

Copyright 2018, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2018, em São Paulo, no mês de maio de 2018.

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

Fatores que influenciam a corrosão em pontes metálicas na presença de meio aquoso com alta concentração de NaCl

Ana Laura Alves Oliveira ^a, Daniel Oliveira Alves ^b, Jhonata Moreira Leite ^c,
Nathannyel Araújo Costa ^d, Nelson Alexandre Ruas ^e,
Priscila Oliveira Chaves ^f, Érica Karine Ramos Queiroz ^g

Abstract

Introduction: This article presents the main factors that influence the corrosion of metal bridges. **Objective:** To analyze the influence of the corrosion process on steel in civil construction. **Method:** This is a bibliographic study, documental and laboratory, of a deductive and inductive nature. **Results:** In the laboratory samples of the 1020 steel were exposed, for 44 days, to the corrosive medium Control, H₂O + NaCl and H₂O + NaCl + O₂. After the exposure, the samples presented mass variations that did not drastically affect the diameter change. Then, tensile tests were performed. It is worth noting that the Control sample did not suffer mass variation, but it was the one with the lowest resistance, 645,514 N/mm². On the other hand, the material submitted to the medium (H₂O + NaCl + O₂) obtained resistance of 687,759 N/mm², while the sample of the medium (H₂O + NaCl) reached 771,261 N/mm². **Conclusion:** From the results, it is inferred that the corrosion acts with great impact on the physical and mechanical properties of the steel, since variations in mass and resistance measurements of the samples used in the tests were noticed. Finally, it is verified that the corrosion increased the plasticity of the studied material.

Keywords: Sodium chloride, Corrosion, Metallic Bridges.

Resumo

Introdução: Esse artigo apresenta os principais fatores que influenciam na corrosão de pontes metálicas. **Objetivo:** Analisar a influência do processo de corrosão em aço na construção civil. **Método:** Trata-se de um estudo bibliográfico, de cunho documental e laboratorial, de natureza dedutiva e indutiva. **Resultados:** Em laboratório amostras do aço 1020 foram expostas,

^a Estudante de Engenharia Civil - Faculdades Integradas Pitágoras de Montes Claros

^b Estudante de Engenharia Civil - Faculdades Integradas Pitágoras de Montes Claros

^c Estudante de Engenharia Civil - Faculdades Integradas Pitágoras de Montes Claros

^d Estudante de Engenharia Civil - Faculdades Integradas Pitágoras de Montes Claros

^e Estudante de Engenharia Civil - Faculdades Integradas Pitágoras de Montes Claros

^f Estudante de Engenharia Civil - Faculdades Integradas Pitágoras de Montes Claros

^g Doutora/Orientadora-Professora - Faculdades Integradas Pitágoras de Montes Claros

durante 44 dias, aos meios corrosivos Controle, H₂O+NaCl e H₂O+NaCl+O₂. Após a exposição as amostras apresentaram variações de massa que não afetaram drasticamente a mudança do diâmetro. Em seguida, foram realizados testes de tração. Vale destacar que a amostra Controle não sofreu variação de massa, porém, foi a que apresentou menor resistência, 645,514 N/mm². Em contrapartida, o material submetido ao meio (H₂O + NaCl + O₂) obteve resistência de 687,759 N/mm², já a amostra do meio (H₂O + NaCl) atingiu 771,261 N/mm². Conclusão: A partir dos resultados infere-se que a corrosão atua com grande impacto nas propriedades físicas e mecânicas do aço, uma vez que foram notadas variações nas medidas de massa e resistência das amostras utilizadas nos testes. Por fim, comprova-se que a corrosão aumentou a plasticidade do material estudado.

Palavras-chave: Cloreto de sódio, Corrosão, Pontes Metálicas.

Introdução

O processo de corrosão do aço é uma espécie de deterioração, comumente encontrada nas estruturas metálicas. Ela pode acabar com um prédio, uma ponte, entre outros, visto que acaba com as qualidades essenciais do aço, como perda da resistência e até mesmo prejudica na questão da estética. É importante então, saber o que causa essa corrosão e quais são os aços que possuem uma durabilidade maior para prevenir futuros imprevistos. Portanto, é fundamental estudar e precaver para que futuras instalações não sejam prejudicadas, pensando sempre no bem da sociedade, do meio ambiente e nos custos gastos futuramente.

