Procedimento experimental 2

Materiais e reagentes

Dois vidros de relógio; dois pedaços de esponja de aço; béquer com água em quantidade suficiente para cobrir o fundo do béquer, ao qual foram adicionadas uma ou duas gotas de solução de NaOH 0,05 mol. L^{-1} ; uma gota de solução indicadora de fenolftaleína e tiras de papel de tornassol.

O segundo experimento evidencia o efeito da ação de ácidos voláteis nos elementos abióticos. O experimento é realizado colocando-se no aquário um vidro de relógio com um pedaço de esponja de aço seca e outro com um pedaço de esponja de aço umedecida em água. Observação: para facilitar a visualização da ação dos ácidos, pode ser adicionado um béquer com água e gotas da solução de NaOH e fenolftaleína, de forma que a solução fique levemente rosada.

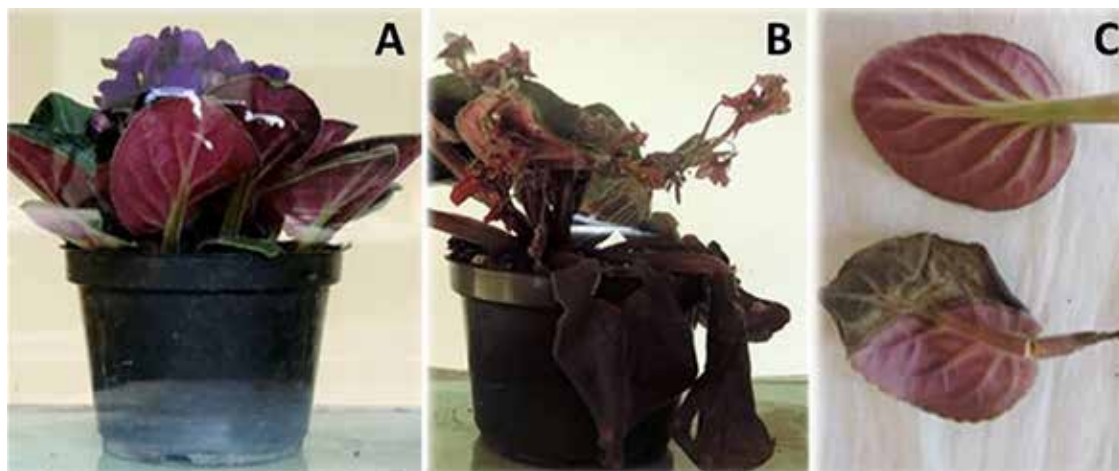


Figura 2: Planta no início do experimento em perfeito estado (A), e no final do experimento com folhas e flores mortas devido à deposição do ácido nítrico (B). Diferença entre uma folha sadia (acima) e uma folha severamente danificada pelo ácido (C).

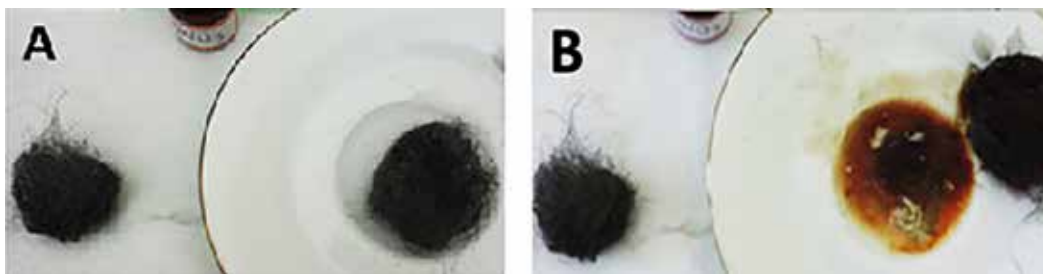


Figura 3: Antes (A) e depois (B) do experimento 2, com a palha de aço seca à esquerda e a outra palha de aço parcialmente imersa na água à direita.

Resultados observados no experimento 2

Após 48 horas, o ácido volátil é depositado na água em contato com uma das esponjas. A acidificação da água oxida (enferruja) a palha de aço (Figura 3B). De modo semelhante, essa ação ocorre com materiais metálicos como os carros, portões e janelas. Para confirmar que houve a deposição ácida na água onde a palha de aço estava parcialmente imersa, foi utilizado o papel de tornassol azul (Figura 4).

