

AVALIAÇÃO DA CORROSÃO DO AÇO CARBONO S355 EM ÁGUA DO MAR

Maria Uly Eduardo Martins, ully.martins@ufc.br¹
Pedro de Lima Neto, pln@ufc.br²

¹Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Ceará

²Departamento de Química Analítica e Físico-Química, Universidade Federal do Ceará

Resumo: A participação da energia eólica offshore na matriz energética brasileira é uma realidade cada vez mais próxima. Embora na costa brasileira ainda não haja nenhum parque eólico offshore em operação, o vasto potencial já foi apontado em pesquisas acadêmicas e observado por empresas especializadas na área, resultando em alguns projetos de implantação, que encontram-se em fase de licenciamento ambiental e aprovação, principalmente no Nordeste brasileiro, com destaque para o litoral cearense, devido ao excelente índice de ventos. Os projetos de fundações eólicas offshore do tipo monopilha representam o projeto mais comum. O aço mais utilizado na fabricação dessas estruturas de suporte é o aço carbono S355. Esses tipos de estruturas não são tripuladas e encontram-se constantemente expostas ao ambiente marítimo adverso, logo, a corrosão é um problema complexo e dispendioso na operação e manutenção offshore. Torna-se, portanto, necessário o estudo da corrosão para aplicação de estratégias de prevenção e manutenção. Este estudo tem como objetivo avaliar a resistência à corrosão do aço carbono S355 em água do mar, que foi coletada na cidade de Fortaleza, Ceará. A investigação do processo corrosivo do aço foi conduzida por meio de ensaios de imersão e de testes eletroquímicos: Potencial de Circuito Aberto (PCA), Polarização Potenciodinâmica (PP) e Monitoramento da Espectroscopia de Impedância Eletroquímica (EIE). O ensaio de imersão foi realizado em triplicata, na temperatura ambiente ($\approx 30^\circ\text{C}$) e a perda de massa foi obtida para determinar a taxa de corrosão após 45 dias de imersão. Uma taxa de corrosão de 0,057 mm/ano foi observada neste experimento. O monitoramento do PCA e o acompanhamento da evolução dos diagramas de impedância EIE foram feitos por até 96h de imersão, sendo observada a diminuição dos arcos capacitivos com o aumento do tempo de imersão, reduzindo a resistência a polarização. E no decorrer do tempo de imersão, os valores dos potenciais tornaram-se mais negativos. A morfologia superficial das amostras após os testes de corrosão foi caracterizada por meio de Microscopia Óptica (MO). Foi identificada a presença de corrosão uniforme e localizada. A partir dos resultados obtidos, a agressividade do processo corrosivo foi classificada como moderada.

Palavras-chave: Corrosão, Aço Carbono, Água do Mar, Energia Eólica Offshore

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a exploração demasiada dos recursos naturais está causando graves problemas ambientais e de sustentabilidade, gerando preocupações em todo o mundo. Políticas encorajadoras propõem metas para redução de emissões de gases de efeito estufa e o desenvolvimento de fontes de energia limpas e renováveis (Liu *et al.*, 2021).

Como fonte de energia sustentável, a energia eólica desempenha um papel vital nas transformações globais de energia, desenvolvendo-se rapidamente nos últimos anos. Com o foco na energia eólica offshore, espera-se que mais de 10% da capacidade total instalada seja provida de geração offshore até 2025, ano em que será atingida a marca de 100GW (Global Wind Report, 2020).

Apesar do recurso eólico offshore ainda não estar sendo aproveitado no Brasil, pesquisas foram desenvolvidas e mostram um grande potencial energético no país. Segundo a ABEEólica (2020), a capacidade eólica onshore instalada era de 17,75 GW, o que correspondia a uma participação de 10,1% na matriz elétrica brasileira. Comparando com o estudo de Pimenta *et al.* (2019), foi identificado um potencial eólico offshore mais significativo, com valor de até 1,3 TW na costa brasileira com limite batimétrico de até 100 m.

Adicionalmente, Reis *et al.* (2021) apresentaram uma análise de viabilidade econômica para projetos eólicos offshore na costa brasileira, considerando um limite batimétrico de até 50 m. Os resultados indicaram que a região Nordeste do Brasil possui o maior potencial de geração de energia, ressaltando a área litorânea entre o Maranhão e o Rio Grande do Norte, na qual para um parque eólico de 300 MW de capacidade instalada, a produção anual de energia pode chegar a 1.500 GWh.