Com isso, a pesquisa aborda os fatores que influenciam a corrosão em pontes metálicas na presença de meio aquoso com alta concentração de NaCl, com o objetivo de verificar o processo de oxidação e corrosão que acontece nos metais e estudar as constantes físicas que caracterizam o aço e verificar mudanças nas mesmas após o processo de corrosão.

Para realização deste estudo foi utilizado o aço 1020 como produto principal de verificação da corrosão. Várias amostras do material foram expostas a meios corrosivos, sendo eles, o meio controle (atmosfera), meio aquoso com alta concentração de NaCl e meio aquoso com alta concentração de NaCl e O₂.

Após 44 dias de exposição realizou-se o teste de tração com todas as amostras para analisar os efeitos da corrosão no aço.

Metodologia

Para o desenvolvimento deste estudo foram produzidos estudos teóricos e práticos acerca do tema com a finalidade de definir e avaliar as variáveis encontradas na realização das pesquisas bibliográficas, tendo como base artigos científicos, livros e teses de especialistas na área. Com o intuito de melhorar a qualidade da pesquisa também foram realizadas pesquisas documentais em normas definidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, que são apresentadas adiante.

Após os estudos teóricos feitos através de livros, artigos, normas técnicas, etc. foram realizados os ensaios de laboratório. No laboratório de química pesaram-se as amostras de aço e foram preparados os meios corrosivos para exposição das amostras. O meio aquoso com alta concentração de NaCl foi produzido com 100 ml de água potável e 2 colheres de sal (NaCl), no meio com adição de O₂ utilizou-se de uma bomba de ar para aquários, o que possibilitou o aumento da concentração de gás oxigênio na água. No meio controle a amostra foi colocada dentro de um Becker e exposta ao ambiente. Os testes de tração foram realizados em laboratório de análise de materiais com o aparelho WP 300.20 Tensile Test da Gunt Hamburg por técnico especializado.

Resultados e discussão

Os resultados dos estudos realizados na pesquisa são apresentados a seguir da seguinte forma, primeiramente são definidos as propriedades físicas do aço, logo após, têm-se os conceitos de corrosão, seus efeitos e formas de proteção.

Os aços, em geral, possuem ótimas propriedades mecânicas, como, por exemplo, são resistentes à tração, à compressão, à flexão, e por ser um material homogêneo, pode ser laminado, forjado, estampado, estriado e suas propriedades podem ainda ser modificadas por tratamentos térmicos ou químicos. (1)

Apesar de receber tratamentos especiais desde a sua produção e possuírem ótimas propriedades mecânicas, os metais estão sujeitos à ação de processos corrosivos.

Propriedades físicas do aço

O aço, assim como todo metal, tem suas próprias características, o que, basicamente, o distingue de outros elementos. As constantes físicas típicas do aço são (2):

Módulo de deformação longitudinal ou módulo de elasticidade:

$E = 205.000 \text{ Mpa}$

Coeficiente de Poisson $\nu = 0,3$

Coeficiente de dilatação térmica $\beta = 12 \times 10^{-6} \text{ por } ^\circ\text{C}$

Peso específico: $\gamma = 77 \text{ Kn/m}^3$

As propriedades físico-mecânicas desse material são extremamente importantes.

Elasticidade: A elasticidade é a propriedade do metal de retornar à forma original, uma vez removida a força externa atuante. Também pode ser chamado de módulo de elasticidade, que é a capacidade de sofrer deformações reversíveis. Três módulos de elasticidade podem ser usados para descrever o comportamento elástico. (1)

Plasticidade: É a propriedade inversa da elasticidade, ou seja, as deformações não são reversíveis, sendo assim o material sofre um dano permanente. Essa deformação plástica aumenta a dureza do metal, podendo assim ser chamado de endurecimento pela deformação a frio ou encruamento. A plasticidade pode ser subdividida em maleabilidade e ductilidade. (1)

Ductilidade: É a capacidade de um metal se deformar sem ser rompido. Quanto mais dúctil for um material, maior será a sua capacidade de estrição e o alongamento antes de ocorrer a ruptura. “[...] estas deformações constituem um aviso prévio à ruptura final do material, o que é de extrema importância para prevenir acidentes em uma construção, por exemplo. [...]” (1). Ao contrário da ductilidade, a fragilidade é a característica dos materiais que rompem com mais facilidade.

