

## ESTUDO DO PROCESSO DE CORROSÃO SOB AÇÃO DE ÍONS CLORETO EM VERGALHÕES DE AÇO 1020 E TUBULAÇÕES INDUSTRIAIS

**B.R.F.Rodrigues,** [biaafigueredo@outlook.com](mailto:biaafigueredo@outlook.com)<sup>1</sup>

**L.W.S.Santos,** [lariwendy@hotmail.com](mailto:lariwendy@hotmail.com)<sup>1</sup>

**T.G. Machado,** [tercio@ifba.edu.br](mailto:tercio@ifba.edu.br)<sup>1</sup>

**P.N.Medeiros,** [patricianmedeiros@gmail.com](mailto:patricianmedeiros@gmail.com)<sup>1</sup>

**R.B. Assis,** [raimisondeassis@hotmail.com](mailto:raimisondeassis@hotmail.com)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia IFBA – Campus Jacobina, Av. Centenário, 500, Nazaré, Jacobina – BA, Brasil, 44700000.

**Resumo:** O processo de corrosão se constitui na degradação de um material ao tempo que ele reage com o ambiente. Podendo ter várias classificações distintas, o transcurso corrosivo em materiais metálicos pode ocorrer de forma natural, gerando diferenciados e consideráveis prejuízos, dentre eles, econômicos e financeiros. Levando em consideração a importância e o cuidado de se fazer um estudo mais aprofundado a cerca deste assunto, este trabalho tem por objetivo realizar um estudo do processo de corrosão sob ação de íons de cloreto em vergalhões de aço 1020, utilizados geralmente na construção civil, e, também em tubulações industriais de processamento, tendo em vista compreender o comportamento do material sob o processo de corrosão, dessa forma, buscando aumentar as ações para proteção contra a corrosão e evitando os decorrentes impactos causados por este processo de degradação. Para a realização do procedimento experimental, as amostras de aço 1020 foram dimensionadas e submetidas ao processo de corrosão sob ação do cloreto de sódio (NaCl) em diferentes concentrações (100 g/L; 200 g/L; 300 g/L). Após o experimento da degradação, as amostras foram testadas por microscopia ótica (MO), microscopia eletrônica de varredura (MEV), resistência ao desgaste, ensaio de dureza e calculadas as taxas de corrosão. Os resultados comprovam que há um processo acelerado de degradação do Aço 1020 sob ação do cloreto de sódio em concentração de 300 g/L de NaCl.

**Palavras-chave:** Corrosão, Cloreto, Aço 1020, Vergalhões, Tubulações.

### 1. INTRODUÇÃO

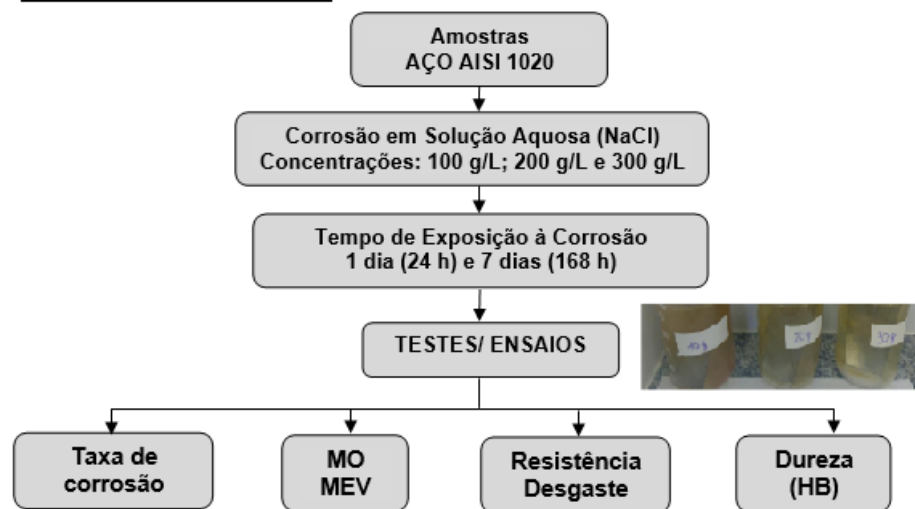
Atualmente, estudos que investigam a ocorrência de processos corrosivos assumiram importância significativa no estudo da proteção contra a corrosão, tendo-se como objetivo principal compreender o mecanismo de degradação em diversos meios agressivos responsáveis pelas reações químicas e eletroquímicas causadas em superfície de materiais de elevada importância industrial. A indústria tem como um dos seus maiores desafios controlar a corrosão em aço carbono utilizado em suas instalações, tais como, vergalhões e tubulações industriais, o que acarreta elevado custo na manutenção de danos provenientes de diferentes tipos de corrosão. O processo de corrosão se constitui na degradação de um material ao quanto que ele reage com o ambiente. Podendo ter várias classificações distintas, o processo corrosivo em materiais metálicos pode ocorrer de forma natural, gerando consideráveis prejuízos, dentre eles, econômicos e financeiros.

