

DETERMINAÇÃO DA TAXA DE CORROSÃO POR PROCESSOS ELETROQUÍMICOS: UMA PROPOSTA DE APRENDIZADO

Daniel Lopes Toso

Daniellopestoso@hotmail.com

Leonardo Santos Júnior

leojudo@hotmail.com.br

Luan Rivelto Tosta

luraques@outlook.com

Ronald de Jesus Santos

ronaldrenovado.rjs217@gmail.com

David Márcio dos Santos Nascimento

davidmarciossn@hotmail.com

Resumo: A percepção e busca pelo entendimento da corrosão surge conjuntamente com o início do uso de metais pela humanidade na pré-história. Daquele tempo até hoje, o uso desses e novos materiais metálicos escalou rapidamente junto com a visão humana do que é corrosão graças aos estudos dos processos químicos e eletroquímicos que desencadeiam a deterioração. A relação entre a química e corrosão é o que torna relevante o ensino dessa última para alunos que virão a constituir, no futuro, a classe de pessoas que lidarão com o fenômeno em seu labor extra-acadêmico ou em pesquisas. Por ser um efeito facilmente reproduzível numa escola, o ensino prático da corrosão através de experimentos é completamente viável não só a alunos do ensino técnico de química integrado ao ensino médio, mas como também para estudantes fora desse nicho específico. Os processos foram construídos objetivando retratar a perda de massa em metais postos em sistemas individuais que simulam a corrosão em diferentes meios, estes sistemas podem ser adaptados de acordo com a necessidade. Como resultado foram colhidos conceitos-chave da eletroquímica que proporcionam ao aluno a base necessária para o estudo aprofundado como a ideia de que os meios com íons tendem a apresentar maior taxa de corrosão, bem como os sistemas abertos em geral, que sempre apresentaram maior corrosão devido a ação do oxigênio. Outro ponto resultante foi o fenômeno de diferentes tipos de corrosão

entre os sistemas. Com foco no potencial didático do tema, este artigo descreve detalhadamente métodos de aplicação de práticas relacionadas a corrosão, os resultados que podem ser obtidos e o conhecimento construído através deles.

Palavras-Chave: Corrosão; Efeitos corrosivos; Didática.

INTRODUÇÃO

Dentre as diversas definições do que é a corrosão, o termo mais propagado por diferentes autores se baseia na ideia de “um ataque num material metálico ocasionado pela sua reação com o ambiente”. Entretanto, o conceito de corrosão pode ser mais abrangente, incluindo ataques em materiais não metálicos, por exemplo. (Bardal,2003).

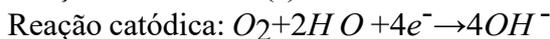
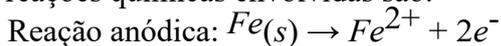
Essa corrosão de não metálicos pode acontecer em materiais como concreto, borracha, polímeros e madeira, é também caracterizada pela deterioração do objeto como em casos de cimento exposto a sulfatos ou madeira que perde sua resistência pelo contato com ácidos (Gentil, 1996).

Ao saber que a maioria dos metais está presente na natureza em forma de sulfetos, carbonatos ou óxidos, é intuitiva a ideia de

que, através de processos naturais, esses elementos tendem a voltar espontaneamente a sua configuração originária onde apresentam um estado de menor energia (Felipe et al., 2012). Esse processo se dá majoritariamente através de reações eletroquímicas.

A corrosão eletroquímica ocorre devido a interação de oxirredução na forma de ânodos e cátodos entre os metais e o meio, de modo que $X \rightarrow X^{Y+} + Ye^{-}$ caracteriza uma reação geral anódica, onde “X” representa um metal e “Y” a quantidade de elétrons perdidos, nota-se que é anódica pois os elétrons são produto da reação. Analogamente, a equação generalizada $Z^{Y+} + Ye^{-} \rightarrow Z$ representa uma reação catódica pois os elétrons fazem parte dos reagentes. As equações variam no número de produtos e reagentes (Wolyne, 2002).

A reação que ocorre entre o ferro e o meio exterior, como mostrado nas imagens, é um dos exemplos mais básicos da corrosão no dia a dia. As reações químicas envolvidas são:



Equação geral:



Normalmente, o produto de hidróxido de ferro II final passa por mais uma oxidação, transformando-se em hidróxido de ferro III (Wolyne, 2002).

Os efeitos da corrosão são sentidos, principalmente na forma de custos financeiros, em inúmeras indústrias, através de perdas diretas na substituição ou manutenção de equipamentos deteriorados ou em perdas indiretas como a paralisação de produção, contaminação de produtos, perda de eficiência, entre outros fatores (Gentil, 1996).