Fragilidade: Os aços podem se tornar frágeis devido a diversos fatores: baixa temperatura ambiente, alta concentração de sais, etc.

O comportamento frágil é analisado sob o efeito de dois aspectos: iniciação da fratura e sua propagação. A iniciação ocorre quando uma tensão ou deformação unitária elevada se desenvolve num ponto onde o material perdeu ductilidade. (2)

Resiliência e Tenacidade: Resiliência é a capacidade de transformar regime mecânico em regime elástico, ou seja, capacidade de restituir a energia mecânica absorvida. Já a tenacidade é a energia total, plástica ou elástica, que o material pode absorver até se romper. (1)

Dureza: É a resistência que a superfície do material oferece à penetração de uma peça de maior dureza. É importante nas operações de estampagem de chapas de aços. (1)

Fluência: Deformação plástica ocorrida num material sob tensão constante ou quase constante em função de um longo espaço de tempo. É altamente influenciada pela temperatura (quanto maior a temperatura, maior a deformação). Nos aços, é significativa para temperaturas superiores a 350 ° C, ou seja, em caso de incêndios. (1)

Fadiga: Por fim, a fadiga é a ruptura de um material sob esforços repetidos ou cíclicos. Ao ser exposto a esforços dinâmicos por muito tempo, observa-se um enfraquecimento das propriedades mecânicas, que leva à ruptura. (1; 2; 3)

De todas essas propriedades do aço, a elasticidade é imprescindível para entender mais sobre esse material. Todos os corpos que pensamos serem rígidos são, na verdade, “elásticos”, o que significa que podemos mudar ligeiramente suas dimensões, puxando-os, empurrando-os, entre outros. (4)

Processos Corrosivos

A corrosão é um processo natural de deteriorização de um material, geralmente metálico, como resultado de reações químicas ou eletroquímicas do material com o ambiente. (5)

A figura 1 traz a representação gráfica do processo de evolução da ferrugem sobre a superfície do aço. Na 1ª fase (a), cátodos e ânodos estão distribuídos por toda a superfície metálica e conectados eletricamente pelo substrato de aço. As reações eletroquímicas entre o aço e o meio forma íons de ferro e hidroxilas que se difundem pela superfície e quando se encontram, originam ferrugens. Na 2ª fase (b), conforme as áreas anódicas corroem, a ferrugem vai sendo exposta causando alterações dos potenciais elétricos entre as áreas anódicas e catódicas, ocasionando sua mudança de lugar. O que era anodo passa a ser catodo, e vice-versa. Com o tempo, toda a superfície acaba se corroendo de modo uniforme, ilustrado na 3ª fase (c).

