

Res., Soc. Dev. 2019; 8(5):e1685866
ISSN 2525-3409 | DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v8i5.866>

Estudo do efeito corrosivo de cloreto e brometo em amostras de aço carbono e aço inox
Study of the corrosive effect of chloride and bromide on samples of carbon steel and stainless steel

Estudio del efecto corrosivo de cloruro y bromuro en muestras de acero al carbono y acero inoxidable

Gilberto Martins de Oliveira Gomes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0586-1646>

Universidade Estadual de Minas Gerais, Brasil

E-mail: gilbertomartinsgomes97@gmail.com

Poliane de Castro Vieira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8667-1603>

Universidade Estadual de Minas Gerais, Brasil

E-mail: polianecastrov@gmail.com

Fabrcia Nunes de Jesus Guedes

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6342-3946>

Universidade Estadual de Minas Gerais, Brasil

E-mail: fabriciajesus@gmail.com

Cecilia Silva Monnerat

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1350-9282>

Universidade Estadual de Minas Gerais, Brasil

E-mail: cecilia.monnerat@uemg.br

Recebido: 21/12/2019 | Revisado: 28/01/2019 | Aceito: 27/02/2019 | Publicado: 01/03/2019

Resumo

O trabalho apresenta a análise do efeito corrosivo no aço carbono e no aço inoxidável em meio aquoso, com o objetivo de se comparar os danos acarretados a esses metais pelo contato com íons presentes no ambiente, assim como avaliar a relação custo-benefício do emprego desses materiais, uma vez que a resistência à corrosão está atrelada ao valor comercial dos metais. Para tanto, utilizou-se a metodologia de ensaio de corrosão no aço carbono SAE 1015 e no aço inoxidável ACE P399B, os quais foram expostos às soluções diluídas de cloreto de sódio 0,1 mol.L⁻¹, brometo de potássio 0,1 mol.L⁻¹ e 50% cloreto de sódio com 50% brometo

de potássio 0,1 mol.L⁻¹, sendo verificada a variação na massa de cada amostra metálica nesses diferentes meios, bem como a sua respectiva taxa de corrosão. Os resultados demonstraram que, apesar do aço inoxidável sofrer ação corrosiva, o aço carbono é o mais afetado pelos íons contidos em tais meios. Ademais, a solução de cloreto de sódio se revelou como o meio mais prejudicial para ambos os aços, o que é decorrente da liberação de íons cloreto nesses metais. Nesse sentido, como esperado, o aço inoxidável é o material que possui maior resistência à corrosão, entretanto, em termos comparativos, não evidenciou uma diferença exorbitante quanto ao aço carbono, podendo, portanto, ser substituído por ele em determinadas situações, nas quais a associação custo-benefício é demandada.

Palavras-chave: Corrosão; Íons; Brometo; Cloreto.

Abstract

This work shows the analysis of the corrosive effect on carbon steel and stainless steel in aqueous medium, in order to compare the damages caused to these metals through the contact with ions which are present in the environment, as well as to measure the price-performance ratio of the use of these materials, since the corrosion resistance is linked to the commercial value of these metals. For this purpose, the methodology used was the corrosion test in SAE 1015 carbon steel and ACE P399B stainless steel, which were exposed to diluted solutions of sodium chloride 0,1 mol.L⁻¹, potassium bromide 0,1 mol.L⁻¹ and one containing 50% sodium chloride and 50% potassium bromide 0,1 mol.L⁻¹, then the variation of mass of each metal sample in these different environments as well as their respective corrosion rate were verified. The results showed that although stainless steel suffers corrosion, carbon steel is the most affected by the ions present in such environment. In addition, the sodium chloride solution proved to be the most harmful medium for both steels, which is due to the release of chloride ions in these metals. Seen in these terms, as expected, stainless steel is the most resistant material to corrosion. However, in comparative terms, it did not show an exorbitant difference in relation to carbon steel, and can, therefore, be substituted by it in certain situations, in which the price-performance ratio is demanded.

Keywords: Corrosion; Ions; Bromide; Chloride.

