

Ensino de métodos anticorrosivos: Experimentação com uso de problemas abertos

Wellington Francisco¹ e Wilmo Ernesto Francisco Junior²

ABSTRACT (Teaching of anticorrosion methods: Investigate trial using open problems)

Corrosion is a process that can bring direct or indirectly countless prejudice to society. However, there are some forms to avoid or if nothing else to decrease corrosion effects. In doing so, this article proposes a trial based on solving problems through an investigative case of level two (Tamir, 1991), enabling to explore different methods aimed at minimizing the corrosive processes. Some basic principles of anticorrosion methods are discussed in order to guide the teacher to conduct pre and post lab activities from the proposed problem.

KEYWORDS: coatings, corrosion inhibitors, cathodic protection, anodic protection, investigative trial

Resumen (Enseñanza de métodos anticorrosivos: Experimentación con uso de problemas abiertos)

La corrosión es un proceso que trae un sinnúmero de perjuicios a la sociedad, ya sea directa o indirectamente. No obstante existen muchas formas de evitarla o, en todo caso, de disminuir los efectos de la corrosión. Para lograrlo, este artículo propone una experimentación basada en resolución de problemas a través de un caso de investigación del nivel dos (Tamir, 1991), en el que se exploran diversos métodos con el propósito de minimizar el proceso corrosivo. Se discuten algunos principios básicos de los métodos anticorrosivos con el propósito de guiar al profesor para llevar a cabo actividades pre y post laboratorio para atacar el problema propuesto.

Palabras clave: recubrimientos, inhibidores de corrosión, protección catódica, protección anódica, investigación de experimentación

Sem dúvidas a frase “é de conhecimento dos professores de ciências o fato de a experimentação despertar um forte interesse entre alunos de diversos níveis de escolarização” (Giordan, 1999, p. 43) está enraizada no ensino de ciências e entre os professores do ensino médio e superior. No entanto, achar que a partir da experimentação a aprendizagem será favorecida e considerá-la naturalmente motivadora, muitas vezes não condiz, pois tais aspectos dependerão de como o professor conduz

e planeja as atividades experimentais. Isto porque muitos alunos não gostam de realizar experiências, pelo simples fato de não ver nada de novo. Mas será que esses estudantes não gostam da experimentação por si só, ou estão literalmente cansados de roteiros pré-estabelecidos e de experimentos repetitivos e sem concretude? Tal questionamento vai ao encontro das concepções pontuadas por Hodson (1994), sobre como motivar os estudantes em um trabalho experimental.

Tais aspectos são mais alarmantes quando se trata de experimentação no ensino superior, pois na maioria das vezes os experimentos feitos são os mesmos há muito tempo, sem incitações para uma boa discussão ou estímulo ao pensamento crítico e ao desenvolvimento de habilidades essenciais para a formação acadêmica. Independentemente dos objetivos do ensino prático, “a ideia central é que qualquer que seja o método de ensino/aprendizagem escolhido, ele deve mobilizar a atividade do aprendiz, em lugar de sua passividade” (Borges, 2002, p. 294).

Guimarães (2009) aponta que o uso da experimentação pode ser uma estratégia eficaz e promissora para a elaboração de problemas reais, propiciando discussões acerca de aspectos investigativos e cotidianos. Francisco (2012) demonstrou que o processo de aprendizagem de estudantes do ensino superior foi beneficiado com o uso de um problema sobre métodos eletrolíticos, no qual a resolução perpassava pela experimentação investigativa.

Na maioria das vezes, a utilização de atividades práticas com fins didáticos envolve experimentos que buscam provar ou ilustrar a teoria, assim como ensinar o chamado “método científico”. Ademais, as metodologias aplicadas na experimentação tradicional tendem a distorcer a visão da ciência, uma vez que muitos estudantes acham que fazer ciência é comprovar leis e teorias e fazer descobertas. Diante disso, é necessário que seja feita uma análise mais cuidadosa

¹ Universidade Federal do Tocantins (UFT), Gurupi, Tocantins, Brasil.

² Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Arapiraca, Alagoas, Brasil.

E-mails: welington@uft.edu.br; wilmojr@bol.com.br

Fecha de recepción: 14 de septiembre de 2012.

Fecha de aceptación: 1 de marzo de 2013.

da relação entre observação, experimento e teoria, planejando atividades experimentais que façam com que os estudantes relacionem essa tríade.

É importante que os estudantes desenvolvam atividades, cuja construção do conhecimento seja feita por meio de suas ações, além das (inter)ações entre os sujeitos pela linguagem científica. Nesta abordagem, o professor tem o papel de planejar as atividades experimentais de modo que favoreça o processo de aprendizagem do estudante. O que se defende aqui é utilizar a experimentação por meio de resoluções de problemas, mas acima de tudo, que os estudantes se sintam desafiados e incitados a resolver esse problema. Para que isso aconteça, os problemas devem abranger situações que estejam próximas da realidade dos estudantes.

Considerações teóricas sobre os “problemas”

Borges (2002) aponta que:

Um problema, diferentemente de um exercício experimental ou de um de fim de capítulo do livro-texto, é uma situação para a qual não há uma solução imediata obtida pela aplicação de uma fórmula ou algoritmo. Pode não existir uma solução conhecida por estudantes e professores ou até ocorrer que nenhuma solução exata seja possível. Para resolvê-lo, tem-se que fazer idealizações e aproximações (Borges, 2002, p. 303).

No mesmo raciocínio, Echeverría e Pozo (1998) afirmam que uma situação só pode ser considerada um problema quando quem tem que resolvê-la precisa utilizar estratégias para solucioná-los que não estão disponibilizadas na forma de procedimentos automáticos. Igualmente, Echeverría e Pozo (1998, p. 16) afirmam que “um problema é, de certa forma, uma situação nova ou diferente do que já foi aprendido, que requer a utilização estratégica de técnicas já conhecidas”.

No entanto, utilizar um problema de qualquer forma para explorar a experimentação pode não adiantar nada. O que é feito na experimentação dita tradicional é empregar problemas do tipo fechado que apresentam roteiros pré-estabelecidos de como e o que fazer, onde os estudantes já sabem o que medir, o que analisar, o que discutir e por muitas vezes o que acontecerá no experimento. Segundo Hodson (1994), esta abordagem não motiva os estudantes, não auxilia na compreensão dos conceitos científicos e pode demonstrar uma concepção de ciência totalmente distorcida. Visto isso, uma estratégia interessante e defendida neste artigo é trabalhar com problemas abertos ou semiabertos, onde os alunos são mais autônomos durante toda a atividade e o professor possui um papel de mediar toda a execução e discussão.

Problemas do tipo aberto são aqueles passíveis de interpretação de uma determinada situação, onde os estudantes podem utilizar de diferentes estratégias para resolvê-los. Já um problema semiaberto contém informações que explo-

ram a capacidade de concentração dos estudantes em cima da resolução, mas permitem também alçar voos além do enunciado para projetar e definir ideias para resolver os problemas (Pozo e Crespo, 1998). Esta abertura se torna essencial no processo de ensino/aprendizagem, visto que é possível incutir aspectos sociais, econômicos, ambientais, tecnológicos, éticos, políticos, humanísticos etc, ligados ao conhecimento científico.

Segundo Borges (2002) a concepção em uma investigação aberta ou semiaberta está relacionada ao estudante, envolvendo:

Desde a percepção e geração do problema; sua formulação em uma forma suscetível de investigação; o planejamento do curso de suas ações; a escolha dos procedimentos, a seleção dos equipamentos e materiais, a preparação da montagem experimental, a realização de medidas e observações necessárias; o registro dos dados em tabelas e gráficos; a interpretação dos resultados e enumeração das conclusões (Borges, 2002, p. 304).

