

DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA DIDÁTICA PARA ENSAIOS DE NÉVOA SALINA

Cláudio Fernando Da Costa Mescouto (UFPA) E-mail: claudiomescouto39@gmail.com

Eduardo De Farias Pantoja (UFPA) E-mail: eduardopantoja998@gmail.com

Fernando Nunes Da Silva (UFPA) E-mail: nunesdasilvaf@ufpa.br

Resumo: A corrosão é um processo natural que pode resultar em danos e custos significativos para a indústria. Os diferentes tipos de corrosão incluem ataques uniformes, por placas, alveolares, puntiformes, intergranulares e filiformes. Para controlar o processo corrosivo, os testes de corrosão cíclica, como a câmara de corrosão acelerada por névoa salina, são realizados para simular a corrosão natural em laboratório. Esses testes fornecem informações importantes sobre o mecanismo do processo corrosivo e ajudam a identificar o material metálico e o revestimento mais adequado para cada ambiente corrosivo. Além disso, a prevenção e controle da corrosão podem gerar economias significativas, tanto diretas quanto indiretas. Este trabalho discute a importância dos testes de corrosão cíclica na simulação da corrosão natural em laboratório e como esses testes contribuem para prevenir e controlar a corrosão.

Palavras-chave: Corrosão, materiais metálicos, testes de corrosão cíclica, prevenção, controle.

DEVELOPMENT OF A DIDACTIC BENCH FOR SALT SPRAY (FOG) TESTING

Abstract: Resistance is a natural process that can result in damage and fluctuating costs for the industry. The different types of resistance include uniform bands, plate, alveolar, punctiform, intergranular and filiform. To control the corrosive process, cyclic resistance tests, such as the salt spray (fog) accelerated corrosion chamber, are performed to simulate natural resistance in the laboratory. These tests provide important information about the mechanism of the corrosive process and help identify the most suitable metallic material and coating for each corrosive environment. Furthermore, prevention and control of resistance can generate savings, both direct and indirect. This paper discusses the importance of cyclic resistance tests in simulating natural resistance in the laboratory and how these tests work to prevent and control resistance.

Keywords: Corrosion, metallic materials, cyclic resistance tests, prevention, control.

1. Introdução

A corrosão é definida como o processo de degradação de materiais metálicos devido a reações químicas e eletroquímicas com o ambiente em que estão expostos (FONTES *et al*, 2020). Existem diversos fatores que influenciam a corrosão de materiais metálicos, incluindo a presença de agentes corrosivos no ambiente, como água, gases, sais e ácidos (CHEN & CHEN, 2018). Além disso, as propriedades físicas e químicas dos materiais também podem afetar a taxa de corrosão, como a composição química, estrutura cristalina, acabamento superficial, presença de impurezas e tratamentos de superfície (LIMA *et al*, 2019).

É conveniente classificar a corrosão de acordo com a maneira pela qual ela se manifesta. A corrosão metálica muitas vezes tem oito classificações, tais como: uniforme, galvânica, em frestas, por pites, intergranular, por lixívia-seletiva, erosão-corrosão e corrosão sob tensão (CALLISTER JR, 2016).

Vários fatores podem influenciar a corrosão de materiais, incluindo a natureza do material em si, as características do ambiente em que está exposto e as condições de uso. De acordo com Duarte *et al* (2019), os principais fatores que afetam a corrosão são:

- Composição química do material: o tipo de material e sua composição química podem influenciar sua resistência à corrosão. Por exemplo, alguns metais, como aço inoxidável e alumínio, têm uma camada protetora natural que os torna mais resistentes à corrosão.

- pH do ambiente: soluções ácidas ou alcalinas podem acelerar o processo de corrosão de alguns materiais, enquanto soluções neutras tendem a ser menos corrosivas, sendo que valores próximos a 7,0 são comumente utilizados.
- Temperatura: altas temperaturas podem acelerar a corrosão, especialmente em metais.
- Umidade: a presença de água pode aumentar a taxa de corrosão, especialmente em ambientes salinos.
- Presença de impurezas: a presença de substâncias estranhas, como sais, pode aumentar a corrosão.