Resumen

El estudio presenta el análisis del efecto corrosivo en el acero carbono y en el acero inoxidable en el ámbito acuoso, con el objetivo de comparar los daños acarreados a esos metales tras el contacto con iones presentes en el ambiente, asimismo, evaluar la relación coste beneficio del empleo de esos materiales ya que la resistencia a la corrosión está prendida al valor comercial de los metales. Para eso, se empleó la metodología del ensayo de corrosión en acero carbono SAE 1015 y en el acero

inoxidable ACE P399B, los cuales fueron expuestos a las soluciones diluidas de cloruro de sodio 0,1 mol.L-1, bromuro de potasio 0,1 mol.L-1 y 50% de cloruro de sodio con 50% de bromuro de potasio 0,1 mol.L-1, constatando la variación en la masa de cada muestra metálica en esos distintos medios, y su correspondiente tasa de corrosión. Los resultados demostraron que aunque el acero inoxidable sufre la acción corrosiva, el acero carbono es el más afectado por los iones contenidos en tales medios. Además, la solución de cloruro de sodio resultó como medio más perjudicial para ambos aceros, lo que se debe a la liberación de los iones cloruro en esos metales. En ese sentido, como esperado, el acero inoxidable es el material que más tiene resistencia a la corrosión, pero, en términos comparativos, no se evidenció una diferencia significativa cuanto al acero carbono, pudiendo, por lo tanto, sustituirlo en determinadas situaciones en las cuales la asociación coste beneficio es demandada.

Palabras clave: La corrosión; Iones; Bromuro; Cloruro.

1. Introdução

Atualmente o aço é utilizado em diversos setores e seu uso é indispensável. Levando em conta que tais materiais são bens de consumo, ou seja, material utilizado de forma econômica que um dia irá esgotar torna-se necessário melhorar as propriedades mecânicas e resistência do aço ressaltando que a resistência à corrosão deve ser amplamente estudada, uma vez que ela tende a diminuir a vida útil de diversos aços (Frauches-santos, Albuquerque, Márcia, & Echevarria, 2014; Helton & Bueno, 2018; Resende, Diniz, Martelli, & Bueno, 2017).

A corrosão é um processo irreversível, que envolve reações redox ocorrendo de maneira simultânea na interface entre um material metálico e um agente oxidante ou simplesmente oxidante (Gentil, 2011).

Devido às variações que compreendem as composições do aço, esse pode apresentar diferentes níveis de resistência, estando o preço atrelado à liga que é responsável pelo aumento de tal particularidade. Com isso, o valor de aços ligados, que são mais resistentes à corrosão, é elevado e, em alguns casos, esses aços são usados em funções em que poderiam ser empregados aços simples e de menor custo, que possuam uma baixa resistência à corrosão, mas que seja o suficiente para a aplicação.

Para se diminuir os custos com o uso de aços ligados, torna-se necessário o conhecimento da corrosão em aços e a diferença no fator de corrosão para os diferentes materiais, assim como o tipo de corrosão atuante.

Uma vez que o uso do aço está atrelado a diversos setores, como na construção civil e

na mecânica, ele é suscetível à ação corrosiva dos meios em que se encontra exposto, encurtando, drasticamente, a sua vida útil. Nesse sentido, é de extrema importância o estudo do comportamento desses compostos em variados meios (Cecchini, 1971).

No estudo dos processos corrosivos, as variáveis dependentes do material metálico, do meio corrosivo e das situações operacionais devem ser consideradas, pois a análise conjunta dessas condições permitirá indicar o aparato mais adequado para ser utilizado em determinados equipamentos ou em instalações (Gentil, 2011).

Os fenômenos de corrosão de metais abrangem uma variedade de mecanismos que, no entanto, podem ser reunidos em quatro grupos, a saber: corrosão em meios aquosos (90%); oxidação e corrosão quente (8%); corrosão em meios orgânicos (1,8%); e corrosão por metais líquidos (0,2%). Cabe salientar que, entre parênteses, está indicada, de forma estimada, a incidência de cada um dos tipos de corrosão. Nota-se que, evidentemente, a corrosão em meios aquosos é a mais comum, e isto é esperado, uma vez que a maioria dos fenômenos de corrosão ocorre no meio ambiente, onde a água é o principal solvente. Desse modo, a própria corrosão atmosférica, uma forma de corrosão generalizada de grande incidência, sucede por meio da condensação da umidade na superfície do metal (Panonni, 2007).