Em 1998, perdas materiais em função da corrosão representavam, 276 bilhões de dólares nos Estados Unidos, o equivalente a 3,1% do PIB americano na época (Ross e Lott, 2001). Além de prejuízo financeiro, problemas oriundos da corrosão já resultaram em dezenas de acidentes fatais durante a história, como a

queda da ponte Silver Bridge nos EUA em 1967 ou do Boeing 737-200 da Aloha Airlines em 1988 que perdeu a fuselagem em pleno voo (Gentil, 1996).

No geral, o desenvolvimento da sociedade e da indústria criou e ainda cria uma vasta demanda de pessoas com conhecimento em corrosão, entre os motivos estão: a aplicação de novos materiais demanda novo conhecimento corrosivo; a poluição industrial levou a acidificação do meio atmosférico e aquático, intensificando a corrosão; o desenvolvimento de setores como o da produção de energia nuclear demanda controle rigoroso dos processos corrosivos inerentes às indústrias (Bardal, 2003).

Apesar disso tudo, a corrosão, diferente do senso comum, não é somente um mecanismo de depreciação e a utilidade de seu estudo vai sim além de métodos de prevenção. É a partir dos princípios corrosivos que se dão vários processos industriais como a oxidação de aços inoxidáveis para a formação da película protetora, anodização do alumínio para a obtenção do óxido de alumínio, fosfatização de superfícies metálicas entre outras aplicações (Gentil, 1996).

Visto tudo isso, é notável o valor da ciência dos processos de deterioração e, logo, o valor do seu ensino nas escolas. Sobre a importância do ensino de química para a formação da cidadania dos estudantes, o tema envolvendo metais, metalurgia e galvanoplastia é considerado um dos mais relevantes pelos educadores químicos brasileiros (Santos e Schnetzler, 2000).

Diante de sua relevância, a corrosão é um assunto que possibilita ao professor abordar e debater vários conteúdos da química como equilíbrio químico, eletroquímica, cinética química e oxirredução. Alguns de seus conceitos podem ser aplicados em simples experimentos que permitem observar o fenômeno da corrosão em metais e expor a influência de diferentes fatores que afetam

a taxa da corrosão. Portanto, o trabalho objetivou desenvolver experimentos que retratassem a perda de massa em metais expostos a diferentes meios, simulando condições favoráveis ao processo corrosivo. Este artigo mantém o foco apenas na corrosão metálica, e, mais precisamente, na corrosão em meio aquoso que representa, de forma estimada, 90% dos casos totais de corrosão desse tipo (Wolyneec, 2002).

MATERIAL E MÉTODOS

Os métodos e materiais foram baseados nos procedimentos descritos no trabalho de Merçon et al. (2010) que detalha, passo a passo, uma recomendação de experimento em sala de aula sobre a corrosão. Alguns processos, no entanto, foram alterados.

Os materiais utilizados no total foram: 5 arruelas de aço carbono de 2g a 3g cada; 5 potes com volume de 2L cada; água destilada; balança analítica; fios de nylon; fita crepe; solução de ácido clorídrico 5%; solução de hidróxido de sódio 5%.

A proposta experimental foi desenvolvida com 5 sistemas ao todo: S1 contendo ácido muriático em sistema aberto; S2 contendo soda cáustica em sistema aberto; S3 contendo ácido muriático em sistema fechado; S4 contendo água destilada em sistema aberto; S5 contendo água destilada em sistema fechado.

A figura 1 mostra as arruelas utilizadas nos sistemas 1, 2 e 3. A figura 2 mostra os sistemas 4 e 5. A figura 3 ilustra o padrão utilizado na construção dos sistemas.



Figura 1 - Arruelas em seu estado corroído ao fim de uma semana: (a) Sistema 1; (b) Sistema 2; (c) Sistema 3.



Figura 2 - Arruelas em seu estado corroído ao fim de uma semana: (a) Sistema 4; (b) Sistema 5.



Figura 3 - Padrão dos métodos utilizados: (a) Modelo de arruela utilizado (3mm); (b) Arruela segurada pelo fio de nylon; (c) Momento da pesagem final.

São considerados sistemas fechados aqueles que não possuem contato direto com o exterior. Os sistemas abertos produzidos têm contato direto com o ar atmosférico, mas não são aerados por bomba ou agitação.

Após preencher cada recipiente com 1L do líquido, o fio de nylon foi passado por dentro da arruela e então pendurado nas laterais do recipiente para a imersão completa, sem que o ferro toque nas paredes do recipiente. As pesagens foram realizadas semanalmente, sempre com uma limpeza simples utilizando palha de aço para remover o excesso oxidado do metal após a retirada da arruela para a medição. Com o experimento já feito, um questionário anônimo foi aplicado através do modelo de questionário eletrônico *Google Sheets*, neste, constavam as perguntas: “o trabalho contribuiu para seu entendimento no assunto de corrosão” e “você gostou do experimento empregado em sala de aula e julga que é um bom método didático” e opções “sim” ou “não”.