Borges (2002) aponta ainda a necessidade da enumeração de atividades pré e pós-laboratório, sendo elas planejadas pelo professor de modo a alcançar os objetivos propostos inicialmente e que também favoreçam o processo de aprendizagem dos estudantes. Como atividades pré-laboratório, o professor deve dar significados às observações que serão feitas e promover discussões prévias com os estudantes sobre as possíveis interpretações. Na fase pós-laboratório faz-se a discussão ampla e em conjunto, destacando a dialogicidade a partir de todas as observações, resultados e interpretações obtidos, tentando reconciliá-las com as previsões feitas inicialmente. Esta etapa é um excelente momento de se discutir as falhas e limitações da atividade prática (Gunstone, 1991).

Assumindo os princípios teóricos do uso de problemas para o ensino prático de ciências e buscando apresentar diferentes alternativas para a experimentação em química, é que se centra o objetivo deste trabalho. A seguir será apresentada uma possibilidade para uma abordagem experimental via resolução de problemas com ênfase em técnicas para evitar ou minimizar a corrosão de materiais. Serão discutidos também os conceitos químicos envolvidos nas técnicas e as alternativas de discussão para o professor, assim como um breve apontamento dos aspectos teóricos sobre os níveis de investigação propostos por Tamir (1991).

A experimentação por meio de problemas abertos e semiabertos

De acordo com Gentil (1989), a corrosão é um processo destrutivo que resulta da ação química ou eletroquímica de um dado meio sobre um determinado material, podendo ainda estar aliada ou não a esforços mecânicos. Por ser um processo espontâneo, o efeito da corrosão influencia a durabilidade e o desempenho dos materiais, podendo ocasionar

Você consegue uma entrevista em uma empresa que utiliza o processo de decapagem química. Durante a entrevista, o gerente lhe entrega um problema e diz que é uma das etapas que deve ser desenvolvida imediatamente. Você recebe o problema e lê: “A decapagem química é feita em todo aço aqui produzido visando à remoção de oxidações e impurezas inorgânicas sobre sua superfície. As chapas são mergulhadas em tanques com solução de ácido clorídrico concentrado a uma temperatura de 85 °C, durante um minuto. Após esta etapa as chapas de aço devem ser protegidas imediatamente para poderem ser estocadas. Sabendo que todo o processo é mecanizado e que há outros tanques disponíveis para utilização, além de outras possibilidades, que processo poderia ser feito para a proteção dessas placas de aço a fim de evitar sua corrosão durante a estocagem?”

Quadro 1. Problema sobre métodos de proteção à corrosão de nível 2 de investigação.

graves acidentes e enormes gastos diretos ou indiretos. Esse prejuízo econômico e social faz do processo corrosivo um dos principais alvos de estudos das ciências dos materiais atualmente. Tais estudos intentam minimizar ou, pelo menos, controlar os danos e as perdas.

Muitos dos materiais empregados industrialmente e comercialmente como armações de ferro para construção, grades, portões, reboco, dentre outros, possuem baixa resistência à corrosão na maioria dos meios, sobretudo quando expostos ao ar e/ou umidade. Tal resistência pode ser melhorada ou ampliada utilizando-se técnicas ou métodos anticorrosivos. A utilização de métodos para combate à corrosão pode ser conseguida de diferentes formas e com diversas técnicas, incluindo processos físicos e químicos, além de empregar distintos materiais para tal fim. Dentre essas técnicas ou métodos, as mais aplicadas são: as barreiras protetoras (revestimentos), a proteção catódica e anódica, os inibidores de corrosão e a passivação.

A proposta sugerida é apresentada no Quadro 1. Trata-se de um problema que propõe aos estudantes apresentar e discutir meios de proteção contra a corrosão de chapas de aço que serão estocadas. Para que o estudante se sinta desafiado a resolver o problema proposto, a situação discorre sobre uma possibilidade de emprego caso a solução seja adequada e viável. Considera-se importante que os problemas incitem e provoquem os estudantes, a fim de que eles possam se sentir motivados a resolvê-los.