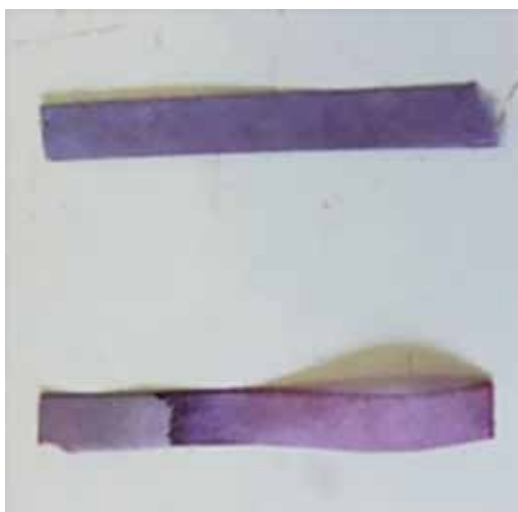


Figura 4: Comparação entre um papel de tornassol azul sem uso (acima) e outro utilizado para confirmar a acidificação da água usada no experimento (abaixo).

É importante o professor de química discutir a importância da água como corpo receptor preferencial dos ácidos voláteis, e o professor de biologia pode ressaltar a importância da água como solvente universal e indispensável para quase todos os processos bioquímicos nos seres vivos. Portanto, o experimento pode ser explorado sob vários aspectos: conceitos de ácido e base; diferenças entre ácidos fortes e fracos, além de voláteis e fixos; reação de ácidos com diferentes materiais; poluentes atmosféricos; o transporte de matérias entre solo, atmosfera e água (ciclos biogeoquímicos) e a água nas células vivas. O professor de biologia pode explorar o experimento utilizando diferentes plantas e discutindo como elas suportam os ambientes poluídos distintamente. Outros

ácidos podem ser testados para se notar suas diferentes intensidades e velocidades de dano nas plantas, como o ácido acético (volátil) e o ácido fosfórico (fixo).

Renan Kobal de Oliveira Alves Cardoso (recokc@usp.br), bacharel em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, mestre em Ecologia e Conservação dos Recursos Naturais pela Universidade Federal de Uberlândia, e doutorando no Programa de Pós – Graduação em Entomologia pela Universidade de São Paulo. Ribeirão Preto, SP – BR. **Helena Maura Torezan Silingardi** (hmtsilingardi@gmail.com), licenciada em Ciências Biológicas pela Pontifícia Universidade Católica de Campinas, mestre em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais pela Universidade Federal de Uberlândia, doutora em Entomologia pela Universidade de São Paulo, é professora do Instituto de Biologia da Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, MG – BR. **Arnaldo Alves Cardoso** (arnaldo.cardoso@unesp.br), bacharel, licenciado, mestre e doutor em Química pela Universidade de São Paulo, é professor titular da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” pelo Instituto de Química de Araraquara. Araraquara, SP – BR.

Referências

- FRANCO, A.; CARDOSO, A. A. Algumas reações do enxofre de importância analítica e ambiental. *Química Nova na Escola*, n. 15, p. 39-41, 2002.
- GARCIA, G.; CARDOSO, A. A. A importância da deposição atmosférica seca como fonte de nitrogênio e fósforo para ecossistemas lacustres. In: *Ecologia de reservatórios e interfaces*. POMPEO, M.; MOSCHINI-CARLOS, V.; NISHIMURA, P. Y.; SILVA, S. C.; DOVAL, J. C. L. . São Paulo: Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, 2015.

Abstract: Acid gases in the atmosphere: sources, transport, deposition and their consequences for the environment. Abstract: Natural processes and anthropogenic activities emit particles and gases into the atmosphere. Not all this material does accumulate in the atmosphere: water-soluble gases and polar particles present in the atmosphere eventually dissolve in water droplets that form clouds. In the absence of clouds, both particulate matter and gases deposit on the planet's surface, a process known as dry deposition. Water-soluble gases eventually become incorporated into moist surfaces such as lakes, rivers, forests, and soils. Although as important as acid rain, this type of removal of pollutants from the atmosphere is little discussed. In order to present and extend the use of this important concept, we propose the use of practical and simple experiments to simulate the consequences of dry deposition on the environment, its negative effects on living beings, surface waters and metallic objects.

Keywords: experiments, contamination, air pollution

Preparação dos Manuscritos

Os trabalhos deverão ser digitados em página A4, espaço duplo, tipo Times Roman, margens 2,5, devendo ter no máximo o número de páginas especificado para a seção da revista à qual são submetidos. Na primeira página deverá conter o título do trabalho e um resumo do artigo com, no máximo, 1000 caracteres (espaços incluídos) e a indicação de três palavras-chave, seguidos de suas traduções para a linha inglesa, incluindo o título.