O Estado do Ceará possui características que o colocam em posição de destaque, de acordo com o Atlas Eólico e Solar (2019). O Atlas apresenta o mapeamento eólico offshore para a costa cearense, no qual pode-se observar uma extensa plataforma continental de baixa profundidade, entre 5 e 50 metros. Outra vantagem natural abordada no Atlas é a velocidade do vento com valores elevados ao longo da costa, com médias anuais que ultrapassam 9 m/s.

Em 2019, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente – IBAMA iniciou a análise do licenciamento de cinco parques eólicos offshore de grande porte, localizados no Nordeste, no Sul e no Sudeste do litoral brasileiro. O IBAMA também divulgou um Termo de Referência, que orienta o licenciamento ambiental deste tipo de projeto (EPE, 2020 e IBAMA, 2019).

Os projetos eólicos localizados no mar apresentam muitas vantagens em comparação com os projetos onshore, pois possuem menores restrições ao uso do solo, ao impacto visual e sonoro, além da baixa rugosidade da superfície oceânica, proporcionando ventos de maior velocidade e uniformidade. Mas o ambiente marinho complexo traz grandes desafios em relação ao transporte, instalação e operação. A vida útil para uma turbina eólica offshore é cerca de 20 anos, e os custos de operação e manutenção podem representar cerca de 25% a 30% do custo total de geração de energia. (Atlas Eólico e Solar, 2019). Os custos de manutenção podem ser difíceis de estimar, mas são muito onerosos, pois requer um serviço em embarcação com tripulação e técnicos de manutenção, ou o uso de helicópteros (Kang *et al.*, 2019).

Os danos causados por corrosão são um dos maiores desafios no projeto e na estimativa da vida útil das estruturas de suporte para turbinas eólicas. Atualmente, a maioria dominante das estruturas eólicas offshore em uso são suportadas por estruturas de monopilhas, que apresentam mais vantagens comerciais e técnicas. A monopilha é uma estrutura de aço lançada no fundo do mar, na qual é encaixada uma peça de transição (PT) no seu topo. As duas seções são unidas através do preenchimento com rejunte de alta resistência. O aço mais utilizado na fabricação dessas estruturas de suporte é o aço carbono S355 (Igwemezie *et al.*, 2018).

A ação corrosiva da água do mar é um processo complexo, especialmente para estruturas de aço. Ocorrem várias interações entre o ambiente marinho e a matriz metálica, que influenciam na corrosão e que podem ser afetadas por fatores, como temperatura, oxigênio dissolvido, pH e salinidade. Como citado anteriormente, os fatores que influenciam a corrosão na água do mar são divididos em químicos, físicos, mas também há presença de fatores biológicos. Enfocando para os fatores químicos tem-se: os gases dissolvidos, como gás carbônico e oxigênio; o pH, mesmo não sendo o fator de maior influência na ação corrosiva pela água do mar; e a elevada salinidade, que torna a água do mar um eletrólito forte (Gentil, 2011). Ressaltando, conforme Laque (1975), que a salinidade é praticamente constante em oceanos, mas em mares pode ocorrer variação.

A turbina eólica offshore geralmente é comparada às plataformas de petróleo e gás. Embora apresentem alguns padrões similares, Khodabux *et al.* (2020) cita diferenças cruciais em relação a acessibilidade e economia: as estruturas não são tripuladas; dificuldade para avaliar a evolução da corrosão; estratégia de manutenção mais complicada.

Portanto, este trabalho investiga a resistência à corrosão do aço S355, com o objetivo de determinar a taxa de corrosão e analisar o comportamento eletroquímico para amostras imersas em água do mar. A taxa de corrosão foi determinada após 45 dias de exposição e os testes eletroquímicos possibilitaram o monitoramento do potencial de corrosão e da evolução dos diagramas de impedância EIE. Como resultado complementar foram obtidas curvas de polarização potenciodinâmica. E a análise da morfologia do aço carbono foi realizada através de microscopia óptica (MO).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Material

Para a realização dos ensaios foram utilizadas amostras de aço carbono S355, com a seguinte composição química (% peso):

Tabela 1. Composição química do aço S355.