Análise estatística

As taxas de corrosão apresentadas nos resultados são dadas na forma $\text{g}/\text{mm}^3 \cdot \text{dia}$ no caso dos sistemas com ácido clorídrico

e na forma $\text{mg}/\text{mm}^3\cdot\text{dia}$ no caso dos outros sistemas, devido a grande diferença entre a corrosão ocasionada pelo ácido e as demais.

A massa em gramas foi pesada na balança, enquanto o volume em mm^3 foi calculado a partir da diferença entre o volume do disco maior e do furo da arruela ($\pi R^2 \cdot h - \pi r^2 \cdot h$). Os dias foram contados desde o início do experimento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos através dessa série de experimentos possibilitaram a percepção dos efeitos da corrosão nos mais variados meios e como a presença ou ausência de oxigênio interfere na ação da corrosão em metais. Vale ressaltar que além dos meios apresentados, há flexibilidade para a adaptação da prática de acordo com a criatividade e curiosidade do aluno. Na tabela 1, estão à mostra os valores de massa inicial de cada arruela (em gramas) e a sua nova massa após uma semana, até o final de um mês.

Tabela 1 - Valores obtidos durante cada pesagem em gramas ao decorrer de 4 semanas.

Sistemas	Massa Inicial	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
Ácido Muriático Aberto (S1)	2,800	1,8976	1,4497	1,0817	0,9024
Soda Cáustica (S2)	3,662	3,6447	3,5701	3,5972	3,5451
Ácido Muriático Fechado (S3)	3,673	2,9112	2,4376	1,6228	1,4588
Água Destilada Aberto (S4)	3,642	3,6382	3,6317	3,6264	3,6205
Água Destilada Fechado (S5)	3,682	3,6758	3,6678	3,6433	3,5968

Como pode ser observado, as arruelas depositadas nos recipientes contendo ácido muriático apresentaram o maior índice de corrosão, este que foi ainda mais elevado no sistema aberto. O sistema 1 pode ser percebido como o mais afetado pela corrosão pelo fato de permanecer com contato exterior durante todo o experimento, assim, tendo o oxigênio necessário para realizar a reação, além disso, os íons cloro contribuem imensamente para a aceleração do processo de degradação do metal. (Zhou et al.,2017).

Os resultados obtidos mostram que os maiores índices corrosivos estão presentes em substâncias ácidas (nesse cenário foi utilizado o ácido muriático) pelo fato de que ácidos,

em quantidades suficientes, liberam íons (hidrônio e cloro, no caso do ácido muriático) que podem catalisar a corrosão de compostos.

Em particular, resultado interessante obtido foi a distinção entre os resultados dos sistemas de ácido muriático aberto e fechado (Figura 4).



Figura 4 - Arruelas do sistema fechado de ácido muriático (a esquerda) e do sistema aberto (a direita).

É possível notar o aspecto diferente entre a corrosão em pite e a corrosão uniforme.

No sistema fechado foi possível observar a formação de corrosão alveolar, ou corrosão em pite. Essa forma de degradação do material é caracterizada por um ou vários “poços” que nada mais são do que pequenos furos na superfície do material, que ficam mais evidente visto de um microscópio (Figura 5).

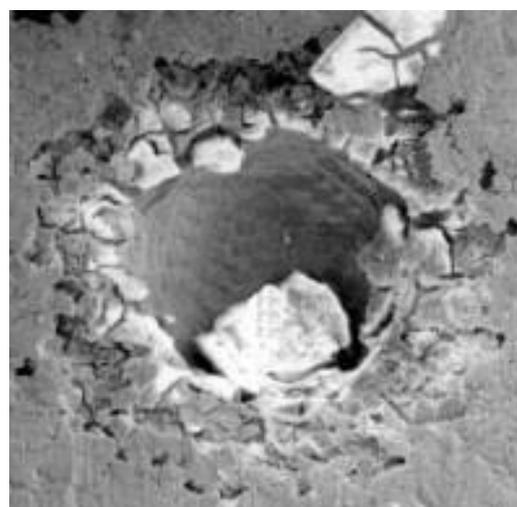


Figura 5 - Corrosão em pite vista por um microscópio.