A corrosão dos aços inoxidáveis, tratados ou não, acontece quando sua camada passiva sofre ruptura e o metal fica exposto ao meio. Os meios salinos possuem ânions que podem atacar a camada passiva dos aços, diminuindo, portanto, a sua resistência à corrosão, o que tem sido foco de diversos relatos na literatura (Deng *et al*, 2008; Shibata, T., 2007; Zhang *et al*, 2005).

Rodrigues *et al* (2013) descreveram que amostras de aço UNS S32750 em solução de NaCl revelou uma ação pouco corrosiva em baixa temperatura, pois os potenciais de formação de pite obtidos para as temperaturas próximas a ambiente foram elevados, e não ocorreu um aumento súbito, o que revelaria a elaboração de pites. Entretanto, no mesmo trabalho, eles verificaram que as soluções de CaCl₂ e CuCl₂ foram as que produziram maiores danos ao metal utilizado, porém com maneiras diferentes de ataque. Diante disso, o CaCl₂ se mostrou mais catastrófico com o desenvolvimento de pites, quando comparado ao CuCl₂, o qual gerou uma dissolução uniforme.

Este trabalho visa estudar, quantificar e especificar a diferença na resistência à corrosão e o tipo de corrosão presente em determinadas amostras de aço. Com o objetivo de provar que o aço deve ser estudado previamente para então ser aplicado. E para isso torna-se necessário submergir amostras de aço inoxidável e aço carbono em variadas soluções contendo íon brometo e íon cloreto, podendo, assim, avaliar o uso de aços mais baratos e

simples, como os aços SAE 1015, no lugar de aços ligados.

2. Metodologia

Esta pesquisa foi desenvolvida na Faculdade de Engenharia da Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG), Campus de João Monlevade, a pesquisa decorreu em um período de oito meses, contando com o apoio eventual de empresas siderúrgicas próximas à universidade.

Esta pesquisa caracteriza-se aplicada, quanto à natureza; exploratória e explicativa, quanto aos objetivos traçados; qualitativa e quantitativa quanto à abordagem, e experimental, quanto aos procedimentos técnicos.

Para desenvolver as atividades propostas, este trabalho foi sequenciado nas etapas descritas a seguir:

Primeira Etapa: Obtenção das amostras.

As amostras utilizadas neste trabalho foram adquiridas por meio de doações de empresas privadas, sendo elas:

Aperam: responsável pela doação das amostras de aço inoxidável, sendo ele ACE P399B, aço inoxidável duplex;

Serralheria do Nivaldo: contribuiu com as amostras de Aço Ferro Carbono SAE1015.

Segunda Etapa: Caracterização das amostras e ensaios de dureza.

As amostras foram caracterizadas por intermédio do Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), a fim de se obter maiores informações a respeito dos corpos de prova, principalmente a morfologia e a constituição química.

Também se utilizou os ensaios de dureza, os quais foram realizados com o emprego do equipamento denominado Microdurômetro.

Terceira Etapa: Ensaios corrosivos.

Após a caracterização, preparou-se as amostras de aço para a realização dos ensaios de corrosão. Para tanto, tais corpos de prova foram limpos, no intuito isentá-los de qualquer película resultante de alguma possível oxidação.

Os ensaios de corrosão ocorreram no Laboratório de Química da Universidade do Estado de Minas Gerais, Unidade de João Monlevade. Nesse sentido, utilizou-se soluções diluídas de NaCl, KBr e 50% NaCl com 50% KBr, com concentração de 0,01M. As amostras ficaram imersas nas soluções, de forma que toda a superfície estivesse susceptível à ação corrosiva.

Cabe salientar que foi mantida uma amostra em água deionizada, a fim de que sirva como amostra testemunha.

O acompanhamento do processo corrosivo transcorreu, periodicamente, durante quatro meses, determinando a perda ou o ganho de massa e as alterações físicas dos corpos de prova. Nessa etapa, foi medida, também, a diferença de potencial, por meio do uso de um multímetro.