Dessa forma, há a necessidade de se estudar estes processos corrosivo em laboratório simulando tais ambientes. Uma das formas é através da câmara de névoa salina que é um equipamento utilizado para avaliar a resistência à corrosão de materiais e revestimentos metálicos expostos a ambientes agressivos. No entanto, sua aquisição pode ser muito cara para algumas empresas ou instituições de pesquisa. Nesse sentido, o desenvolvimento de uma câmara de névoa salina de baixo custo pode ser uma alternativa viável para essas situações.

A normas ISO 9227, ASTM B117 e NBR 8094 definem os requisitos para ensaios de corrosão por névoa salina, incluindo a preparação da solução salina, a temperatura da câmara, a concentração de sal e a duração do ensaio, assim como as condições de ensaio para a avaliação da resistência à corrosão de materiais metálicos. Segundo as normas, a câmara deve ser capaz de manter a temperatura entre 35°C e 50°C e a concentração de sal em 5%.

Segundo a norma ASTM B117, a câmara de névoa salina é um dos métodos mais comuns para avaliação da corrosão em laboratório. A norma ISO 9227 descreve os procedimentos para realização de ensaios de névoa salina, que simulam a corrosão em atmosferas artificiais. A norma brasileira NBR 8094 estabelece os requisitos para ensaio em câmara de névoa salina, incluindo a descrição do equipamento e os procedimentos para realização dos ensaios.

De acordo com o estudo de Santos *et al* (2017), é possível desenvolver uma câmara de névoa salina de baixo custo, utilizando materiais acessíveis e de fácil aquisição, sem comprometer a qualidade dos resultados. Para tanto, é necessário realizar ajustes nos parâmetros da câmara, como a concentração de sal, a temperatura e a duração do ensaio.

Rodrigues (2017), desenvolveu uma câmara de névoa salina de baixo custo utilizando materiais acessíveis, como vidro. O autor afirma que a câmara desenvolvida apresentou resultados compatíveis com os obtidos em equipamentos comerciais e pode ser uma opção viável para laboratórios com restrições financeiras.

Um exemplo de aplicação prática do uso de câmaras de névoa salina de baixo custo na indústria pode ser encontrado no estudo de Dorneles *et al* (2021), que utilizaram esse equipamento para avaliar a corrosão de juntas soldadas de tubos de aço carbono em ambiente marinho. Os autores relatam que a utilização da câmara de baixo custo permitiu a realização de ensaios em condições mais próximas à realidade, sem comprometer a qualidade dos resultados. Outro exemplo é apresentado por Araújo *et al* (2019), que utilizaram uma câmara de névoa salina de baixo custo para avaliar a resistência à corrosão de uma liga de alumínio utilizada na indústria automotiva. Os autores relatam que a utilização dessa câmara permitiu a obtenção de resultados confiáveis e a um custo reduzido em comparação com equipamentos mais sofisticados.

Sousa, Bracarense e Almeida (2017) ressaltam que as câmaras de névoa salina têm sido empregadas na indústria automotiva, aeroespacial e de construção civil, entre outras, para avaliação da resistência à corrosão de peças e componentes utilizados em ambientes marinhos e industriais agressivos. Segundo Lima *et al* (2016), esses equipamentos também são utilizados na indústria de petróleo e gás para avaliação da resistência à corrosão de tubulações, equipamentos e estruturas offshore.

De acordo com Santos *et al* (2017), o desenvolvimento de uma câmara de névoa salina de baixo custo é importante, uma vez que a maioria dos equipamentos disponíveis no mercado apresenta um alto custo, o que dificulta o acesso por parte de pequenas e médias empresas. Além disso, a utilização de uma câmara de baixo custo possibilita a realização de ensaios de corrosão por empresas que antes não tinham condições financeiras de investir em equipamentos mais sofisticados.