Fonte: matcoinc.com

A tabela 2 mostra os valores obtidos para a taxa de corrosão dos sistemas de ácido clorídrico em g/mm³.dia. Percebe-se que, mesmo com a taxa de corrosão sendo maior do sistema fechado durante as últimas semanas, a corrosão aconteceu mais intensamente, no geral, no sistema aberto, entretanto esse último sofre de gradação por toda sua superfície uniformemente, ao contrário do que ocorre na corrosão alveolar, e, no final do processo, acaba conservando sua forma lisa original.

Tabela 2 - Taxa de corrosão do Sistema 1 (Ácido muriático aberto) e do Sistema 3 (Ácido muriático fechado) em g/mm³.dia.

	Ácido Muriático Aberto	Ácido Muriático Fechado
Semana 1	0.009198446	0.00905448
Semana 2	0.006883035	0.006297939
Semana 3	0.00583829	0.00592971
Semana 4	0.004830866	0.00484472

A corrosão alveolar se deu no sistema 1 por uma combinação de fatores: a demanda de oxigênio maior do que o sistema possuía e a presença de íons cloro, desse modo, a corrosão foi focada apenas nas partes mais vulneráveis da arruela onde o ácido poderia atacar o ferro formando os pites. A concentração de cloro é capaz de produzir uma ruptura na camada passiva que protege o metal, o que acelera o a degradação naquele ponto específico (Zhou et al.,2017).

Efeitos como este são vistos no cotidiano frequentemente, sendo a chuva ácida um exemplo de fator que ocasiona a deformação de metais através da corrosão alveolar principalmente em estruturas como monumentos públicos. No caso da chuva ácida, íons catalisadores da corrosão alveolar com destaque para o cloro provém de gases como o cloreto de cálcio (CaCl₂) que são produzidos em indústrias (por exemplo a de petróleo) e carregados na atmosfera até a precipitação com a chuva (Ramadan, 2004).

Por meio da opinião direta dos alunos participantes obtida através de perguntas entregues na forma de questionário, foi

unânime a concordância de que, além de relevante e útil para o entendimento da matéria, o experimento também é de bom uso didático e agradável como prática na visão dos discentes.

Por todos esses aspectos, percebe-se o valor didático do ensino da corrosão, uma matéria abrangente e até mesmo multidisciplinar (Bardal, 2003). Os experimentos reproduzem de forma simples situações que ocorrem no dia-a-dia, possibilitando a compreensão de fatores importantes que afetam a taxa de corrosão através da prática (Merçon et al.,2010).

CONCLUSÕES

Diante do exposto, é possível entender a relevância e riqueza do conteúdo da corrosão e, ao entende-lo, desfrutar de sua capacidade, de modo a utilizar o tema para aprofundar os conhecimentos nas áreas da química e eletroquímica de maneira educacional.

A facilidade de realização do experimento devido a demanda de um material simples e de fácil aquisição possibilita que a prática seja executada até mesmo dentro de uma sala de aula. Os métodos podem ser alterados de modo a melhor atender a disponibilidade de recursos e objetivo didático.

Conclui-se que o entendimento através de práticas da matéria de corrosão aponta em uma direção favorável para a formação de novas ideias nos estudantes, contribuindo também para a ciência destes em relação aos fenômenos que os cercam.

REFERÊNCIAS

- BARDAL, E.; Corrosion and Protection, 1a. ed., Springer-Verlag: London, 2003.
- FELIPE, C.; MACIEL, M.; MEDEIROS, S.; SILVA, D.;“Aspectos Gerais Sobre Corrosão e Inibidores Vegetais”. Revista Virtual de Química. Vol 5, No. 4, 746-759, agosto de 2013.

GENTIL, V.; Corrosão, 3a.ed., LTC: Rio de Janeiro, 1996.

MERÇON, F.; GUIMARÃES, P.; MAINIER, F.; Sistemas experimentais para o estudo das corrosões em metais, 2010.

RAMADAN, A.; “Acid Deposition Phenomena”. TESCE, Vol. 30, No.2, 1369-1389, dezembro de 2004.

ROSS, T.; LOTT, N.; “Billion Dollar U.S. Weather Disasters, 1980-2001” (Asheville, NC: National Climatic Data Center, National Oceanic and Atmospheric Administration, 2001).

SANTOS, W.L.P.; SCHNETZLER, R.P. Educação em química: compromisso com a cidadania. 2. ed. Ijuí: Editora Unijuí, 2000.

WOLYNEC, S. Técnicas Eletroquímicas em Corrosão; 1a. ed., USP: São Paulo, 2003.

ZHOU, W.; LAN, W.; CAO, X.; DENG, H.; YAN, Y.; HOU, X. Effect of a High Concentraion of Chloride Ions on the Corrosion Behaviour, Int. J. Electrochem. Sci., 13 (2018).