Após o ensaio de corrosão, os corpos de prova foram removidos das soluções e limpos com solução de HCl, com concentração de 5%, a fim de se retirar as impurezas geradas pela corrosão. Posteriormente, definiram-se as medidas de massas e as taxas de corrosão das amostras para cada uma das concentrações utilizadas.

Quarta Etapa: Ensaio de dureza e de tensão.

Nesta etapa, as amostras foram submetidas aos ensaios de dureza e de tensão. Novamente, utilizou-se o MEV para avaliar os danos ocorridos, além dos registros fotográficos corroborarem com a análise do mecanismo de corrosão atuante, de acordo com o aço e a solução em que ficou exposto.

Quinta Etapa: Análise dos resultados e confecção do relatório final.

Ao final, os dados obtidos foram usados para a construção de gráficos que permitiram a análise dos resultados. Nesta etapa, a literatura específica sobre o assunto foi utilizada como embasamento de explicações.

3. Resultados e Discussões

Neste trabalho foram selecionadas duas amostras, aço carbono (SAE 1015) e aço inox (ACE P399B). As amostras, em triplicata, foram divididas em 8 grupos: 4 grupos com amostras de aço carbono e 4 grupos com amostras de aço inox. As soluções utilizadas como meio corrosivo foram água; NaCl 0,1M; KBr 0,1M e solução 50% KBr 0,1M + 50% NaCl 0,1M. Cada grupo permitiu o contato da amostra com uma das soluções. Os grupos foram agrupados de acordo com a Quadro 1.

Quadro 1- Divisão dos grupos experimentais do aço carbono SAE 1015 e do aço inoxidável ACE P399B em meios corrosivos.

Solução	Aços			
	SAE1015		ACE P399B	
	Grupos	Amostras	Grupos	Amostras
H₂O	G1	1C	G5	1I
		2C		2I
		3C		3I
NaCl 0,1M	G2	4C	G6	4I
		5C		5I
		6C		6I
KBr 0,1M	G3	7C	G7	7I
		8C		8I
		9C		9I
50%NaCl 0,1M +50%KBr 0,1M	G4	10C	G8	10I
		11C		11I
		12C		12I

Fonte: Autor

Os dados e resultados dos experimentos foram apresentados em forma de gráfico, quadro e tabela, sendo dispostos de acordo com o grupo descrito no Quadro 1.

As amostras foram expostas às soluções a, aproximadamente, quatro meses, sendo possível avaliar a influência do meio corrosivo nos diferentes materiais. Com a análise do processo corrosivo, pode-se observar que o aço SAE 1015 sofreu maior corrosão, apesar da maioria dos materiais em exposição serem, consideravelmente, atacados pelos íons presentes nas soluções. Isso ocasionou resultados expressivos de perdas de massa. No entanto, o meio corrosivo responsável pelo maior índice de agressão aos metais foi a solução de NaCl, devido à liberação de íons cloreto em ambos os aços.

Depois da retirada dos aços de solução e a higienização das amostras com HCl, foi possível calcular a taxa de corrosão de cada amostra (quadro 2). Apesar da taxa de corrosão das amostras de Fe-C serem maiores que as de aço inox, a diferença da taxa de corrosão entre ambos os aços não foi expressiva.

Quadro 2- Taxa de corrosão em relação à perda de massa do aço carbono SAE 1015 e do aço inoxidável ACE P399B em meios corrosivos.

Aços	Grupos	Perda de Massa (%)	Taxa de Corrosão (mm/ano)
SAE 1015	H ₂ O	0,91	0,0176615
	NaCl	1,78	0,0353488
	KBr	1,55	0,0314970
	NaCl+KBr	1,52	0,0283795
ACE P399B	H ₂ O	0,3	0,0120000
	NaCl	0,57	0,0200000
	KBr	0,3	0,0110000
	NaCl+KBr	0,11	0,0040000

Fonte: Autor

Após o cálculo da taxa de corrosão, a qual está contida no Quadro 2, observa-se que, conforme o esperado, as amostras de SAE 1015 (aço ferro-carbono) apresentaram maior taxa de corrosão, o que, conseqüentemente, permitirá uma maior perda de massa no decorrer do tempo. Essa conclusão se difere quando se analisa os corpos de prova de ACE P399B (aço inoxidável), os quais demonstraram um melhor desempenho no ensaio de corrosão e, portanto, representarão uma maior durabilidade durante um período mais extenso expostos a tais ambientes.