Esse projeto tem uma grande importância ao curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Tucuruí, pois isentará a instituição de gastos na compra de equipamentos comerciais e ainda ficará à disposição de alunos e professores para atender às pesquisas que envolvam o tema corrosão, além de ser um grande passo para montagem do primeiro Laboratório de Corrosão da Faculdade de Engenharia Mecânica.

2. Materiais e Métodos

2.1. Materiais

2.1.1. Materiais utilizados para construção do equipamento

- Montagem da câmara de névoa salina: 5 placas de vidro e silicone;
- Sistema de aquecimento: 2 bocais de cerâmica, duas lâmpadas halógenas de 100 W, 2 m de fio condutor antichamas com bitola de 2,5 mm², uma caixinha de acrílico e um controlador de temperatura Digital W3230-Bivolt;
- Sistema de pulverização: 1 tubo de PVC de 3/4", duas uniões de 25 mm x 3/4", um joelho de 25 mm e um umidificador de ar 4,8 L Bivolt-Bud04b;
- Sistema de coleta da solução pulverizada: Uma mangueira de silicone de 1/4", um bico de plástico de 1/4", um galão de 5 L, Tek Bond 793 e silicone;
- Porta amostras: Madeira;
- Teto da câmara: Duas chapas triangulares e duas retangulares de acrílico, Tek Bond 793, duas dobradiças e rebites.

2.1.2. Material utilizado no ensaio

- Aço SAE 1020 – O aço 1020 é muito utilizado na indústria para fabricação de engrenagens, tubos, pinos guia, catracas, anéis de engrenagem, colunas, capas entre outros, e oferece uma variedade de possibilidades de usos com excelente custo benefício.

2.2. Métodos

2.2.1. Construção do equipamento

A câmara de névoa salina é constituída por cinco placas de vidro de 400 mm x 400 mm x 6 mm, fixadas com silicone. As medidas foram baseadas em construção semelhante, segundo Rodrigues (2017).

Para a construção do sistema de pulverização foi feito um furo central de 40 mm em uma face da câmara, no qual será colocado o tubo de PVC de 3/4" com, aproximadamente, 400 mm de comprimento entre duas uniões de 25 mm x 3/4" e um joelho de 25 mm, que farão a conexão entre o pulverizador e a câmara. Um umidificador de ar 4,8 L Bivolt-Bud04b, fará o papel de pulverizador, injetando um nevoeiro salino sobre as amostras dispostas dentro da câmara, e de reservatório para a solução com concentração de 5% de NaCl, simulando uma atmosfera salina em laboratório. Foi utilizada uma jarra de plástico com capacidade de 1200 ml para abastecer o reservatório do pulverizador para se medir o consumo de solução num determinado tempo.

Foram feitos outros dois furos, também de 40 mm de diâmetro, em faces opostas da câmara para a fixação de bocais de cerâmica, utilizando silicone, nos quais serão colocadas as lâmpadas halógenas de 100 W, que funcionarão como sistema de aquecimento. O fio condutor antichamas com bitola de 2,5 mm² foi instalado para conectar as lâmpadas e o controlador de temperatura Digital W3230-Bivolt a uma tomada de 220 V. Foi construída uma caixinha de acrílico, colada e fixada com adesivo instantâneo na parte externa da câmara, onde será colocado o controlador de temperatura, que possui um fio com um termopar em sua extremidade, que é colocado no interior da câmara, para monitorar, constantemente, a temperatura durante o ensaio.

Um bico de plástico de 1/4" foi fixado na câmara, utilizando adesivo instantâneo e silicone. Foram utilizados também uma mangueira de silicone de 1/4" e um galão de 5 L, sendo que uma ponta da mangueira foi colada no bico fixado na câmara, e a outra ponta da mangueira foi inserida no galão, posicionado sob a bancada do equipamento, através de um furo em sua tampa. O conjunto agirá como sistema de coleta da solução pulverizada acumulada no fundo da câmara.

