

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 como 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.

elétrica em soluções, representação de reações de oxido-redução e potencial de redução.

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

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”.

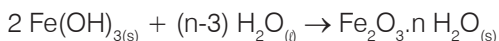
e crescente reciclagem. Para que haja essa reciclagem, gasta-se somente 5% da energia necessária para produzir o alumínio a partir do minério, ou seja, existem fatores positivos em relação às questões econômicas, tecnológicas, sociais e ambientais.

Reações envolvidas na corrosão eletroquímica

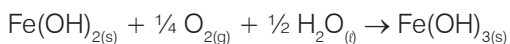
Todos os artigos analisados se encaixam nessa categoria, pois apresentaram semirreações e/ou reações globais, com ênfase para os metais ferro e alumínio. Observou-se, também, que a reação de corrosão do ferro aparece claramente, enfatizando a formação da ferrugem.

Nos artigos A₆ e A₁₂, os autores realizaram o experimento clássico da gota salina de Evans (1926), experimento que, de acordo com Wolyneć (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).

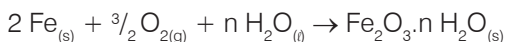
Os autores do artigo A₂ apresentaram dois mecanismos para a produção da ferrugem. No primeiro mecanismo, ocorre a redução do oxigênio, a oxidação do ferro (Fe → Fe²⁺; Fe²⁺ → Fe³⁺), a precipitação [Fe(OH)_{3(s)}] e, por último, a formação da ferrugem, como mostrado a seguir:



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:



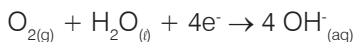
A equação global, para ambos os mecanismos, é a mesma, conforme mostrado a seguir:



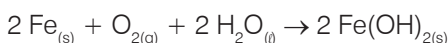
A reação acima também é encontrada em outros artigos (A₁, A₅, A₆, A₇ e A₁₀). Nos artigos A₆, A₇ e A₁₀, além da formação do produto Fe₂O₃ · n H₂O_(s), também é mostrada a formação de Fe₃O_{4(s)} (baixo teor de oxigênio). Merçon *et al.* (2004, p. 11) afirmam que “o produto final da corrosão, ou seja, 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 O_{2(g)}, verde).

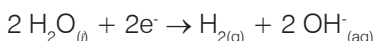
Ainda sobre as reações químicas envolvidas no processo de corrosão, outra análise pertinente relaciona-se à reação catódica (reação de redução de oxigênio - RRO). Nos artigos A₁, A₂, A₆, e A₁₂, tem-se a seguinte reação catódica:



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 Wolyneć (2003), para que haja a corrosão é necessário que o potencial de equilíbrio de redução (E_{red}^0) da região catódica

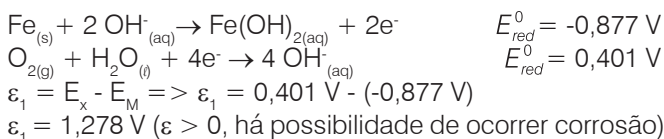
seja maior do que o potencial de equilíbrio de redução (E_{red}^0) da região anódica.

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.

$$\epsilon = E_x - E_M$$

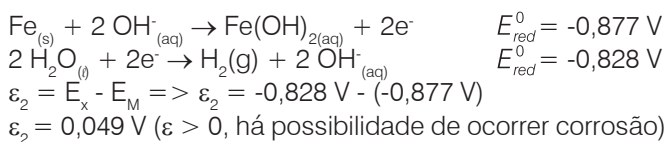
Utilizando as reações catódicas e anódicas, calculou-se a possibilidade termodinâmica de ocorrência da corrosão com as seguintes condições: se $\epsilon \leq 0$, não ocorre a corrosão; e se $\epsilon > 0$, há a possibilidade de corrosão.

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



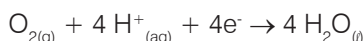
Todos os artigos analisados se encaixam nessa categoria, pois apresentaram semirreações e/ou reações globais, com ênfase para os metais ferro e alumínio. Observou-se, também, que a reação de corrosão do ferro aparece claramente, enfatizando a formação da ferrugem.

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

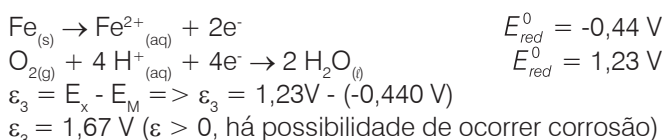


Observou-se, a partir dos cálculos de tendência à corrosão para os dois conjuntos de equações, que no sistema 1 (aerado) a corrosão é mais pronunciada que no sistema 2 (baixo teor de oxigênio).

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 (Wolyneec, 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; Wolyneec, 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 seqüências 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.; BUZZATTO, 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. Concepções 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