

Análise Experimental da Resistência à Corrosão e da Velocidade de Corrosão: Uma Proposta Pedagógica

Ednilson Luiz Silva Vaz, Alice Assis, Eduardo Norberto Codaro

Neste trabalho, propomos a utilização de uma atividade experimental de química, em que ocorre um processo de corrosão, com o objetivo de propiciar ao aluno a articulação entre os conceitos trabalhados e os fenômenos de corrosão que acontecem no seu cotidiano. Sugerimos que o desenvolvimento do experimento seja fundamentado na teoria de Vygotsky, de modo que os alunos trabalhem em grupos, o que pode viabilizar a interação social entre os estudantes e a discussão dos resultados entre os grupos sob a orientação do professor. Essa proposta pode propiciar a aprendizagem dos conceitos envolvidos, bem como a formação do aluno como indivíduo crítico e reflexivo.

► ensino de química; corrosão; interação social ◀

Recebido em 15/10/09, aceito em 04/02/2011

O ensino de Química pautado em memorizações de equações e de nomes, desprovidos de significado conceitual para o estudante, tem sido alvo de questionamentos por parte de pesquisadores da área. As atividades experimentais, quando quantitativas, frequentemente assumem um caráter verificacionista relativo às “previsões fornecidas por modelos teóricos” (Araújo e Abib, 2003, p. 176). Normalmente, esse tipo de atividade é feito por meio do uso de *receitas prontas*, sem abertura para a reflexão e discussão acerca dos conteúdos envolvidos, dos *erros* experimentais e com pouca ou nenhuma interação entre os alunos e o professor e entre os próprios alunos, o que não contribui para a compreensão dos conteúdos, bem como para a formação de estudantes críticos e reflexivos.

Segundo os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM) (Brasil, 2002, p. 144), o ensino de Química deve facilitar o desenvolvimento de competências e habilidades a partir de problemas contextualizados, permitindo que o

aluno desenvolva “capacidades como interpretar e analisar dados, argumentar, tirar conclusões, avaliar e tomar decisões”.

Neste trabalho, propõe-se a utilização de uma atividade experimental em aulas de Química, em que ocorre o processo de corrosão a partir do contato entre um material metálico e um meio agressivo, com o objetivo de propiciar ao aluno a articulação entre os conceitos trabalhados e os fenômenos de corrosão que espontaneamente acontecem no seu dia a dia. Esse conteúdo está vinculado ao tema estruturador *Transformações químicas no dia a dia* sugerido nos PCNEM (Brasil, 2002). Mediante o trabalho em grupo, pretende-se viabilizar a motivação e a aprendizagem dos conceitos envolvidos.

Fundamentação teórica

Visando o desenvolvimento da competência “reconhecer, utilizar, interpretar e propor modelos para situações-problema, fenômenos ou sistemas naturais ou tecnológicos”, destacada nos PCNEM (Brasil, 2002,

p. 144), propõe-se o uso de um experimento, cujo enfoque é o estudo de reações de oxidação e redução (redox), que intervêm no processo corrosivo. Para tanto, sugere-se que a sua utilização seja fundamentada na teoria de Vygotsky, que destaca “o papel da interação social como condição necessária para a viabilização do processo de ensino e aprendizagem” (Gaspar, 1997, p. 9). Nessa perspectiva, é fundamental que a atividade seja realizada em grupo e que, segundo Araújo e Abib (2003), sejam criadas situações que viabilizem a participação ativa dos alunos, a partir da exploração das suas concepções alternativas, a fim de propiciar a reflexão e a reestruturação dessas concepções se necessário.

É importante destacar que as atividades experimentais quantitativas, embora propiciem uma participação ativa dos alunos, tendem a ser usadas mediante “procedimentos e roteiros fechados que permitem classificar este tipo de atividade experimental como verificacionista” (Araújo e Abib, 2003, p. 180). Segundo esses autores,

essas atividades podem ser enriquecidas adotando-se uma postura mais flexível, que possibilite a introdução de outros elementos e métodos, como também discussões que propiciem reflexões críticas acerca dos fenômenos estudados. Nesse sentido, o papel mediador do professor é imprescindível, a fim de orientar o raciocínio dos alunos, uma vez que “nenhuma experiência é autoexplicativa” (Gaspar, 1997, p. 11).