O porta amostras foi produzido através da elaboração de duas bases de madeira retangulares, com 220 mm de largura e 190 mm de altura, ainda foram confeccionados três suportes, também de madeira, com 300 mm x 60 mm x 40 mm cada, seguindo as recomendações da norma ASTM B117, com encaixes de 15° e 30° além da adição de um encaixe com ângulo extra de 45° para estudar novos pontos de angulação que não são prescritos por norma.

Para a confecção do teto da câmara, foram compradas duas placas triangulares e duas retangulares de acrílico 3 mm de 285 mm x 285 mm x 410 mm e 285 mm x 400 mm, respectivamente. As placas foram esquadrejadas e coladas, utilizando esquadro e adesivo instantâneo, por essa ordem. Em seguida foram reforçadas com silicone. O teto de acrílico foi posicionado e fixado sobre a câmara de vidro, utilizando adesivo instantâneo e silicone. Para a montagem da parte móvel da tampa, foram utilizadas uma parafusadeira, rebiteadeira e rebites para fixação das dobradiças na placa de acrílico. Segundo a norma ASTM B117, o teto da câmara deve ter uma angulação de 90° a 125°. Um puxador, em forma de retângulo de 100 mm x 40 mm, foi feito de acrílico e fixado com adesivo instantâneo na parte móvel da tampa da câmara para auxiliar no manuseio.

2.2.2. Preparação dos corpos de prova (cp's) e da solução salina

Foi utilizada uma esmerilhadeira com um disco de corte para cortar 12 cp's de aço SAE 1020, nas dimensões de 150 mm x 70 mm, também foi feito uso de um paquímetro para medir a largura e comprimento dos cp's. Na tabela a seguir estão expostas as dimensões dos cp's para o cálculo da área em m² (Tabela 1).

Tabela 1 - Dimensões dos cp's

Aço SAE 1020				
Ângulo	CP'S	Largura (m)	Comprimento (m)	Área (m ²)
15°	1	0,06905	0,15005	0,01036
	2	0,0670	0,15000	0,01005
	3	0,06915	0,14925	0,01032
	4	0,06930	0,15115	0,01047
30°	1	0,06855	0,15125	0,01036
	2	0,06620	0,15225	0,01007
	3	0,06975	0,15200	0,01060
	4	0,06915	0,14920	0,01031
45°	1	0,06865	0,15015	0,01030
	2	0,07070	0,15345	0,01084
	3	0,06855	0,15220	0,01043
	4	0,07055	0,15010	0,01058

Fonte: Autores (2023)

Segundo a norma ISO 9227, os cp's (Figura 1) devem ser, cuidadosamente, limpos antes do ensaio. O método de limpeza utilizado dependerá da natureza do material, da sua superfície e dos contaminantes, não incluindo o uso de quaisquer abrasivos ou solventes que possam atacar a superfície das amostras. Deve-se tomar cuidado para que os cp's não sejam recontaminados após a limpeza por manuseio descuidado.

Como os cp's apresentavam vestígios de tinta, óleos e sujeiras, os mesmos foram, lixados e limpos antes do teste com um disco flap, lixa e um solvente orgânico apropriado, além de um secador e panos limpos para isenção desses contaminantes presentes que poderiam comprometer a avaliação dos resultados.

Utilizou-se uma balança analítica para verificação da massa inicial dos cp's antes do ensaio para se calcular a perda de massa por área.

Figura 1 – Cp's limpos antes do ensaio



Fonte: Autores (2023)

A solução salina foi preparada através da dissolução de (250 ± 5) g de cloreto de sódio (5% de NaCl) em um volume de água destilada, permitindo a obtenção de 5 L de solução, à temperatura ambiente. Foram realizadas medições do pH da água destilada e da solução preparada, obtendo-se os valores de 7,0 e 7,4, respectivamente. O sal utilizado passou previamente por secagem em uma estufa.