Não deve haver indicação dos autores no documento com o manuscrito e nenhum dado ou marcas em qualquer parte do texto que conduzam à sua identificação, durante a avaliação como, por exemplo: nome e filiação institucional; nomes de projetos e coordenadores de projetos (quando não são indispensáveis); referências e citações (utilizar "Autor1, ano", "Autor2, ano"... para manter o anonimato); local, título ou local de defesa de mestrado ou doutorado; agradecimentos etc. Os autores devem eliminar auto-referências. As informações dos autores devem estar descritas na carta de apresentação aos editores, e esta deverá conter o título do trabalho, o(s) nome(s) do(s) autor(es), sua(s) formação(ões) acadêmica(s), a instituição em que trabalha(m) e o endereço completo, incluindo o eletrônico. Verifique as propriedades do documento para retirar quaisquer informações. As referências citadas devem ser relacionadas ao final do texto, segundo exemplos abaixo:

- **Para livros** referência completa (citação no texto entre parênteses): AMBROGI, A.; LISBÔA, J. C. e VERSOLATO, E. F. *Unidades modulares de química*. São Paulo: Gráfica Editora Hamburg, 1987. - (Ambrogio et al., 1987).

KOTZ, J. C. e TREICHEL Jr., P. *Química e reações químicas*, vol. 1 Trad. J. R. P. Bonapace. 4ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002. - (Kotz e Treichel Jr., 2002).

- **Para periódicos** referência completa (citação no texto entre parênteses):

TOMA, H. E. A nanotecnologia das moléculas. *Química Nova na Escola*, n. 21, p. 3-9, 2005. - (Toma, 2005).

ROSINI, F.; NASCENTES, C. C. E NÓBREGA, J. A. Experimentos didáticos envolvendo radiação microondas. *Química Nova*, v. 26, p. 1012-1015, 2004. - (Rosini et al., 2004).

- **Para páginas internet** referência completa (citação no texto entre parênteses):

<http://qnesc.sbq.org.br>, acessada em Março 2008. - (Revista Química Nova na Escola, 2008).

Para outros exemplos, consulte-se número recente da revista.

Os autores devem, sempre que possível, sugerir outras leituras ou acessos a informações e reflexões a respeito dos temas abordados no texto, para serem incluídos em "Para Saber Mais".

As legendas das figuras devem ser colocadas em página à parte, ao final, separadas das figuras. A seguir devem ser colocadas as figuras, os gráficos, as tabelas e os quadros. No texto, apenas deve ser indicado o ponto de inserção de cada um(a).

Os autores devem procurar seguir, no possível, as normas recomendadas pela IUPAC, inclusive o Sistema Internacional de Unidades.

Condições para Submissão dos Artigos

- 1) Os manuscritos submetidos não devem estar sendo analisados por outros periódicos.
- 2) Os autores são responsáveis pela veracidade das informações prestadas e responsáveis sobre o conteúdo dos artigos.
- 3) Os autores devem seguir as recomendações das Normas de Ética e Más Condutas constantes na página da revista <http://qnesc.sbq.org.br/pagina.php?idPagina=17>.
- 4) Os autores declaram que no caso de resultados de pesquisas re-

lacionadas a seres humanos eles possuem parecer de aprovação de um Comitê de Ética em pesquisa.

- 5) No caso de envio de imagens, os autores devem enviar cópia do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido assinado pelo(s) sujeito(s) (ou seus responsáveis), autorizando o uso da imagem.
- 6) Os autores declaram a inexistência de conflito de interesses na submissão do manuscrito.
- 7) É responsabilidade dos autores garantirem que não haja elementos capazes de identificá-los em qualquer parte do texto.

Submissão dos Artigos

Química Nova na Escola oferece aos autores a submissão on line, que pode ser acessada por meio do registro de Login e Senha. É possível registrar-se em nossa página na internet (<http://qnesc.sbq.org.br>) usando a opção Novo Usuário. Usuários das plataformas do JBCS e QN já estão cadastrados na base, devendo utilizar o mesmo Login e Senha. Após estar cadastrado no sistema, o autor pode facilmente seguir as instruções fornecidas na tela. Será solicitada a submissão de um único arquivo do manuscrito completo, em formato PDF. Está disponível uma ferramenta para gerar o arquivo .pdf, a partir de arquivo .doc ou .rtf, com envio automático para o endereço eletrônico do autor. Tão logo seja completada a submissão, o sistema informará automaticamente, por correio eletrônico, o código temporário de referência do manuscrito, até que este seja verificado pela editoria. Então será enviada mensagem com o número de referência do trabalho.