Tamir (1991) propõe uma categorização para as atividades experimentais investigativas em quatro níveis. O nível zero (N0) corresponde praticamente ao chamado problema fechado muito utilizado na experimentação tradicional, onde são dados o problema, os procedimentos e o que se deseja observar e/ou verificar durante a tarefa. A única função dos estudantes é coletar os dados que também são pré-estabelecidos e confirmar ou não as conclusões. No nível um (N1), o professor define previamente o problema e os procedimentos, estabelecendo um roteiro de instruções. Cabe ao estudante realizar a coleta dos dados indicados, discutir e concluir os resultados. Para o nível dois (N2), o problema é

dado e os estudantes devem planejar uma estratégia experimental, incluindo procedimentos, tipos de medidas, coleta de dados e por fim concluir os resultados obtidos. Por último se encontra o nível três (N3), caracterizado como o nível mais aberto de investigação onde o estudante é responsável por todas as etapas, desde a formulação do problema até chegar às conclusões.

Dentro desta classificação, o problema proposto no quadro 1 é categorizado como de nível 2 de investigação. Borges (2002) verificou que muitos estudantes possuem dificuldades em entender uma abordagem experimental no nível 2 e principalmente no nível 3. Desta forma, é importante que o professor realize atividades pré-laboratório para tecer algumas explicações e esclarecimentos sobre a proposta, para que os estudantes possam desenvolver a prática. Francisco (2012) trabalhando com um problema de nível dois e realizando uma discussão prévia com os estudantes, obteve bons resultados em relação ao processo de aprendizagem.

Particularmente no problema exposto no quadro 1, cada estudante ou grupo de estudantes poderá propor a solução que achar mais adequada, pois neste caso podem existir diversas técnicas aplicáveis para a proteção à corrosão. Neste sentido, alguns apontamentos sobre essas possíveis técnicas serão apresentadas a seguir com o intuito de fornecer um guia para o professor desenvolver e planejar as atividades pré e pós-laboratório.

Orientações para as possíveis soluções do problema proposto

Existem muitos meios para o controle da corrosão de materiais, assim como para evitar ou minimizar o efeito corrosivo. Devida a essa gama de possibilidades, as quais serão discutidas a seguir, ao propor soluções para o problema (Quadro 1), os estudantes podem eleger o método mais conhecido e mais próximo da realidade deles. Assim, é importante que o professor planeje atividades pré-laboratório para esclarecer possíveis dúvidas dos estudantes e orientá-los para a resolução do problema. Essas atividades podem (ou devem) estar aliadas à apresentação e discussão de técnicas que permitem controlar ou minimizar a corrosão. Nesse sentido, o professor pode propor algumas leituras e pesquisas que fornecerão informações para que os estudantes desenvolvam as estratégias para a resolução do problema mediante a experimentação.

Uma das alternativas possíveis que os estudantes podem propor é o uso dos *revestimentos*, que são películas aplicadas sobre a superfície do material de interesse, sendo ele metálico ou não, que impede o contato direto da superfície com o meio corrosivo e sua posterior degradação. No entanto, um revestimento torna-se efetivo quando: o material revestido comporta-se como um bom isolante elétrico; e se o filme aplicado ser praticamente perfeito e contínuo. Essas condições do revestimento podem ser debatidas como uma atividade pós-laboratório, caso a resolução do problema perpassasse por esse método de proteção.