2.2.3. Detalhamento dos componentes e disposição dos cp's

Na Figura 2 é possível observar o detalhamento dos componentes da câmara. Os cp's foram dispostos nos porta amostras em ângulos de 15°, 30° e 45° com a vertical e colocados dentro da câmara para o início do teste, sendo 4 cp's em cada porta amostras (Figura 3).

Figura 2 – Componentes do equipamento



Fonte: Autores (2023)

- 1 – Sistema de aquecimento;
- 2 – Sistema de pulverização;
- 3 – Umidificador de ar;
- 4 – Sistema de coleta da solução pulverizada;
- 5 – Teto da câmara;
- 6 – Controlador de temperatura;
- 7 – Porta amostras;
- 8 – Câmara de vidro.

Figura 3 – Disposição dos cp's no equipamento



Fonte: Autores (2023)

2.2.4. Realização do ensaio

O ensaio de névoa salina com o aço SAE 1020 foi realizado com 12 amostras dispostas dentro da câmara num período de exposição de 48 horas e com uma vazão de névoa de 1,98 ml/s na posição 3 do pulverizador (Figura 4).

As condições de ensaio foram observadas, constantemente, como, por exemplo, a temperatura da zona de exposição da câmara de ensaio, que ficou mantida a uma temperatura de (35 ± 2) °C e foi verificada através do controlador de temperatura colocado, externamente, à câmara, para que todas as suas oscilações fossem assistidas.

Figura 4 – Funcionamento do equipamento



Fonte: Autores (2023)

2.2.5. Cp's após o ensaio

Ao final do ensaio foi verificado um consumo de 4300 ml de solução salina, que possuía pH na faixa de 7,0, assim como, o estado dos cp's devido ao processo corrosivo (Figura 5).

Figura 5 – Cp's após o ensaio



Fonte: Autores (2023)

As superfícies dos cp's, após ensaio, apresentaram a formação de uma camada porosa de produtos de corrosão, como $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$, conhecida como óxido de ferro hidratado (ferrugem), pouco aderente na superfície, com coloração alaranjada, que é observada em aço carbono quando exposto à atmosfera salina. A forma de corrosão observada foi a corrosão puntiforme ou por pite, esta se processa em pontos ou em pequenas áreas localizadas na superfície metálica produzindo pites (GENTIL, 2011).

2.2.6. Limpeza mecânica para verificação da massa final

Ao final do ensaio, os cp's foram submetidos à limpeza mecânica, para a remoção dos produtos de corrosão (Figura 6), onde eles foram limpos à temperatura ambiente com água destilada, sabão abrasivo, escova, álcool etílico e seguido por secagem com secador, conforme descrito na norma para limpeza ISO 8407. Foi utilizada uma balança analítica para verificação da massa final dos cp's para o cálculo da perda de massa por área.

Figura 6 – Cp's após a limpeza mecânica



Fonte: Autores (2023)

2.2.7. Cálculo da perda de massa por área para validação do equipamento

Para avaliar a perda de massa de metal por área (g/m^2), deve-se dividir a diferença entre as massas final e inicial pela área da superfície exposta do corpo de prova, como na (Equação 1), a seguir.

$$P_m = \frac{M_i - M_f}{A} \quad (1)$$

Onde:

P_m → perda de massa por área (g/m^2)

M_i → massa inicial (g)

M_f → massa final (g)

A → área (m^2)

2.2.8. Cálculo da taxa de corrosão

Como a perda de peso é influenciada pela área exposta e tempo de exposição, essas variáveis são combinadas e expressas em taxa de corrosão (Equação 2). Conhecendo-se a taxa de corrosão de um material em determinado meio, pode-se estimar o tempo de vida de um equipamento. Determinada a espessura de parede para atender às características como, por exemplo, pressão, temperatura e peso do equipamento, se costuma usar uma espessura extra conhecida como sobreespessura de corrosão, que tem a finalidade de compensar a perda por corrosão durante o tempo de vida previsto para utilização do equipamento (GENTIL, 2011).