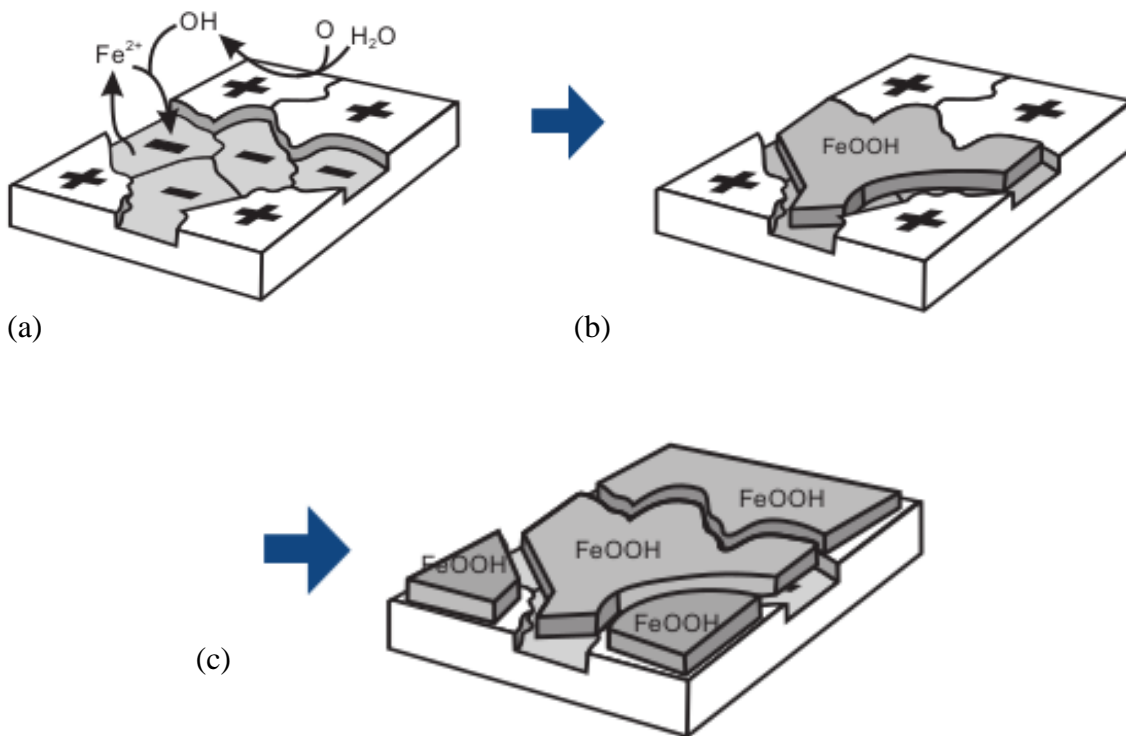
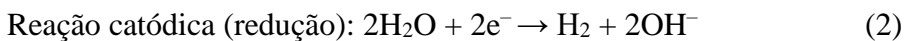
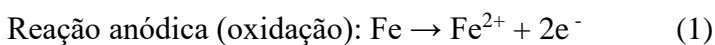


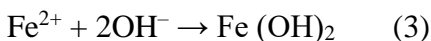
Figura 1 - Processo de evolução da ferrugem sobre o aço: (a) 1ª fase; (b) 2ª fase; (c) 3ª fase.

Há vários tipos de corrosão, pois, ela se apresenta em vários ambientes, mas sempre reduzindo a vida útil de determinado material. A corrosão eletroquímica é um processo espontâneo que ocorre quando o metal está em contato com um eletrólito, resulta na formação de uma pilha de corrosão. (6)

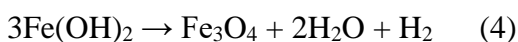
Nas equações de 1 a 6 tem-se o processo de formação da ferrugem, um dos exemplos de corrosão eletroquímica. (6)



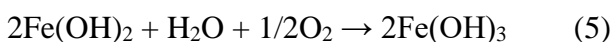
Os íons Fe^{2+} (oxidação) migram para a região catódica e os íons OH^{-} (redução) vão em direção à anódica. Em uma região intermediária deste processo, ocorre a formação do hidróxido ferroso:

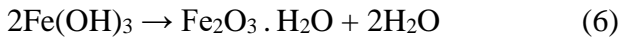


Em meio com baixo teor de oxigênio, o hidróxido ferroso se transforma na ferrugem de cor preta:



Caso o teor de oxigênio seja alto, é formada a ferrugem de cor alaranjada:





A corrosão química é o resultado do ataque de um agente químico diretamente ao material, não há troca de elétrons de uma área para outra. Além disso, é nomeada corrosão seca, por não necessitar de água. Como exemplo tem-se a corrosão do zinco metálico em contato com o ácido sulfúrico: $\text{Zn} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{ZnSO}_4 + \text{H}_2$. (6)

A corrosão galvânica existe, basicamente, como um método para impedir a corrosão de um metal na estrutura das obras, que poderia gerar um prejuízo ou dano permanente a mesma. Para acontecer, é necessário dois metais com potenciais diferentes e os mesmo componentes necessários para todo tipo de corrosão: anodo, cátodo, um circuito elétrico e um eletrólito. Essa diferença de potenciais vai servir de força para o circuito elétrico passar pelo eletrólito, resultando na corrosão de um dos metais. O metal menos resistente e ativo será corroído se tornando uma região anódica, enquanto o mais forte e inerte é catódica, sendo assim, não sofrerá corrosão. A região anódica produz elétrons e a catódica os consome. (7)