O processo de degradação ocasionado pela corrosão é visível e iminente, decorrente a partir da exposição de materiais, principalmente metálicos, ao solo, atmosfera, sais, meios ácidos, água do mar, entre outros. A sucessão desse efeito, do ponto de vista metalúrgico, há reversão da composição do material ao seu estado original, visto que alguns elementos metálicos não são encontrados de forma pura na natureza, precisando ser submetidos a procedimentos que modificam o seu estado real (VIEIRA, 2013). Os consideráveis prejuízos causados pelo efeito do processo de corrosão em materiais metálicos tem sido ponto chave de vários estudos e análises. Levando em consideração o fato de que grande parte da fabricação de metal é destinada à reposição em perdas que foram causadas por tal decurso, este tem sido um tema altamente pesquisado com o desígnio de encontrar soluções suficientes para que os recursos investidos para a recuperação desses detrimientos sejam economizados (ASTM, 2015; ASSIS, 2011). Desta forma, este trabalho tem por objetivo analisar o comportamento do aço 1020 utilizado na fabricação de vergalhões e tubulações industriais sob o processo de corrosão, submetidos a diferentes concentrações de NaCl, para investigar o processo de degradação sob ação de íons cloreto, buscando compreender os mecanismos de degradação para viabilizar métodos de prevenção contra a corrosão e garantir um maior tempo de vida útil do material estudado.

## 2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

No procedimento experimental, três amostras de aço 1020 utilizados em vergalhões e tubulações industriais foram submetidas ao processo de corrosão sob ação de cloreto de sódio (NaCl). Para o procedimento de corrosão foram testados diferentes concentrações de cloreto de sódio (NaCl) em água (Concentrações 100g/L, 200g/L e 300g/L) para avaliar o efeito do íons cloreto no processo de corrosão (Cl). No primeiro recipiente preparou-se uma solução de água (H<sub>2</sub>O) e cloreto de sódio (NaCl) na concentração 100 g/L, em seguida, o segundo recipiente foi preparado com uma concentração de 200 g/L, e por fim, uma solução com concentração de 300 g/L, conforme a Fig.1.

### Procedimento Experimental



**Figura 1. Estudo do processo de corrosão sob ação de cloreto de NaCl nas concentrações: (a) 100 g/L; (b) 200 g/L; (c) 300 g/L.**

Determinou-se a ação do íon Cl<sup>-</sup> no processo de corrosão de acordo com os intervalos de tempo de 1 (24 h) e 7 (168 h) em que se distribuiu a análise. A taxa de corrosão foi calculada de acordo com a Eq. (1) seguindo a norma - ASTM G1-90 - Procedimento padrão para Preparação, Limpeza e Avaliação de Amostras de Teste de Corrosão (ASTM, 2003).

$$\text{Taxa de Corrosão} = \frac{k \times W}{A \times T \times D} \quad (1)$$

Onde: K = constante para definir unidades (8,76 x 10<sup>4</sup> mm/ano)

T = tempo de exposição em horas

A = Área em cm<sup>2</sup>

w = perda de massa em gramas

D = densidade em g/cm<sup>3</sup> para o aço carbono (7,86 g/cm<sup>3</sup>)

Após o processo de corrosão foram realizadas as análises de taxa de corrosão, microscopia ótica (MO), microscopia eletrônica de varredura (MEV), resistência ao desgaste e ensaio de dureza Brinell (HB).