Por meio de um método aplicável em laboratório didático, é possível realizar uma prática educacional pela experimentação. Para tanto, foi escolhido um método simples e rápido que pode ser utilizado para avaliar a corrosão de um material metálico em um meio agressivo, a fim de elucidar o fenômeno da corrosão durante o período de uma aula experimental. A partir da participação dos alunos, com suas observações e questionamentos, espera-se que o professor possa mediar esse trabalho para acrescentar novos conceitos e terminologias relacionadas ao tema proposto, além de introduzir um método para estimar a resistência à corrosão e a velocidade de corrosão dos materiais.

A corrosão é um processo irreversível, envolvendo reações redox que ocorrem simultaneamente na interface entre um material metálico e um agente oxidante ou simplesmente oxidante. Qualquer reação redox que ocorra em quaisquer circunstâncias pode, conceitualmente, ser separada em uma semirreação de oxidação que acontece na região do metal denominada anódica e uma semirreação de redução na região denominada catódica. A corrosão sempre se manifesta na região anódica, onde os cátions liberados pelo metal poderão reagir com o meio e formar produtos de corrosão solúveis e insolúveis, e a região catódica permanece intacta, ocorrendo reações de redução das espécies do meio corrosivo: geralmente água, prótons e oxigênio. A resistência à corrosão de um material metálico em diferentes meios ou de dois materiais metálicos num único meio é um parâmetro meramente comparativo. A velocidade ou taxa de corrosão representa a velocidade

média de ‘desgaste’ da superfície metálica. Seu conhecimento permite estimar a vida útil de tubulações, estruturas, equipamentos e instalações industriais expostas aos mais diversos meios como, entre estes, a atmosfera. Os valores das taxas de corrosão podem ser expressos por meio da perda de massa por unidade de área e de tempo – por exemplo, $\text{mg}/\text{dm}^2/\text{dia}$ (mdd) – ou pela redução de espessura do material por unidade de tempo – mm/ano ou em milésimos de polegada por ano (mpy) (Gentil, 2007). Nessa experiência, serão utilizados os termos PMR e PEM, que correspondem a Perda de Massa Relativa e a Perda de Espessura Média do material metálico, respectivamente. Os dois parâmetros são equivalentes, sendo que o segundo se determina a partir do primeiro e, quando expressos na unidade de tempo, representam a taxa de corrosão. No entanto, para exemplificar duas maneiras diferentes de empregá-los, o primeiro será utilizado para avaliar a resistência à corrosão e o segundo, a velocidade de corrosão.

Materiais e reagentes

Nessa experiência, foi utilizada uma liga constituída principalmente por 89% de alumínio e 6% de zinco, denominada 7050, amplamente utilizada na indústria aeronáutica, mas outras ligas de alumínio-zinco da série 7XXX podem ser usadas nas mesmas condições experimentais. A liga 7050 foi doada pela Empresa Brasileira de Aeronáutica (EMBRAER). Maiores informações sobre o fornecimento e a especificação dessa e de outras ligas podem ser encontradas no endereço eletrônico incluído em *Para saber mais*. Os meios corrosivos foram selecionados de acordo com os seguintes critérios: uso comum e bem diferenciado, fácil aquisição e baixo custo.

Para a execução da experiência, são necessários: 4 corpos-de-prova em forma de paralelepípedo de $1,5 \times 0,5 \times 0,5$ (cm) para cada grupo; 1 pisseta com água destilada; 1 lixa d’água nº 80; 1 cuba de plástico; 2 pinças de aço inox revestida com plástico; 1 paquímetro ou régua; 1

balança analítica (precisão $\pm 0,0001$ g); 1 secador de cabelos; 6 béqueres de 400 mL; 2 provetas de 250 mL; 1 cronômetro para cada grupo; soluções de HCl e de NaOH (1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8 e 2,0 mol/L); 1 termômetro.