Ainda nas atividades pós-laboratório, o professor pode explorar os tipos de revestimentos. Os revestimentos do tipo não metálicos podem ser inorgânicos, como os esmaltes vitrosos, os vidros, os cimentos, as porcelanas e os óxidos, como por exemplo, o zarcão (nome comercial do tetraóxido de chumbo (Pb_3O_4), que é um pó vermelho, insolúvel em água e em ácidos, muito utilizado em tintas para a proteção de superfícies de ferro contra a ferrugem); ou orgânicos como as tintas do tipo epoxídicas (polímeros de condensação, que apresentam o grupamento epóxi; $\text{R}-\text{O}-\text{R}$), e os polímeros (Gentil, 1989). Neste tipo de proteção, os revestimentos são depositados diretamente sobre a superfície do material de interesse ou são formados na superfície após alguma ação externa como calor ou oxidação com o ar.

Outra possibilidade são os revestimentos metálicos, que são usados tanto para evitar ou minimizar a corrosão quanto para fins decorativos. Tais revestimentos são feitos por metais mais nobres que o metal base ou o material de interesse, ou seja, aqueles metais que apresentam o valor do potencial padrão de eletrodo (E°) superior ao metal base. Normalmente são utilizados os metais cromo, níquel e cobre para revestir um material feito de aço.

Nestes casos, os revestimentos retardam a ação corrosiva por tornar o processo termodinamicamente não espontâneo. Porém, estes revestimentos devem ser isentos de poros, trincas e/ou riscos, pois, como o metal de recobrimento é mais nobre, qualquer imperfeição provocará a corrosão do metal de base. As técnicas mais usadas para a aplicação de revestimentos metálicos são: clatização, imersão a quente, metalização, eletrodeposição e redução química. O professor pode, a partir dessas técnicas, aprofundar os conceitos científicos que estão envolvidos nas técnicas com os estudantes, caso alguma resolução aborde essas técnicas ou não.

Outra alternativa para resolução do problema seria utilizar uma proteção catódica ou uma proteção anódica no material. Na proteção catódica, a estrutura a ser protegida se comportará como se fosse o catodo de uma célula galvânica (ou pilha) para evitar a oxidação do material base (Dutra e Nunes, 1987). Tal proteção é feita estabelecendo-se um novo circuito em relação ao material base, sendo esse novo eletrodo imerso na solução eletrolítica para funcionar como o anodo da célula (Figura 1).

Esta nova célula altera o potencial que provoca a corrosão do metal, alterando assim o fluxo de elétrons. Ou seja, os elétrons saem do novo metal e tem seu fluxo em direção aos dois catodos da célula. Assim, o metal que sofrerá a influência do meio corrosivo não será mais o metal base. Frequentemente utilizam-se os metais magnésio ou alumínio que são dissolvidos (ou consumidos) aos poucos e, portanto, devem ser substituídos constantemente para que haja continuidade da proteção (Damaskin e Petri, 1985).

A proteção catódica é muito empregada em estruturas enterradas ou submersas que estão em contato constante com eletrólitos. Está sendo aplicada com sucesso no mundo inteiro e é cada vez mais utilizada no Brasil (Gentil, 1989).

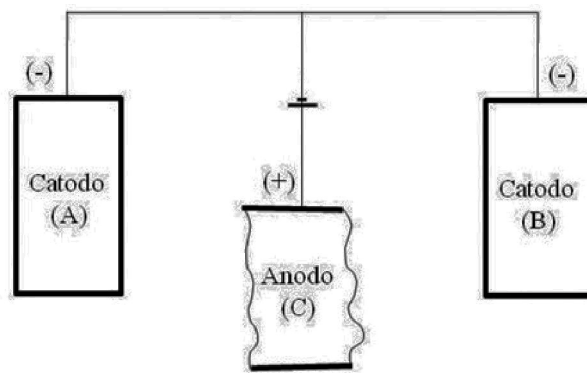


Figura 1. Esquema representativo da proteção catódica (Gentil, 1989).

Neste momento, o professor pode explorar esta aplicação na forma de pesquisas e debates, caracterizando as atividades pós-laboratório porque nem todos os estudantes escolherão este método para resolver o problema.