## 3. RESULTADO E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta o resultado da taxa de corrosão das amostras de acordo com as normas ASTM G1-90 e NACE-RP-07-75. Observou-se que as taxas de corrosão em amostras submetidas a 168 h foram maiores que as taxas de amostras submetidas a 24 h. A concentração de NaCl em solução aquosa influenciou significativamente a taxa de corrosão do aço.

**Tabela 1. Taxa de corrosão das amostras de acordo com as normas ASTM G1-90 e NACE-RP-07-75.**

| Amostras                | Massa inicial (g) | Massa final (g) | Taxa de Corrosão ASTM G1-90 (cm/ano) | Corrosividade NACE-RP-07-75 |
|-------------------------|-------------------|-----------------|--------------------------------------|-----------------------------|
| AM01 – C: 100g/L – 24h  | 90,0094           | 90,0071         | 0,0017                               | Baixa (< 0,025)             |
| AM02 – C: 200g/L – 24h  | 91,0434           | 91,0450         | 0,0019                               | Baixa (< 0,025)             |
| AM03 – C: 300g/L – 24h  | 89,7624           | 89,7610         | 0,0016                               | Baixa (< 0,025)             |
| AM04 – C: 100g/L – 168h | 89,7720           | 89,7790         | 0,0021                               | Baixa (< 0,025)             |
| AM05 – C: 200g/L – 168h | 90,5200           | 90,5000         | 0,0033                               | Baixa (< 0,025)             |
| AM06 – C: 300g/L – 168h | 90,0199           | 90,0149         | 0,0028                               | Baixa (< 0,025)             |

De acordo com a classificação da norma NACE-RP-07-75 a corrosão uniforme é caracterizada por corrosividade baixa, quando a taxa de corrosão é menor que 0,025 cm/ano, tendo corrosividade baixa em todas as amostras. Contudo, vale ressaltar que houve a existência de um significativo diferencial da taxa de corrosão das amostras submetidas a 168 h em comparação com as amostras expostas por 24 h, evidenciando que o tempo de exposição influencia o mecanismo de degradação de forma acelerada. Ao se realizar a limpeza das amostras do aço 1020 há a retirada da camada protetora do material fazendo com que a reação de oxidação ocorra somente na área superficial do metal sem que haja o aprofundamento do ataque, onde durante todo o tempo de exposição a reação ocorre somente com cloro, formando uma nova camada, sem que a mesma passe a ser destruída com pequeno intervalo de tempo. As amostras submetidas a corrosão na concentração 200 g/L e 300 g/L em 168 h apresentaram maior taxa de corrosividade, isso porque a solução saturada de ferro é mais corrosiva, tendo mais facilidade de quebrar a camada protetora e continuar o ataque da peça metálica.

A Figura 2 apresenta o resultado da micrografia obtida por microscopia ótica do aço 1020, investigado no processo de corrosão nas concentrações de NaCl (íons cloreto) em (a) 100 g/L, (b) 200 g/L e (c) 300 g/L. Observa-se a modificação estrutural da matriz de aço 1020 pelo efeito de íons cloreto no processo corrosivo pela reação redução-oxidação, bem como a modificação das propriedades mecânicas. Com o aumento da concentração de cloreto de sódio na superfície do metal, promoveu-se a modificação da estrutura ferrita e cementita, ocasionando a precipitação de carbono para a superfície da peça em função da reação de oxidação com o Cl, caracterizando o cloreto de sódio como catalisador de oxidação do ferro.