Metodologia

Sugere-se a formação de seis grupos de trabalho, a fim de que sejam obtidos seis pontos para a construção dos gráficos necessários para a discussão dos resultados. Cada grupo deve trabalhar com quatro corpos-de-prova (cdp): dois para avaliar a resistência à corrosão da liga ao meio ácido e ao meio básico; e dois para determinar a velocidade de corrosão nesses meios. A preparação das superfícies dos cdp deve ser feita com o auxílio de uma lixa com o intuito de obter as seis faces fisicamente semelhantes. Após esse procedimento, é necessário lavar os cdp com água destilada, secá-los utilizando secador de cabelos, pesá-los em uma balança analítica e preencher as Tabelas 1 e 2, de resistência à corrosão e de velocidade de corrosão, respectivamente. Essas tabelas estão estruturadas de forma a organizar o trabalho, mas para o seu preenchimento, cada grupo precisa fazer uma distribuição de tarefas, de modo que diferentes grupos trabalhem com concentrações e tempos de imersão diferentes. Com um paquímetro (ou régua), calcular a área exposta e o volume dos cdp. Utilizando uma proveta, medir um volume de solução ácida ou básica igual a 50 vezes a área exposta do cdp. O fator 50 é para evitar a saturação da solução com produtos de corrosão durante o teste.

As soluções devem ser transferidas para os béqueres, os quais serão colocados numa cuba plástica contendo água para manter a temperatura constante durante o experimento. Com o auxílio de pinças, introduzir os cdp nos béqueres e acionar o cronômetro. Finalizado o tempo de imersão preestabelecido, retirar os cdp com as pinças, lavá-los com água destilada, secá-los com ar quente e pesá-los novamente na balança. Calcular a PMR e a PEM como indicado na Tabela 1 e 2. Os seis grupos deverão preencher

na lousa as Tabelas 3a e 3b e discutir sobre as tendências relativas dos dados. Ainda, os alunos podem verificar, fazendo as devidas transformações, que a sexta medida nas Tabelas 3a e 3b são equivalentes. Construir um gráfico em papel milimetrado de PMR vs. Concentração da solução e PEM vs. Tempo de imersão e traçar a melhor curva em cada caso. Quando a dispersão dos dados dificulta o traçado, recomenda-se realizar uma normalização dos resultados, dividindo as perdas de massas em Tabelas 1 e 2 pelas respectivas superfícies dos cdp e, a seguir, multiplicá-las pela superfície teórica do cdp (3,5 cm²).

Tabela 1: Resistência à corrosão, para ser preenchida pelos seis grupos.

Antes da imersão	HCl	NaOH	Unidade
Massa inicial do paralelepípedo			g
Superfície (S) [2 (área face menor) + 4 (área face maior)]			cm ²
Volume da solução (50 x S)			cm ³
Concentração de 1,0 a 2,0 (Grupos de 1 a 6)			mol/L
Temperatura de trabalho			°C
Tempo de imersão	1,2	1,2	h
APÓS A IMERSÃO			Unidade
Massa final do paralelepípedo			g
Cálculo para avaliar a resistência			Unidade
Perda de massa (inicial – final)			g
Perda de massa relativa (PMR)			%

Tabela 2: Velocidade de corrosão, para ser preenchida pelos seis grupos.

Antes da imersão	HCl	NaOH	Unidade
Massa inicial do paralelepípedo			g
Volume			cm ³
Densidade (D)			g/cm ³
Área da face maior (A)			cm ²
Superfície			cm ²
Volume da solução (50 x S)			cm ³
Concentração	2,0	2,0	mol/L
Temperatura de trabalho			°C
Tempo de imersão de 0,2 a 1,2 (Grupos de 1 a 6)			h
APÓS A IMERSÃO			Unidade
Massa final do paralelepípedo			g
CÁLCULO PARA AVALIAR VELOCIDADE			Unidade
Perda de massa (P) (inicial – final)			g
Perda de espessura média [PEM] = 10 x P / D x A			mm

Comparar os resultados de resistência à corrosão nos meios, ácido e básico e calcular graficamente a velocidade de corrosão nesses meios. Mediante reações químicas, interpretar o processo corrosivo em meio ácido e em meio básico.