Se a escolha for a proteção anódica, este método consiste em aplicar uma corrente anódica na estrutura a ser protegida. Esta corrente induz a formação de uma película protetora no metal base, além de manter a estabilidade da mesma, pois origina uma polarização anódica que possibilita a passivação do material metálico (Ticianelli e Gonzales, 1998).

Neste caso existem duas reações anódicas possíveis na célula: a do metal base e do metal menos nobre (metal de sacrifício). Como a corrente anódica provoca a passivação no metal de interesse, a única reação anódica que ocorre é aquela do novo anodo, evitando assim a corrosão do material (Ticianelli e Gonzales, 1998).

Por fim, mas não menos importante está o uso dos inibidores de corrosão. Eles podem ser substâncias puras (inorgânicas ou orgânicas) ou podem estar em misturas. Tais substâncias promovem uma acentuada diminuição nos processos corrosivos, sobretudo, nos materiais metálicos (Brett e Brett, 1996). Normalmente são espécies que apresentam em sua estrutura química átomos de nitrogênio ou enxofre e atuam bloqueando parcialmente a superfície, diminuindo a velocidade das reações (Ticianelli e Gonzales, 1998). O professor pode, como atividade pré-laboratório, debater a presença e a função desses heteroátomos na estrutura química dos inibidores de corrosão. Pode ser uma discussão dialógica ou uma indicação de leituras que instigarão os estudantes para propor a resolução do problema.

Os inibidores são classificados de acordo com o deslocamento do potencial que provoca a corrosão, existindo os inibidores catódicos, anódicos e de adsorção. Os inibidores anódicos **são os que deslocam o potencial no sentido anódico**. Eles agem minimizando a reação que ocorre no anodo, reagindo com o produto formado pelo meio corrosivo e produzindo um filme aderente e insolúvel na superfície do metal. Alguns desses inibidores anódicos **são os hidróxidos, os carbonatos, os silicatos, os boratos e os fosfatos terciários** (Gentil, 1989).

Os inibidores catódicos reprimem as reações que ocorrem no catodo, fornecendo íons metálicos capazes de reagir com a basicidade catódica, ou seja, com os íons hidróxidos formados na reação que promovem a formação de compostos insolúveis que protegem a região catódica. Isto impede a condução ou a transferência de elétrons para a reação de oxidorredução. Exemplos dessas substâncias são: sulfatos de zinco, de magnésio ou de níquel (Gentil, 1989).

Os inibidores de adsorção funcionam como uma película protetora na superfície metálica. Tais substâncias, sobretudo as orgânicas com grupos fortemente polares, são adsorvidas pelo metal, formando-se assim uma película protetora. Essa adsorção protege os metais contra ataques excessivos de ácidos, os quais provocam a liberação de gás hidrogênio, que é facilmente adsorvido por causa de seu pequeno volume, fato que diminui a resistência mecânica da estrutura metálica (Gentil, 1989). Entre as substâncias mais usadas estão os coloides, os sabões de metais pesados e os compostos contendo átomos de oxigênio, nitrogênio ou enxofre.

Tais inibidores estão se constituindo na mais viável solução para se evitar ou minimizar a corrosão. Já existem várias pesquisas estimuladas por indústrias no sentido de desenvolvê-los e aperfeiçoá-los (Gentil, 1989). No entanto, para que a utilização dos inibidores seja satisfatória, devem-se considerar alguns fatores como as causas da corrosão que o sistema está sofrendo (de modo a conhecer qual inibidor empregar), o custo-benefício em relação ao preço dos inibidores e os danos causados pela corrosão sem a utilização dos mesmos.

Cabe ressaltar que a proposta aqui apresentada busca utilizar a experimentação investigativa para promover a aprendizagem dos estudantes. Para tal, defende-se que o uso de atividades experimentais com nível de investigação dois e/ou três (N2 e/ou N3) aliado a atividades pré e pós-laboratório são essenciais para atingir tal objetivo. De início, o professor pode empregar a experimentação com nível de investigação dois para sentir as dificuldades dos estudantes. No decorrer do tempo é interessante explorar atividades de nível três, nas quais os estudantes desenvolverão todas as etapas experimentais.