Se a mensagem com código temporário de submissão não for recebida, por algum motivo, a submissão não foi completada e o autor terá prazo máximo de 5 (cinco) dias para completá-la. Depois desse prazo, o sistema não permite o envio, devendo ser feita nova submissão. O autor poderá acompanhar, diretamente pelo sistema, a situação de seu manuscrito.

Ao fazer a submissão, solicita-se uma carta de apresentação, indicando a seção na qual o artigo se enquadra, que deverá ser digitada no local indicado, sendo obrigatória a apresentação dos endereços eletrônicos de todos os autores.

Manuscritos revisados

Manuscritos enviados aos autores para revisão devem retornar à Editoria dentro do prazo de 30 dias ou serão considerados como retirados. A editoria de Química Nova na Escola reserva-se o direito de efetuar, quando necessário, pequenas alterações nos manuscritos aceitos, de modo a adequá-los às normas da revista e da IUPAC, bem como tornar o estilo mais claro - respeitando, naturalmente, o conteúdo do trabalho. Sempre que possível, provas são enviadas aos autores, antes da publicação final do artigo.

Todos os textos submetidos são avaliados no processo de duplo-cego por ao menos dois assessores. Os Editores se reservam o direito de julgar e decidir sobre argumentos divergentes durante o processo editorial.

Seções / Linha Editorial

Química Nova na Escola (Impresso)

Serão considerados, para publicação na revista Química Nova na Escola (impresso), artigos originais (em Português) que focalizem a área de ensino de Química nos níveis fundamental, médio ou superior, bem como artigos de História da Química, de pesquisa em ensino e de atualização científica que possam contribuir para o aprimoramento do trabalho docente e para o aprofundamento das discussões da área.

Química Nova na Escola (On-line)

Serão considerados, para publicação na revista Química Nova na Escola (on-line), além dos artigos com o perfil da revista impressa, artigos inéditos (empíricos, de revisão ou teóricos) em Português, Espanhol ou Inglês que apresentem profundidade teórico-metodológica, gerem conhecimentos novos para a área e contribuições para o avanço da pesquisa em Ensino de Química. Estes artigos deverão atender aos critérios da seção “Cadernos de Pesquisa”.

Os artigos são aceitos para publicação nas seguintes seções:

● QUÍMICA E SOCIEDADE

Responsável: Roberto Ribeiro da Silva (UnB)

Aspectos importantes da interface química/sociedade, procurando analisar as maneiras como o conhecimento químico pode ser usado - bem como as limitações de seu uso - na solução de problemas sociais, visando a uma educação para a cidadania. Deve-se abordar os principais aspectos químicos relacionados à temática e evidenciar as principais dificuldades e alternativas para o seu ensino.

Limite de páginas: 20

● EDUCAÇÃO EM QUÍMICA E MULTIMÍDIA

Responsável: Marcelo Giordan (USP)

Visa a aproximar o leitor das aplicações das tecnologias da informação e comunicação no contexto do ensino-aprendizado de Química, publicando resenhas de produtos e artigos/notas teóricos e técnicos. Deve-se explicitar contribuições para o processo de ensino-aprendizagem.

Limite de páginas: 15

● ESPAÇO ABERTO

Responsável: Luciana Massi (Unesp)

Divulgação de temas que igualmente se situam dentro da área de interesse dos educadores em Química, de forma a incorporar a diversidade temática existente hoje na pesquisa e na prática pedagógica da área de ensino de Química, bem como desenvolver a interface com a pesquisa educacional mais geral. Deve-se explicitar contribuições para o processo de ensino-aprendizagem.

Limite de páginas: 20

● CONCEITOS CIENTÍFICOS EM DESTAQUE

Responsável: José Luís de Paula Barros Silva (UFBA)

Discussão de conceitos básicos da Química, procurando evidenciar sua relação com a estrutura conceitual da Ciência, seu desenvolvimento histórico e/ou as principais dificuldades e alternativas para o ensino.

Limite de páginas: 20

● HISTÓRIA DA QUÍMICA

Responsável: Paulo Porto (USP)

Esta seção contempla a História da Química como parte da História da Ciência, buscando ressaltar como o conhecimento científico é construído. Deve-se apresentar dados históricos, preferencialmente, de fontes primárias e explicitar o contexto sociocultural do processo de construção histórica.