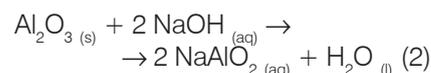
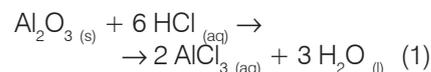
Resultados e discussão

A Figura 1 (PMR vs. Concentração) permite obter as seguintes informações: (1) em ambos os meios, a PMR aumenta quando aumenta a concentração da solução. Por quê? Isso está de acordo com um princípio fundamental da cinética química: a velocidade de uma reação química

aumenta quando aumenta as concentrações dos reagentes; (2) à esquerda do ponto de intersecção das curvas (concentrações mais baixas), a PMR em meio ácido é menor que no básico, enquanto que, à direita (concentrações mais elevadas), a PMR em meio básico é menor no tempo de imersão da experiência. Por quê? Essa intersecção é uma ocorrência casual, que pode não acontecer com outras ligas de alumínio-zinco. No entanto, isso revela que a resistência à corrosão da liga depende não somente da natureza do meio, mas também da sua concentração.

Na Figura 2 (PEM vs. Tempo de imersão), o coeficiente angular das curvas define a velocidade de corrosão. No entanto, em meio ácido, a relação não é linear e, para intervalos de tempo diferentes, obtêm-se coeficientes angulares diferentes. Isso significa que a liga imersa em meio básico é corroída a uma velocidade praticamente constante, enquanto que, no meio ácido, a velocidade de corrosão aumenta com o aumento do tempo de imersão. Por quê?

Para responder essa pergunta, é preciso entender que a corrosão é um fenômeno que começa na superfície da liga e, por ser esta basicamente de alumínio, sua superfície estará coberta com uma camada fina de óxido (Al₂O₃. nH₂O, com n = 1, 2 ou 3). Sendo assim, o meio agressivo precisará dissolver esse óxido protetor para conseguir atingir a liga. Foi possível observar que a dissolução ocorre em ambos os meios, característica essa atribuída ao caráter anfótero do óxido (reações 1 e 2).



Uma vez atingida a liga, esta começa a ser dissolvida, acompanhada de um forte desprendimento gasoso. As reações globais de corrosão de muitos metais em meio ácido (3) e em meio básico (4) podem ser também aplicadas à dissolução da liga utilizada neste estudo:

Tabela 3a: Resistência à corrosão, para ser preenchida pelos seis grupos.

Grupo	1	2	3	4	5	6
Concentração (mol/L)	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
PMR (%) meio ácido						
PMR (%) meio básico						

Tabela 3b: Velocidade de corrosão, para ser preenchida pelos seis grupos.

Grupo	1	2	3	4	5	6
Tempo de imersão (h)	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2
PEM (mm) meio ácido						
PEM (mm) meio básico						

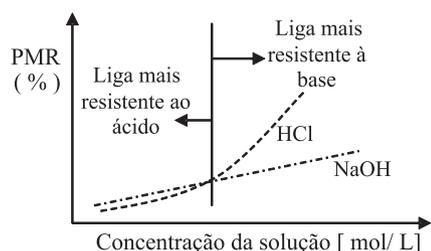


Figura 1: Perda da massa relativa em função da concentração.

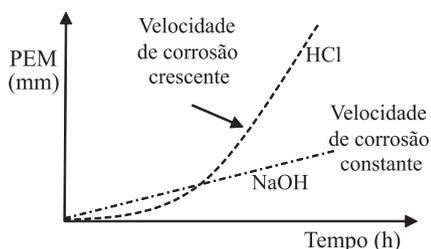
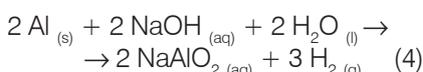
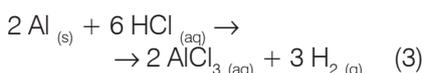


Figura 2: Perda da espessura média em função do tempo.