$$T = \frac{\Delta m (g) \times 365 \left(\frac{\text{dias}}{\text{ano}}\right) \times 1000 \left(\frac{\text{mm}^3}{\text{cm}^3}\right)}{S \times t \times d} \quad (2)$$

Onde:

T → taxa de corrosão (mm/ano)

Δm → perda de massa (g)

S → área exposta da superfície do cp (mm^2)

t → tempo de exposição (dias)

d → densidade do material (g/cm^3)

3. Resultados e Discussões

Foram analisados os diversos aspectos de interesse, tais como a perda de massa por área, a

taxa de corrosão, a formação de produtos de corrosão, a aparência superficial das amostras e a homogeneidade dos resultados. Essas informações são importantes para avaliar a eficácia da câmara de névoa salina de baixo custo desenvolvida e compará-la com as normas técnicas internacionais ISO 9227 e ASTM B117, além da norma técnica brasileira NBR 8094.

Após a limpeza mecânica foi feita uma análise do processo corrosivo nos cp's e foram observados pites nas superfícies metálicas, constatando-se a presença do processo corrosivo puntiforme (ou por pite).

O funcionamento do equipamento de ensaio é satisfatório se a perda de massa de cada corpo de prova for de $70 \pm 20 \text{ g/m}^2$ para um tempo de exposição de 48 horas de acordo com a norma técnica ISO 9227. A Tabela 2 apresenta as massas iniciais e finais dos cp's para cálculo das perdas de massa por área, além da taxa de corrosão (mm/ano) calculada através da Equação 2, para o aço carbono, cuja densidade é de $7,86 \text{ g/cm}^3$.

Tabela 2 - Perda de massa e Taxa de Corrosão dos cp's

Aço SAE 1020						
Ângulo	CP'S	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Área (m ²)	Perda de massa por área (g/m ²)	Taxa de corrosão (mm/ano)
15°	1	163,4	162,7	0,01036	67,56756	1,56883
	2	157,6	156,9	0,01005	69,65174	1,61723
	3	161,3	160,6	0,01032	67,82945	1,57492
	4	164,4	163,7	0,01047	66,85768	1,55235
30°	1	163,7	162,9	0,01036	77,22007	1,79295
	2	157,0	156,3	0,01007	69,51341	1,61402
	3	168,7	168,0	0,01060	66,03773	1,53331
	4	164,3	163,6	0,01031	67,89524	1,57644
45°	1	153,2	152,5	0,01030	67,96116	1,57797
	2	166,0	165,3	0,01084	64,57564	1,49937
	3	164,1	163,4	0,01043	67,11409	1,55831
	4	160,7	160,0	0,01058	66,16257	1,53621

Fonte: Autores (2023)

Os resultados foram adequados para o ensaio realizado, pois foi possível observar (Tabela 2), que a perda de massa em função da área do aço SAE 1020, obteve valores na faixa de $64,57564 \text{ g/m}^2$ a $77,22007 \text{ g/m}^2$, atendendo à norma ISO 9227 e apresentando similaridade com os resultados encontrados em Rodrigues (2017), onde os valores da perda de massa em função da área variaram de $67,6830 \text{ g/m}^2$ a $74,6004 \text{ g/m}^2$.

Segundo Souza *et al* (2012), em sua investigação da corrosividade do ensaio de névoa salina segundo norma ISO 9227, realizada em equipamento comercial, o resultado encontrado para perda de massa média obtida foi de $73,28 \text{ g/m}^2$.

Deste modo o equipamento desenvolvido demonstrou ser capaz de realizar ensaios tão eficazes quanto os realizados em equipamentos comerciais, pois a corrosividade ocorreu de forma homogênea no interior do mesmo.

O valor médio da perda de massa em função da área, o desvio padrão e o valor médio da taxa de corrosão foram calculados e estão dispostos na tabela a seguir (Tabela 3), corroborando assim, com os dados obtidos na literatura.