Tabela 1- Classificação da Corrosividade.

Taxa de corrosão (mm/ano)		Análise
Uniforme	Pite	
<0,025	<0,13	Baixa
0,025 a 0,12	0,13 a 0,2	Moderada
0,13 a 0,25	0,21 a 0,38	Alta
>0,25	>0,38	Severa

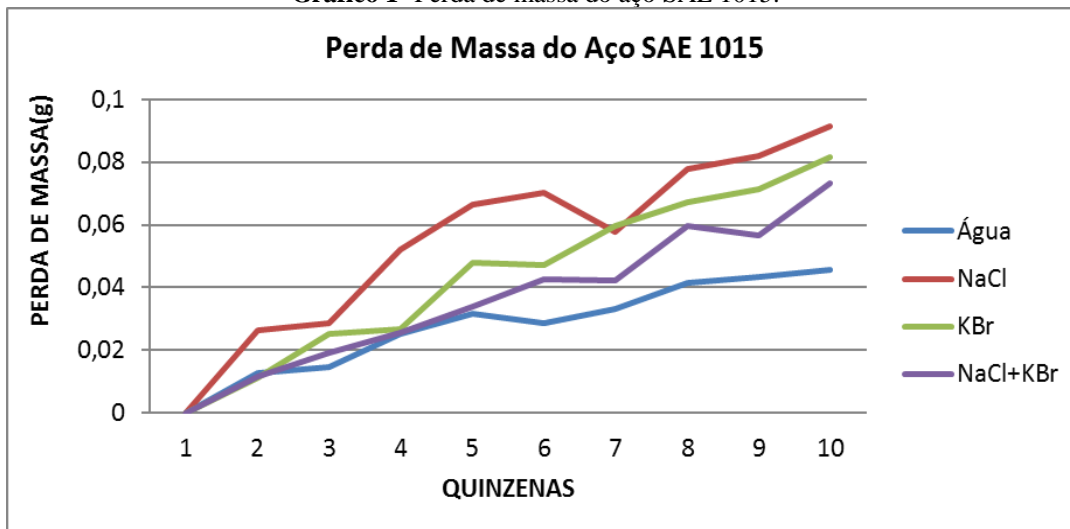
Fonte: Gentil (2011)

Por meio da análise comparativa entre resultados obtidos apresentados no Quadro 2 e dados bibliográficos, Tabela 1, pode-se afirmar que as amostras de aço carbono apresentaram uma taxa de corrosão moderada em todos os meios estudados, enquanto que as amostras de aço inox evidenciaram uma taxa de corrosão baixa. Além disso, é importante destacar que o

NaCl foi o meio corrosivo mais agressivo aos aços estudados, apresentando taxas de corrosão de 0,03535mm/ano para o aço carbono e 0,02000mm/ano para o aço inox.

Com o cálculo da corrosão, observa-se a necessidade do estudo do ambiente em exposição de materiais metálicos – principalmente de aços inoxidáveis devido ao alto preço de aquisição. Nessa análise, deve-se observar as variáveis dependentes do material metálico, do meio corrosivo e das condições operacionais.

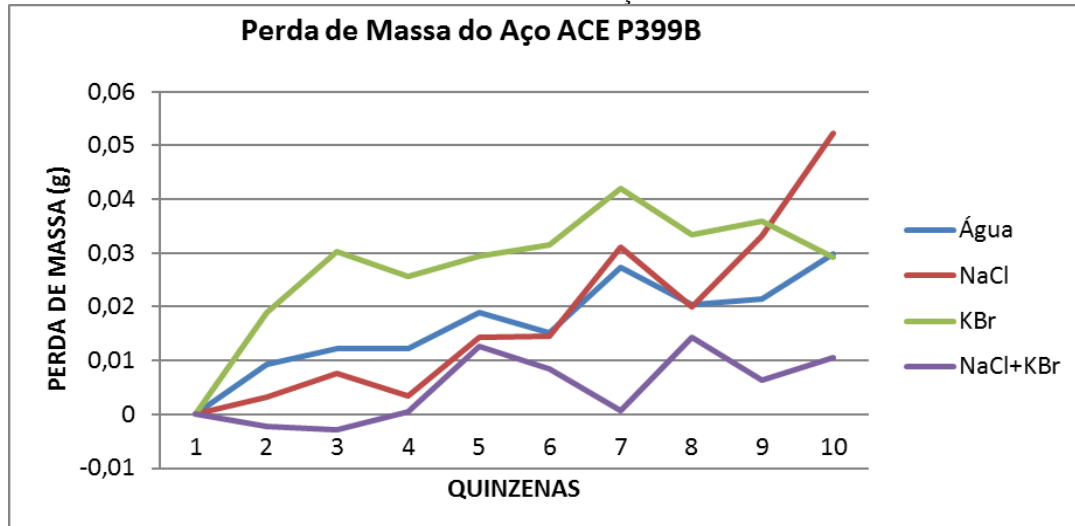
Gráfico 1- Perda de massa do aço SAE 1015.