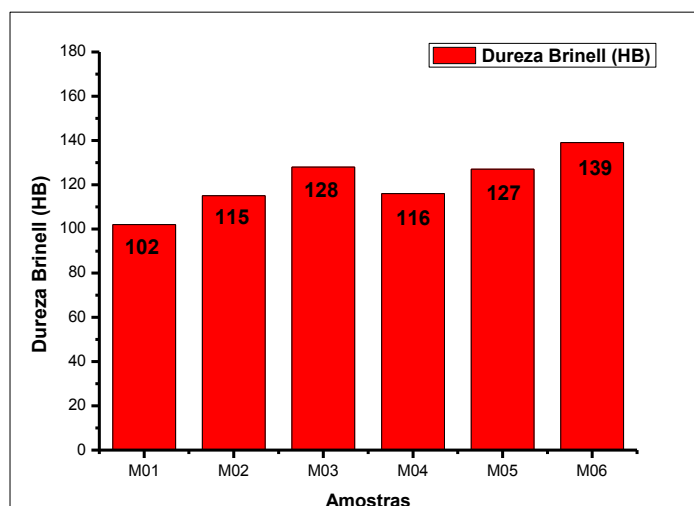
**Figura 2. Microestrutura do aço 1020 submetida ao processo de corrosão sob ação de cloreto de NaCl nas concentrações: (a) 100 g/L; (b) 200 g/L; (c) 300 g/L.**

As alterações que ocorrem na composição química do material pela ação da oxidação (corrosão) sob íons de cloreto influenciam as propriedades mecânicas da peça, sendo determinado pelo potencial eletroquímico (oxidativo) do material. O ensaio de resistência ao desgaste (Tab. 2) revelou diferentes resistências ao desgaste em função da superfície da área corroída e da natureza anódica e catódica das peças, sendo possível um estudo detalhado “in situ” de reações de desgaste sobre as superfícies do aço 1020. De acordo com os resultados de resistência ao desgaste, observa-se que quanto maior a concentração de NaCl em solução aquosa e o tempo de exposição, maior será o desgaste das peças e menor a resistência ao desgaste das mesmas. A corrosão é ainda mais intensa quando o material é exposto a solução aquosa, uma vez que a presença de íons cloreto potencializa o efeito corrosivo, desgastando a superfície da peça, conforme evidenciam os dados da Tab. 2.

**Tabela 2. Dados de resistência ao desgaste das amostras de Aço 1020 submetidas ao processo de corrosão.**

| Amostras                | Desgaste (mg) | Resistência ao Desgaste (mg/m) <sup>-1</sup> |
|-------------------------|---------------|----------------------------------------------|
| AM01 – C: 100g/L – 24h  | 1,4           | 28,74                                        |
| AM02 – C: 200g/L – 24h  | 1,6           | 27,56                                        |
| AM03 – C: 300g/L – 24h  | 2,3           | 19,32                                        |
| AM04 – C: 100g/L – 168h | 5,0           | 11,89                                        |
| AM05 – C: 200g/L – 168h | 7,0           | 9,67                                         |
| AM06 – C: 300g/L – 168h | 19,9          | 7,34                                         |

As amostras M01, M02 e M03 submetidas a corrosão por 24 h apresentaram durezas entre 102 (HB) a 128 (HB) caracterizado pelo tipo de corrosão (uniforme) e pelas concentrações de NaCl sobre a superfície metálica (Fig. 3). Foi possível observar pela análise das micrografias que as microestruturas sofreram alterações, devido às transformações de estruturas ocorridas pela reação de oxidação, aumentando significativamente a precipitação da Cementita ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) sobre a superfície da peça, que consequentemente promoveu maior dureza a amostra de aço 1020. Em contrapartida com o aumento da Cementita ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) reduziu a quantidade de Ferrita -  $\alpha$ , diminuindo a tenacidade do material.



**Figura 3. Resultados do ensaio de dureza Brinell (HB) das amostras submetidas ao processo de corrosão.**

Para as comparações das amostras de aço 1020 submetidas ao processo de corrosão por 168 h, os valores encontrados variaram de 102 a 139 (HB), compreendendo que quanto maior o tempo de exposição das amostras de aço 1020 e concentração de NaCl (íons cloreto), maior será a dureza, estando de acordo com os valores reportados pela literatura.