Considerações finais

A corrosão e seus meios de proteção se apresentam em vários setores sociais e cotidianos, contudo são poucos explorados tanto em nível médio como em nível superior. Portanto, conhecer o uso de revestimentos, inibidores de corrosão e as proteções catódicas e anódicas **são de extrema valia para essa discussão. Dessa maneira, a proposta de utilizar a experimentação investigativa com atividades que abordem diferentes níveis de investigação pode ser empregada pelo professor, principalmente o professor universitário, onde a experimentação é utilizada de forma arcaica e atórica, com roteiros pré-estabelecidos e na maioria das vezes sem concretude e profundidade nas**

discussões dos resultados, com o intuito de promover uma formação mais crítica e sólida dos estudantes.

Apesar de ser proposto um tipo de problema, não necessariamente o professor precisa utilizá-lo em sua aula. No entanto, o problema pode servir de modelo para que o próprio professor e estudantes comecem a desenvolver problemas que explorem não só conteúdos específicos, mas que problematizem a realidade de cada um. Assim, espera-se que tal abordagem possa proporcionar subsídios para uma fuga da tradicional experimentação apresentada nos cursos de ensino superior e também nos cursos de ensino médio.

Referências

- Brett, A. M. O. e Brett, C. M. A., *Eletroquímica: Princípios, métodos e aplicações*. Coimbra, Portugal: Oxford University Press, 1996.
- Borges, A. T., Novos rumos para o laboratório escolar de ciências, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, **19**(3), 291-313, 2002.
- Damaskin, B. e Petri, O., *Fundamentos da electroquímica teórica*. Moscou, Rússia: Editora Mir Moscovo, 1985.
- Dutra, A. C. e Nunes, L. P., *Proteção catódica – Técnica de combate à corrosão*. Rio de Janeiro, Brasil: Editora Técnica, 1987.
- Echevería, M. P. P. e Pozo, J. I., Aprender a resolver problemas e resolver problemas para aprender. In: Pozo J. I. (ed.), *A solução de problemas: aprender a resolver, resolver para aprender* (pp. 13-42). Porto Alegre, Brasil: Artmed, 1998.
- Francisco, W., *Anais do XVIII Encontro Nacional de Ensino de Química*, 2012.
- Gentil, V., *Corrosão*. Rio de Janeiro, Brasil: José Olympio Editora, 1989.
- Giordan, M., O papel da experimentação no ensino de ciências, *Química Nova na Escola*, **2**(10), 43-49, 1999.
- Guimarães, C. C., Experimentação no ensino de química: Caminhos e descaminhos rumo à aprendizagem significativa, *Química Nova na Escola*, **31**(3), 198-202, 2009.
- Gunstone, R., Reconstructing theory from practical work. In: Woolnough B. (ed.), *Practical Science* (pp. 67-77). Milton Keynes, U.S.A.: Open University Press, 1991.
- Hodson, D., Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio, *Enseñanza de las Ciencias*, **12**(264), 299-313, 1994.
- Pozo, J. I. e Crespo, Á., A solução de problemas nas ciências da natureza. In: Pozo J. I. (ed.), *A solução de problemas: aprender a resolver, resolver para aprender* (pp. 67-102). Porto Alegre, Brasil: Artmed, 1998.
- Tamir, P., Practical work at school: An analysis of current practice. In: Woolnough B. (ed.), *Practical Science* (pp. 78-90). Milton Keynes, U.S.A.: Open University Press, 1991.
- Ticianelli, E. A. e Gonzales, E. R., *Eletroquímica: Princípios e aplicações*. São Paulo, Brasil: Edusp, 1998.