Tabela 3 - Média da perda de massa, desvio padrão e média da taxa de corrosão

Material	Média da Perda de Massa (g/m ²)	Desvio Padrão (g/m ²)	Média da Taxa de Corrosão (mm/ano)
Aço SAE 1020	68,19886	3,17411	1,58349

Fonte: Autores (2023)

A corrosividade pode ser estabelecida de acordo com a norma NACE RP0775-99 que é determinada em função da taxa de corrosão (mm/ano). Segundo a média da taxa de corrosão obtida a corrosividade nos corpos de prova foi considerada severa, pois de acordo com a norma mencionada tem-se tal situação a partir de valores superiores a >0,25 mm/ano (Tabela 4). Em termos de comparação, conforme demonstrado por Filho *et al* (2018), foi possível observar que a taxa de corrosão em meio atmosférico em uma região litorânea para o aço carbono foi considerada moderada, tendo como resultado o valor de 0,05 mm/ano, dessa forma é possível constatar a alta agressividade do ensaio no equipamento, cuja a concentração salina foi bem mais elevada.

Tabela 4 - Classificação da corrosividade

Taxa de Corrosão (mm/ano)	Corrosividade
< 0,025	Baixa
0,025 a 0,12	Moderada
0,13 a 0,25	Alta
> 0,25	Severa

Fonte: NACE RP0775-99 (1999)

4. Conclusão

É importante ressaltar que a implementação de uma câmara de névoa salina de baixo custo pode ser uma alternativa viável para empresas que buscam avaliar a resistência à corrosão de seus materiais. No entanto, é importante lembrar que, apesar do baixo custo, essas câmaras podem apresentar limitações em relação à precisão e reprodutibilidade dos resultados, o que pode afetar a comparação entre diferentes materiais.

Contudo o equipamento desenvolvido demonstrou ser capaz de realizar ensaios tão eficazes quanto os realizados pelos equipamentos tradicionais, atendendo às normas técnicas ISO 9227, ASTM B117 e NBR 8094, mesmo contando com a falta de equipamentos e produtos adequados, a validação do equipamento se deu por conta do valor médio da perda de massa por área, que teve um resultado de 68,19886 g/m², o qual se encontra dentro do valor especificado pela norma técnica ISO 9227 que é de 70 ± 20 g/m².

O custo final para montagem desse equipamento foi de R\$ 1.588,49, representando 0,89 %, ao se comparar com o valor de um equipamento comercial e tradicional, que é de ± R\$ 178.000,00.

Sugestões para trabalhos futuros poderiam incluir a realização de estudos mais aprofundados sobre a precisão e reprodutibilidade dos resultados obtidos em câmaras de névoa salina de baixo custo, bem como a comparação entre diferentes materiais em diferentes tipos de câmaras. Além disso, seria interessante investigar a possibilidade de otimizar o uso de

materiais e equipamentos em câmaras de névoa salina de baixo custo, visando melhorar a qualidade e confiabilidade dos resultados.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Universidade Federal do Pará (UFPA), Campus Universitário de Tucuruí (CAMTUC) e aos laboratórios que o integram, o Laboratório de Soldagem, Laboratório Fluidpar, Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental, Laboratório de Térmicas e Fluidos, e o Laboratório de Máquinas Operatrizes, pelo apoio ao trabalho desenvolvido.