#### 4. CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos, verificou-se que o processo de corrosão em aços 1020 utilizados em vergalhões da construção civil e tubulações industriais, sob a ação de íons cloreto em solução aquosa é acentuado quando em contato com solução de concentração 300 g/L, devido potencial eletroquímico do cloro e da reação oxidativa (Cl/ Metal), influenciando as propriedades microestruturais e mecânicas das peças (desgaste e dureza). Por intermédio dos resultados pode-se verificar que as taxas de corrosão expressam a velocidade do desgaste que ocorre na superfície das peças metálicas, onde observa-se que as taxas de corrosão são de grande importância para a determinação da vida útil dos equipamentos e instalações industriais (vergalhões e tubulações). Considerando que os tubos de aço carbono correspondem hoje a cerca de 90% das tubulações industriais, é primordial investir em métodos de controle e prevenção da corrosão.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi apoiado pelo Grupo de Pesquisa em Automação, Eficiência Energética e Produção do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia/ Campus Jacobina.

#### 6. REFERÊNCIAS

- VIEIRA, G. L. Estudo do Processo de Corrosão sob a Ação de Íons Cloreto em Concretos Obtidos a partir de Agregados Reciclados de Resíduos de Construção e demolição. UFRGS, Porto Alegre, 2013.
- ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. G48-11: Standard Test Methods for Pitting and Crevice Corrosion Resistance of Stainless Steels and Related Alloys by Use of Ferric Chloride Solution, 11p, 2015.
- ASSIS, K. S. Aspectos Metalúrgicos e Susceptibilidade à Corrosão Localizada do Aço Inoxidável Superduplex UNS S32760, Rio de Janeiro, 130p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica), Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011.
- ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. G48-11: Standard Test Methods for Pitting and Crevice Corrosion Resistance of Stainless Steels and Related Alloys by Use of Ferric Chloride Solution, 11p, 2015.
- ASTM G1 - 90/ 2003 - “Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens”l.
- NACE Standard RP0775 - 2002, Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems, (Houston, TX: NACE, 2002).

#### 7. RESPONSABILIDADE AUTURAL

“O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo conteúdo deste trabalho”.

## STUDY OF THE CORROSION PROCESS UNDER ACTION OF CHLORIDE IONS IN 1020 STEEL REBAR AND INDUSTRIAL PIPES

**B.R.F.Rodrigues**, [biaafigueredo@outlook.com](mailto:biaafigueredo@outlook.com)<sup>1</sup>

**L.W.S.Santos**, [lariwendy@hotmail.com](mailto:lariwendy@hotmail.com)<sup>1</sup>

**T.G. Machado**, [tercio@ifba.edu.br](mailto:tercio@ifba.edu.br)<sup>1</sup>

**P.N.Medeiros**, [patricianmedeiros@gmail.com](mailto:patricianmedeiros@gmail.com)<sup>1</sup>

**R.B. Assis**, [raimisondeassis@hotmail.com](mailto:raimisondeassis@hotmail.com)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia IFBA – Campus Jacobina, Av. Centenário, 500, Nazaré, Jacobina – BA, Brasil, 44700000.

**Abstract.** The corrosion process is in degradation of a material to the time he reacts with the environment. Being able to have multiple distinct classifications, the course corrosive in metallic materials can occur naturally, generating considerable loss, differentiated, including economic and financial. Taking into consideration the importance and care to do further study about this subject, this work aims to carry out a study of the corrosion process under action of chloride ions in 1020 steel rebar, used generally in construction, and also in industrial processing pipes, in order to understand the behavior of the material under the corrosion process, therefore, seeking to increase the actions for protection against corrosion and avoiding the resulting impacts caused by this process of degradation. To perform the experimental procedure, 1020 steel samples were scaled and subjected to the corrosion process under action of sodium chloride (NaCl) in different concentrations (100 g/L; 200 g/L; 300 g/L). After the experiment of degradation, the samples were tested by optical microscopy, scanning electron microscopy (SEM), wear resistance, hardness test and electrochemical. The results show that there is a process of accelerated degradation of 1020 Steel under action of sodium chloride concentration of 300 g/L NaCl.

**Keywords:** Corrosion, Chloride, 1020 Steel, Rebar, Pipes.