Fonte: Autor

O Gráfico 1 nos permite observar as perdas de massa quinzenais do aço carbono. O processo corrosivo mais agressivo foi observado nas amostras ensaiadas na solução de NaCl. E a solução contendo NaCl + KBr apresentou menor perda de massa (levando em conta que a água é apenas uma solução padrão).

Gráfico 2- Perda de massa do aço ACE P399B.



Fonte: Autor

A análise do Gráfico 2 que descreve os resultados obtidos através do ensaio do ACE P399B, mostram uma maior perda de massa das amostras submergidas em NaCl. Observa-se também que a solução de NaCl + KBr resultou em uma taxa de corrosão menos agressiva, comparada as outras soluções.

A análise dos gráficos 1 e 2 mostram que a presença de íons cloreto e brometo pode acarretar a perda de massa resultante do processo corrosivo. Entretanto, a ação conjunta desses íons não ocasionou mudanças significativas na perda de massa das amostras estudadas. Como descrito por Gentil, o estudo desse conjunto permitirá indicar o material mais adequado para ser utilizado em determinados equipamentos ou em instalações (Gentil, 2011).

Nesse sentido, vale considerar que também se deve analisar o mecanismo de corrosão atuante, ressaltando a relação existente entre o meio corrosivo e o tipo de corrosão dominante, pois, como aferido anteriormente, tal fenômeno está completamente interligado ao íon presente em determinado ambiente. Além disso, é necessário salientar que, apesar de imperceptível, o aço inoxidável sofre um processo de corrosão, o qual, normalmente, se apresenta em forma de pites, os quais atuam como concentradores de tensão. Isso permite que o processo de ruptura do material metálico seja acelerado. Contudo, essa facilidade não se restringe ao aço inoxidável, sendo verificado no próprio aço ferro-carbono, mesmo que a corrosão seja realizada de forma diferente e seus efeitos sejam mais agressivos nesse metal, acarretando variadas perdas mecânicas e a formação de concentradores de tensão.

4. Conclusão

Esta pesquisa analisou os efeitos corrosivos no aço carbono SAE 1015 e no aço inoxidável ACE P399B em meios aquosos, os quais continham íons cloreto e brometo, a fim de se avaliar a eficiência de cada metal nesses ambientes. Isso denota uma contribuição para os estudos que visam confrontar a viabilidade do emprego de aços de alto valor aquisitivo em situações que se é possível utilizar aços de menor preço, além de colaborar na observação dos impactos acarretados pela corrosão nos metais.

Com a realização dos procedimentos experimentais, pode-se afirmar que o aço ferro carbono possui uma corrosão mais expressiva, se comparado ao aço inox, além do íon cloreto – liberado na solução de NaCl – ser o meio mais corrosivo. Esse fenômeno ocorre devido ao mecanismo atuante da corrosão, o qual provocará a corrosão por pite nos aços inox e a corrosão alveolar, uniforme ou as duas em conjunto no aço Ferro Carbono.

A corrosão por pite terá a formação de concentradores de tensão, que poderá ocasionar ou acelerar uma possível formação de ruptura ou, até mesmo, a ruptura total do material. De maneira semelhante, no aço Fe-C a corrosão homogênea ou alveolar acarretará a diminuição expressiva em suas propriedades mecânicas, como a resistência a esforços externos. Com a análise de tais acontecimentos, pode-se afirmar que a corrosão deve ser monitorada, e, para isso, torna-se necessária a utilização de alguns métodos, como o registro fotográfico.