A corrosão eletrolítica é um processo eletroquímico não espontâneo que ocorre com a aplicação externa de uma corrente elétrica. Até mesmo um pequeno pedaço de zinco pode ser consumido muito rapidamente quando conectado eletricamente a um pedaço maior de aço na presença de um eletrólito, devido ao alto índice de fluxo de elétrons do zinco para o aço. É ocasionadas em estruturas metálicas enterradas ou submersas, como resultado de correntes elétricas de interferência que também são chamadas de correntes de fuga, estranhas ou parasitas. (7)

As correntes de fuga são formadas quando não há isolamento ou aterramento, ou estes estão com alguma deficiência, ao escaparem para o solo formam-se pequenos furos nas instalações. As que causam maiores danos são as correntes contínuas ou as alternadas de baixa frequência. (7)

Proteção à corrosão

A corrosão afeta nossa sociedade de diferentes maneiras, na questão econômica têm-se mais gastos com troca do equipamento corroído; manutenção corretiva e preventiva; perda de eficiência; com energia elétrica e combustível, como consequência de perdas de água, vapor ou ar comprimido. No quesito social, gera problemas como: exaustão dos recursos naturais e problemas de saúde, causados vazamento de produtos tóxicos, ou o próprio produto de corrosão, pode causar a contaminação da água, do solo e do ar, incêndios, explosões, etc. (5)

A figura 2 mostra o efeito da corrosão em armações usadas em construções residenciais, comerciais, pontes, entre outras. O prejuízo causado por falhas estruturais decorrentes de corrosão pode ser muito grande.



Figura 2 - Corrosão em pilar.

Existem diversos métodos para proteger o aço da corrosão, o mais simples é a pintura, pois diminui o contato do metal com o meio corrosivo. Outra forma de proteção é o revestimento do aço com outro metal que corroi mais rapidamente, como, por exemplo, o cromo, níquel, estanho, e o mais utilizado, zinco. (8)

O processo de recobrimento de um metal com zinco é denominado zincagem ou galvanização. O zinco protege o material por ser atacado mais facilmente pelo oxigênio e pela água do que o metal. O zinco em contato com o oxigênio forma uma camada muito fina de óxido de zinco que fica grudada em cima do metal, protegendo a parte de dentro. O metal zinco, puro, sem a camada de óxido de zinco, é atacado pela água, formando um composto chamado hidróxido de zinco. Caso o aço recoberto com zinco for furado, a chapa começa a enferrujar por aí, porque, no furo, o aço não está protegido pelo zinco e entra em contato facilmente com o ar e com a umidade. (8). A figura 3 mostra este processo destacando o local de aparecimento da ferrugem após a realização do furo na placa.

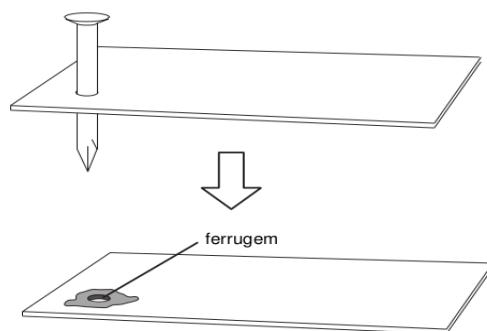


Figura 3 - Corrosão em placa zincada e furada.

Outra técnica para evitar a corrosão é a proteção catódica, é mais utilizada em instalações metálicas submersas, enterradas ou em contato com eletrólitos. A aplicação desse método consiste em eliminar as áreas anódicas da superfície metálica, evitando assim, a corrosão e tornando toda a estrutura catódica. As alterações eliminam o fluxo de corrente elétrica (cátodo/anôdo) e, conseqüentemente, a corrosão. (9)

Existem dois tipos de proteção catódica: a galvânica e a por corrente impressa. Na proteção catódica galvânica o fluxo de corrente elétrica é originado da diferença de potencial entre o metal protegido e o “sacrificado”. Já na proteção catódica por corrente impressa o fluxo de corrente elétrica vem de uma força geradora de corrente elétrica contínua, sua utilização exige uso de ânodos inertes com características variáveis de acordo com o meio onde serão aplicados. (9)

Visto o processo de fabricação do aço, os efeitos da corrosão e as formas de evitá-la, será analisado o processo de oxidação e corrosão que acontece nos metais em diferentes situações. Com o estudo, pretende-se determinar os meios mais agressivos e menos agressivos, além de verificar a proteção oferecida por alguns métodos. A seguir, têm-se os resultados das pesquisas laboratoriais desenvolvidas divididos de acordo com os meios de ação da corrosão.