Referências

- ABNT NBR 8094 - Material metálico revestido e não revestido - Corrosão por exposição à névoa salina, Jul 1983.
- ARAUJO, André Lucas; SILVA, Natacha Stephany. Desenvolvimento de uma câmara de nevoa salina para simulação e análise da ação da maresia na região litorânea da cidade de São Luís - Projeto de viabilidade da implementação do primeiro laboratório de corrosão da universidade estadual do Maranhão. 103 f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2019. Orientador: Prof. Me. Francismar Rodrigues de Sousa. *Á*, 2019.
- Araújo, J. S., Duarte, L. F. C., Silva, F. V. S., & Albuquerque, E. L. (2019). Evaluation of corrosion resistance of AA 6016-T4 aluminum alloy using low-cost salt spray chamber. *Revista de Metalurgia*.
- ASTM International. (2020). Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus (ASTM B117-19).
- CALLISTER JR, W. D. *Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução*. 9 ed. ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos, 2016.
- Chen, Y., & Chen, H. (2018). A review of corrosion and corrosion protection of metals in seawater environment. *Journal of Materials Science & Technology*.
- Dorneles, L. P. S., Baptista, C. A. R. P., & Ferreira, R. A. S. (2021). Corrosion behavior of welded joints of carbon steel pipes in marine environments. *Journal of Materials Research and Technology*.
- Duarte, L. F. C., Silva, F. V. S., Araújo, J. S., & Albuquerque, E. L. (2019). Desenvolvimento de câmaras de névoa salina de baixo custo para avaliação da corrosão de materiais metálicos. *Brazilian Journal of Development*.
- EQUILAM, Fonte: <https://equilam.com.br/camara-corrosao-salt-spray-ciclico-serie-ss/>
- FILHO, F. C. M. F.; TOGAWA, E. H. V.; CANTANHEDE, G. A. AVALIAÇÃO DAS TAXAS DE CORROSÃO E DEPOSIÇÃO EM MEIO ATMOSFÉRICO NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO LUÍS - MA, São Luís, p. 5, 21 agosto 2018. ISSN 1.
- Fontes, J. C. L., Silva, E. P., & Lima, M. S. F. (2020). Estudo da corrosão em materiais metálicos. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*.
- GENTIL, V, *Corrosão*. 6ª ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2011.
- Giassiferroeco.com.br/aco-sae-1020.
- ISO 8407 International Standard - Corrosion of metals and alloys – Removal of corrosion products from corrosion test specimens, 2009.
- ISO 9227 International Standard - Corrosion tests in artificial atmospheres - Salt spray tests, jul 2006.
- Lima, A. L., Cruz, D. D., D'Elia, E., & Araújo, W. A. (2019). Estudo da corrosão em metais e suas técnicas de proteção: uma revisão de literatura. *Brazilian Journal of Development*.
- Lima, M. S. F., Fontes, J. C. L., Silva, E. P., & Andrade, L. S. (2016). Câmaras de névoa salina: princípio, operação e aplicações industriais. *Química Nova*.
- NACE RP0775-99 - Preparation, Instalation, Analysis and Interpretation of corrosion coupons in Oilfield Operations, 1999.

RIBEIRO L.L., Aumentar a qualidade do teste Salt-Spray, segundo a norma Internacional ISO 9227. Conclusão de Graduação do Curso de Engenharia Química, Escola de Engenharia de Lorena - EEL, 2012.

RODRIGUES, Luciano Monteiro. Desenvolvimento de equipamento para realização de ensaios com névoa salina para avaliar a resistência à corrosão em metais. 2017. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) – Centro Universitário de Volta Redonda - UniFOA, Volta Redonda, 2017.

Santos, A. M. A., Souza, R. C., Pardal, J. M., Pires, M. C., & Botelho, E. C. (2017). Desenvolvimento de uma câmara de névoa salina de baixo custo. *Revista de Tecnologia e Inovação*.

Sousa, D. C., Bracarense, A. Q., & Almeida, C. M. C. (2017). Ensaios de corrosão em materiais metálicos: revisão bibliográfica. *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia*.

SOUZA, D. O., HAMMEL, N. P., SANTOS, W. I. A., RAMIREZ, A. H., ROJO, N., COSTA, I., Investigação da Corrosividade do Ensaio de Névoa Salina segundo Norma ISO 9227. Encontro e Exposição Brasileira de Tratamento de Superfície III INTERFINISH Latino Americano - EBRATS, 2012.