É importante destacar que a corrosão da liga em cada meio acontece por mecanismos diferentes. Essa diferença pode ser explicada considerando que, em meio ácido, a velocidade de dissolução do óxido é significativamente maior que a velocidade de sua formação. Assim, no decorrer do tempo, o ácido atingirá uma superfície cada vez maior da liga, resultando num aumento expressivo da PEM. Em meio básico, as velocidades de dissolução e de formação do óxido são similares. Como consequência, a liga permanecerá mais protegida e, por esse motivo, a variação da PEM

é menor. Essa explicação pode ser estendida para outros materiais, cujas superfícies estão cobertas por uma camada protetora de óxido, hidróxido etc. (Gemelli, 2001).

Considerações finais

Por se tratar de dissoluções contínuas, o comportamento da liga não é satisfatório nos meios estudados, principalmente em meio ácido. Esse resultado abre 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. Além disso, é importante destacar a relevância dessa proposta de trabalhar o fenômeno da corrosão de forma articulada ao cotidiano, bem como a interação social entre os alunos viabilizada pelo trabalho em grupo. Portanto, consideramos que o presente trabalho pode propiciar a aprendizagem dos conceitos envolvidos, como também a formação do aluno como indivíduo crítico e reflexivo.

Ednilson Luiz Silva Vaz (fis07007@feg.unesp.br) é aluno do curso de licenciatura em Física da Universidade Estadual Paulista (FEG-UNESP). **Alice Assis** (alice@feg.unesp.br), licenciada em Física, mestre e doutora em Educação para a Ciência pela Faculdade de Ciências de Bauru (FC-UNESP), é docente da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá (FEG-UNESP). **Eduardo Norberto Codaro** (codaro@feg.unesp.br), licenciado em Ciências Químicas e doutor em Ciências Químicas pela Universidad Nacional de La Plata (UNLP), é docente da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá (FEG-UNESP).

Referências

- ARAÚJO, M.S.T. e ABIB, M.L.V.S., Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 25, n. 2, p.176-194, 2003.
- ASTM G31-72. American Society for Testing and Materials. *Standard practice for laboratory immersion corrosion testing of metals*, 1995. p. 95-101.
- BRASIL. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. *Parâmetros Curriculares Nacionais + Ensino Médio: Orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais - ciências*

- da natureza, matemática e suas tecnologias. Brasília: MEC; SEMTEC, 2002. p. 144.
- BROWN, T.L.; LEMAY, H.E.; BURSTEN, B.E. e BURDGE, J.R., *Química: a ciência central*. 9. ed. São Paulo: Pearson Education, 2005. p. 651.
- GASPAR, A. Cinquenta anos de ensino de física: muitos equívocos, alguns acertos e a necessidade do resgate do papel do professor. In: XV ENCONTRO DE FÍSICOS DO NORTE E NORDESTE, Natal. *Anais do XV EFNNE*, Natal, 1997, p. 1-13.
- GEMELLI, E. *Corrosão de materiais metálicos e sua caracterização*. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

- GENTIL, V. *Corrosão*. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

Para saber mais

- ABAL. Associação Brasileira do Alumínio. Disponível em: <http://www.abal.org.br>. Acesso em: 09 set. 2010.
- GUIA da Indústria Brasileira. Disponível em: <http://inbr.biz>. Acesso em: 09 set. 2010.
- PANOSSIAN, Z. *Corrosão e proteção contra corrosão em equipamentos e estruturas metálicas*. São Paulo: IPT, 1993.

Abstract: Experimental analysis of corrosion resistance and corrosion rate: a pedagogical proposal. In this work it is proposed the use of a chemical activity, in which a corrosion process occurs, aiming to provide to the student relationship among the learning concepts and corrosion phenomena that occur everyday. It is suggested that the experiment development is based on Vygotsky theory, so that students work in groups, which may facilitate social interaction among students and results discussion among groups under professor guidance. This proposal can provide the involved concepts learning, as well as student training such as a critical and reflexive individual.

Keywords: chemistry education; corrosion; social interaction.