Meio (Controle): A amostra apresentava inicialmente uma massa de 18,802 g passando a ter ao final dos 44 dias, uma massa final com valor igual a 18,802 g, sem variação de massa. A figura 4 mostra o material antes e após a exposição.



Figura 4 - Amostra Controle.

Meio (H₂O + NaCl): A amostra apresentava inicialmente uma massa de 19,151 g passando a ter ao final dos 44 dias, uma massa final com valor igual a 18,979 g, apresentando uma variação negativa de massa com valor de 0,90 %. A figura 5 retrata as amostras antes e depois do teste, respectivamente.

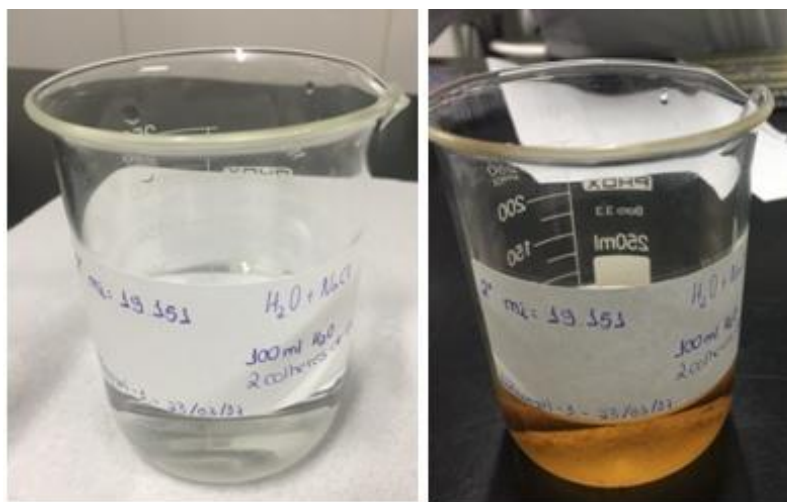


Figura 5 - Ferro exposto ao H₂O + NaCl.

Meio (H₂O + NaCl + O₂): A amostra apresentava inicialmente uma massa de 18,887 g passando a ter ao final dos 44 dias, uma massa final com valor igual a 18,698 g, apresentando uma variação negativa de massa com valor de 1,00 %. Na figura 6 observa-se a amostra antes e após a corrosão.

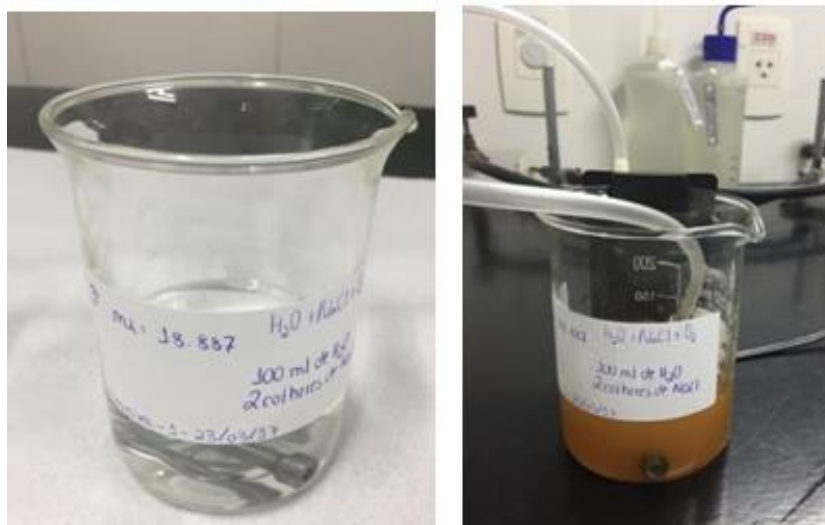


Figura 6 - Ferro exposto ao H₂O + NaCl + O₂.