Limite de páginas: 15

● ATUALIDADES EM QUÍMICA

Responsável: Edvaldo Sabadini (Unicamp)

Procura apresentar assuntos que mostrem como a Química é uma ciência viva, seja com relação a novas descobertas, seja no que diz respeito à sempre necessária redefinição de conceitos. Deve-se explicitar contribuições para o ensino da Química.

Limite de páginas: 15

● RELATOS DE SALA DE AULA

Responsável: Nyuara Araújo da Silva Mesquita (UFG)

Divulgação das experiências dos professores de Química, com o propósito de socializá-las junto à comunidade que faz educação por meio da Química, bem como refletir sobre elas. Deve-se explicitar contribuições da experiência vivenciada e indicadores dos resultados obtidos.

Limite de páginas: 20

● ENSINO DE QUÍMICA EM FOCO

Responsável: Rafael Cava Mori (UFABC)

Investigações sobre problemas no ensino da Química, explicitando os fundamentos teóricos, o problema, as questões ou hipóteses de investigação e procedimentos metodológicos adotados na pesquisa, bem como analisando criticamente seus resultados.

Limite de páginas: 25

● O ALUNO EM FOCO

Responsável: Edênia Maria Ribeiro do Amaral (UFRPE)

Divulgação dos resultados das pesquisas sobre concepções de alunos e alunas, sugerindo formas de lidar com elas no processo ensino-aprendizagem, explicitando os fundamentos teóricos, o problema, as questões ou hipóteses de investigação e procedimentos metodológicos adotados na pesquisa, bem como analisando criticamente seus resultados.

Limite de páginas: 25

● EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DE QUÍMICA

Responsável: Mara Elisa Fortes Braibante (UFSM)

Divulgação de experimentos que contribuam para o tratamento de conceitos químicos no Ensino Médio e Fundamental e que utilizem materiais de fácil aquisição, permitindo sua realização em qualquer das diversas condições das escolas brasileiras. Deve-se explicitar contribuições do experimento para a aprendizagem de conceitos químicos e apresentar recomendações de segurança e de redução na produção de resíduos, sempre que for recomendável.

Limite de páginas: 10

● CADERNOS DE PESQUISA

Responsável: Ana Luiza de Quadros (UFMG)

Esta seção é um espaço dedicado exclusivamente para artigos inéditos (empíricos, de revisão ou teóricos) que apresentem profundidade teórico-metodológica, gerem conhecimentos novos para a área e contribuições para o avanço da pesquisa em Ensino de Química. Os artigos empíricos deverão conter revisão consistente de literatura nacional e internacional, explicitação clara e contextualização das questões de pesquisa, detalhamento e discussão dos procedimentos metodológicos, apresentação de resultados e com conclusões que explicitem contribuições, implicações e limitações para área de pesquisa em Ensino de Química. Os artigos de revisão deverão introduzir novidades em um campo de conhecimento específico de pesquisa em Ensino de Química, em um período de tempo não inferior a dez anos, abrangendo os principais periódicos nacionais e internacionais e apresentando profundidade na análise crítica da literatura, bem como rigor acadêmico nas argumentações desenvolvidas. Os artigos teóricos deverão envolver referenciais ainda não amplamente difundidos na área e trazer conclusões e implicações para a pesquisa e a prática educativa no campo do Ensino de Química, apresentando profundidade teórica, bem como rigor acadêmico nas argumentações desenvolvidas. Para esta seção, o resumo do artigo deverá conter de 1000 a 2000 caracteres (espaços inclusos), explicitando com clareza o objetivo do trabalho e informações sobre os tópicos requeridos para o tipo de artigo. Poderão ser indicadas até seis palavras-chaves.

Limite de páginas: 30 a 40.

A Divisão de Ensino da Sociedade Brasileira de Química tem o prazer de anunciar mais um produto,
Programas de TV Química Nova na Escola no formato DVD.

Nesta edição dos **Programas de TV QNEsc**, você encontrará:

- Visualização Molecular
- Nanotecnologia
- Hidrosfera
- Espectroscopia
- A Química da Atmosfera
- A Química dos Fármacos.
- Polímeros Sintéticos
- As Águas do Planeta Terra
- Papel: origem, aplicações e processos.
- Vidros: evolução, aplicações e reciclagem.
- Vidros: origem, arte e aplicações.
- Látex: a camisinha na sala de aula.

São **12 títulos temáticos** em formato digital que totalizam cerca de 4 horas de programação.

Para outras informações e aquisição, acesse www.s bq.org.br em Produtos da SBQ.