Diante da análise da taxa de corrosão, verifica-se que o aço inoxidável obteve um melhor desempenho no ensaio corrosivo. Entretanto, o desempenho de tal material não é satisfatório, tendo em vista o seu valor comercial elevado. Além disso, trata-se de um metal que necessita de alguns cuidados quanto ao armazenamento e ao transporte, o que difere do aço ferro carbono, material economicamente mais acessível. Portanto, em situações em que o ambiente se assemelha aos meios corrosivos utilizados na pesquisa, isto é, que apresentam íons cloreto e brometo, e que o capital a ser investido seja limitado, bem como o tempo de uso do metal ser, consideravelmente, curto, é viável que se empregue o aço carbono (SAE 1015) em detrimento do aço inoxidável (ACE P399B).

O trabalho apresentou resultados bastante expressivos no que diz respeito ao comportamento dos aços em diferentes meios corrosivos. Entretanto novos estudos devem ser feitos a fim de simular outros ambientes corrosivos que complementarão o presente estudo.

Nesse sentido, o trabalho apresentou resultados expressivos no que se refere ao comportamento dos aços em diferentes meios corrosivos. Entretanto, novos estudos devem ser realizados com os demais aços disponíveis no mercado e em ambientes corrosivos variados, no intuito de simular situações cotidianas, o que permitirá avaliar os impactos

acarretados a esses materiais. Isso, além de complementar o presente estudo, possibilita averiguar qual o tipo de aço mais adequado para diversas circunstâncias, considerando a relação custo-benefício.

Referências

Cecchini, M.A.G. (1971). *Meios corrosivos*, Anais do II Simpósio Sul-americano de Corrosão Metálica, Rio de Janeiro, ABRACO-IBP.

Costa e Silva, A. L. V. & Mei, P. R. (2014) *Aços e ligas especiais* (3ª ed. rev.). São Paulo: Blucher.

Deng, B.; Jiang, Y., Gong, J., Zhing, C., Gao, J., & Li, J. (2008). Critical pitting and repassivation temperatures for duplex stainless steel in chloride solutions. *Electrochim Acta*, 53(16), 5220-5225.

Frauches-Santos, C., Albuquerque, M. A., Oliveira, M. C. C, & Echevarria, A. A. (2014). A corrosão e os agentes anticorrosivos. *Rev. Virtual Quim*, 6(2), 293-309.

Gentil, V. (2007). *Corrosão*, Rio de Janeiro: Editora LTC.

Nunes, L. P.; Kreischer, A.T. (2010). *Introdução à metalurgia e aos materiais metálicos*. Rio de Janeiro: Interciência.

Pannoni, F. D. (2007). *Princípios da Proteção de Estruturas Metálicas em situação de Corrosão e Incêndio*, Coletânea do uso do aço.

Resende, C., Silva, V. H. M., Martelli, P. B., & Bueno, H. S. (2018). Efeito do nitrito de sódio como Inibidor de Corrosão em Concreto Armado na Presença de CO₂ Cloreto. *Rev. Virtual Quim* 10(5), 1546-1561.

Resende, C., Diniz, A. F., Martelli, P. B., & Bueno, H. S. (2017). Avaliação da Eficiência de Inibidores de Corrosão para Concretos em Ambientes Contaminados com CO₂ e Íons Cloretos. *Rev. Virtual Quim* 9(2), 699-716.

Shibata, T. (2007). Passivity breakdown and stress corrosion cracking of stainless steel. *Corrosion Science*, 49(1), 20-30.

Zhang, S., Shibata, T., & Haruna, T. (2005). Inhibition effect of metal cations to intergranular stress corrosion cracking of sensitized Type 304 stainless steel. *Corrosion Science.*, 47(4), 1049-1061.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Gilberto Martins de Oliveira Gomes – 40%

Poliane de Castro Vieira – 20%

Fabírcia Nunes de Jesus Guedes – 20%

Cecilia Silva Monnerat – 20%