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos através dos testes e de acordo com as informações discutidas acima.

Tabela 1 - Resultados dos testes laboratoriais.

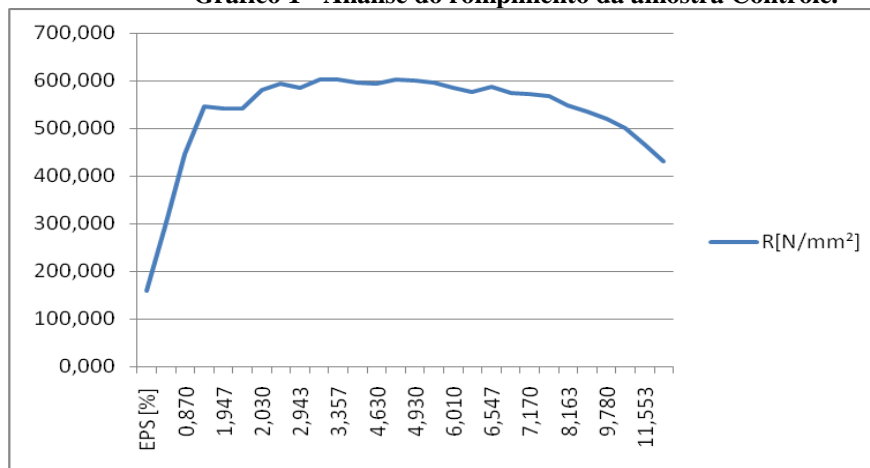
Meio	Massa Inicial [gramas]	Massa final [gramas]	Varição de massa [%]
Controle	18,802	18,802	0,00
H ₂ O + NaCl	19,151	18,979	0,90

H ₂ O + NaCl + O ₂	18,887	18,698	1,00
--	--------	--------	------

Foi realizado nas dependências das Faculdades Integradas Pitágoras de Montes Claros (FIPMoc), uma pesquisa com o intuito de analisar e estudar o comportamento do aço em determinados meios a ser exposto. O objetivo dessa experiência foi comparar os dados que podem ser extraído da amostra de teste antes e depois da mesma sofrer um processo de corrosão. Observando o comportamento das amostras após o período exposto ao meio, e tabelando todos os valores possíveis após o teste de rompimento do material, foi possível determinar o comportamento desses valores através de gráficos, de maneira que suas variações fossem possíveis de ser observadas.

Controle: Em determinado momento, o gráfico apresentou um comportamento que corresponde a uma curva de função de primeiro grau. Através da aplicação de geometria analítica, foi possível determinar que o comportamento da curva obedece a lei $y = 315,85x + 1,51$, apresentando uma inclinação de $89,81^\circ$. O Gráfico 2 representa os dados obtidos e a função que seguem enquanto o material se encontra na fase elástica. Ao analisar o gráfico, comprovou-se que a amostra Controle alcança a resistência máxima, mas se rompe com uma força menor, enquanto que nos demais casos a ruptura acontece com uma força próxima à máxima.

Gráfico 1 - Análise do rompimento da amostra Controle.



H₂O + NaCl + O₂: Como os valores obtidos não apresentaram variações na variável R[N/mm²] no intervalo (0,00 N/mm² até 687,650 N/mm²) antes da matéria sofrer seu rompimento é plausível que não existe inclinação na reta representada por esses pares ordenados, logo, a função será constante com lei igual a $y = 0$.

H₂O + NaCl: Em determinado momento, o gráfico apresentou um comportamento que corresponde a uma curva de função de primeiro grau. Através da aplicação de geometria analítica, foi possível determinar que o comportamento da curva obedece a lei $y = 296,34x - 134,40$, apresentando uma inclinação de $89,80^\circ$.

Com a realização de uma análise das amostras através de conceitos de Física foi possível observar que a principal constante perdida após a corrosão é a elasticidade, visto que a amostra se rompe mais facilmente depois de exposta ao meio do que antes de sofrer esse processo. Logo, sendo a plasticidade o contrário da elasticidade (a inabilidade de voltar a sua forma original depois de deformado), pode-se dizer que essa propriedade se tornou maior nesse material. Outra que também ganhou força foi a ductilidade (capacidade do metal se deformar sem ser rompido), observando as amostras é possível visualizar que nenhum dos materiais foi realmente rompido, só tendo perdido massa nesse acontecimento. A ductilidade é mais presente momentos finais antes de ocorrer o rompimento da peça. No Gráfico 1 é possível observar a deformação da amostra e a existência das suas propriedades.

A amostra também ficou mais frágil, visto que ficou exposta a diferentes meios que agilizam sua corrosão como o NaCl, sal que acelera o processo corrosivo e torna o metal mais frágil.

A tenacidade do metal também pode ser representada por essa longa curva subindo, já que é a energia total que o metal absorve até se romper. O metal não sofreu perdas relevantes nas propriedades relacionadas à temperatura já que não sofreu mudanças nas mesmas. No entanto, sofreu fadiga relacionada ao movimento dinâmico realizado para acontecer a ruptura. Essa fadiga enfraquece todas suas propriedades mecânicas.

Conclusões

Com posse dos resultados obtidos e das análises realizadas sobre eles, conclui-se que entre os meios nos quais as amostras foram expostas, as variações de massas com maior significância foram aquelas com a presença de NaCl, uma vez que este sal atua como facilitador no transporte de elétrons, dessa forma, acelerando o processo de corrosão do metal, acarretando dessa maneira, a diminuição considerável da massa da amostra a ser estudada.

Também é possível afirmar que a corrosão muda as propriedades físicas e mecânicas do aço, pois, as amostras corroídas ficaram mais moles em relação ao Controle e podem ser mais esticadas no momento do teste de tração. Devido à limitação do extensômetro utilizado, em alguns casos, a fase plástica do material não pôde ser mensurada.

Como os meios utilizados na pesquisa fazem parte dos cenários encontrados no âmbito da construção civil, constata-se que os metais utilizados estão a todo instante sujeitos a sofrerem corrosão e que práticas com o intuito de prevenir ou diminuir esse fenômeno químico são extremamente necessárias para prolongar a vida útil dessas peças.

Por fim, conclui-se que a pesquisa suscitou novas possibilidades a serem comprovadas com a utilização de um número maior de amostras e testes mais abrangentes.

Referências bibliográficas

- (1) FERRAZ, H. O aço na Construção Civil. **Revista Eletrônica de Ciências**, São Carlos, n. 22, não paginado, out./nov./dez. 2003.

-
- (2) CATTANI, D. T.; RIEL, M. v. **Engenharias e Engenharia**. 2009. Disponível em: <<http://perfil-i-santa-teresinha.blogspot.com.br>>. Acesso em: 01 abr. 2017.
 - (3) SILVA, L. **Propriedades mecânicas dos materiais**. 2015. Disponível em <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAglREAF/propriedades-mecanicas-dos-materiais>>. Acesso em: 03 abr. 2017.
 - (4) HALLIDAY, D.; RESNICK, R. **Fundamentos de Física, vol 2: gravitação, ondas e termodinâmica**. 8 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.
 - (5) PANNONI, F. D. **Princípios da proteção de estruturas metálicas em situação de corrosão e incêndio**. 6 ed. [S.l.] Gerdau. 2015.100 p.
 - (6) MERÇON, F.; GUIMARÃES, P. I. C.; MAINER, F. B. Corrosão: um exemplo usual de fenômeno químico. **Química nova na escola**, [S.l.], n. 19, não paginado, maio 2004.
 - (7) GALVINFO CENTER. **Corrosão Eletrolítica/Galvânica em Chapas Galvanizadas (incluindo Aresta de Corte)**. Disponível em: <http://www.icz.org.br/site/pdf/galvanizacao/GalvInfoNote_3_6.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2017.
 - (8) **COMO** se pode proteger o ferro?. Disponível em: <http://www.cienciamao.usp.br/dados/t2k/_quimica_q23d.arquivo.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2017
 - (9) GENTIL, V. **Corrosão**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC , 1996. 345 p.