Aço	C	Si	Mn	P	S	Al	Cu	Nb	V	Ti	Cr	Ni	N
S355	0,16	0,18	1,40	0,022	0,007	0,043	0,02	0,003	0,035	0,003	0,02	0,01	0,005

2.2. Preparação dos Corpos de Prova

Para os ensaios de perda de massa, os corpos de provas foram cortados em formato retangular com dimensões de 50x25x6 mm e furo de 6 mm de diâmetro para passagem de um fio de nylon, com o intuito de sustentar a amostra suspensa na solução. Antes dos experimentos, cada corpo de prova foi lixado em uma politriz até a lixa de granulometria 600. Posteriormente foi realizada uma limpeza em banho ultrassônico com acetona por 1 minuto.

Os corpos de prova, para os ensaios eletroquímicos, foram confeccionados em formato retangular com área exposta de aproximadamente 1cm², e foram embutidos em resina epóxi. O contato elétrico com o eletrodo foi feito por um fio de cobre conectado na amostra. Apenas uma das faces da amostra ficou exposta ao eletrólito durante o ensaio.

Após a etapa de embutimento e antes de cada experimento, os corpos de prova foram lixados com lixas d'água nas granulometrias 120, 220, 320, 400 e 600. Em seguida foram lavados com água destilada e álcool, e secados com jato de

ar quente. Para delimitar as bordas do corpo de prova na interface eletrodo/resina foi utilizado esmalte, que tem como finalidade minimizar o efeito de corrosão por frestas.

2.3. Fluido de Análise

Neste trabalho, o fluido utilizado para testes foi água do mar natural. As amostras de água do mar foram coletadas na costa litorânea da cidade de Fortaleza/Ce, no oceano Atlântico.

A coleta de amostras de água foi sempre na mesma região. E para que não houvesse contaminação das mesmas, as amostras foram coletadas, armazenadas em recipientes de plástico fechados e transportadas de maneira adequada, sendo encaminhadas imediatamente para realização dos experimentos.

Foi realizada a caracterização físico-química da água por meio da determinação do pH e da condutividade elétrica, com valores de 8,08 e 54,92 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente.

2.4. Ensaios de Perda de Massa

Antes do teste de imersão, as amostras foram pesadas numa balança analítica com precisão de 0,0001g. Foi montado um sistema estático em recipiente com volume útil de 4L. E os ensaios de imersão foram conduzidos em temperatura ambiente ($\cong 30^\circ\text{C}$).

As amostras foram retiradas após 45 dias de exposição. Os ensaios foram realizados em triplicata e a perda de massa foi obtida pela média desses três valores. A taxa de corrosão foi avaliada segundo a norma ASTM G1 (2004).

Após o período de imersão, os corpos de prova foram submetidos a um processo de limpeza e decapagem para retirada dos produtos de corrosão que estão depositados na superfície do aço. Inicialmente os produtos de corrosão não aderentes foram retirados com estilete, enquanto a remoção dos produtos aderentes foi feita usando a solução de Clark (1L de HCl + 20g de Sb_2O_3 + 50g de SnCl_2) por 30 segundos. Em seguida, as amostras foram limpas com água destilada e álcool, e por fim pesadas em balança analítica. Este procedimento foi repetido até atingir massa constante.

A Eq. 1 representa a determinação da taxa de corrosão segundo a norma ASTM G1 (2004):

$$TC = \left(\frac{K \cdot W}{A \cdot T \cdot D} \right) \quad (1)$$

onde: TC é a taxa de corrosão, K é uma constante que equivale a $8,76 \times 10^4 \text{ mm}/\text{ano}$, W é perda de massa em g, A é a área em cm^2 , T é o tempo de exposição em h, e D é a densidade do metal em g/cm^3 (aço carbono = $7,86 \text{ g}/\text{cm}^3$).

De acordo com a taxa de corrosão média, a NACE RP0775 (2005) classifica a agressividade do processo de corrosão. Essa classificação pode ser observada na Tab. 2.

Tabela 2. Classificação do processo corrosivo.

Taxa de corrosão (mm/ano)	Categoria
$< 0,025$	Baixa
0,025 - 0,12	Moderada
0,13 - 0,25	Alta
$> 0,25$	Severa

2.5. Técnicas Microscópicas

Para o estudo da superfície dos corpos de prova após ensaio de corrosão, foi utilizado um Microscópio Óptico, obtendo-se imagens com aumentos de 10x.

2.6. Medições Eletroquímicas

Os testes eletroquímicos de corrosão em água do mar foram realizados com uma célula convencional de três eletrodos: Prata/cloreto de prata ($\text{Ag(s)}|\text{AgCl(s)}|\text{Cl}^-(\text{KCl sat.})$) foi usado como eletrodo da referência, o aço S355 foi o eletrodo de trabalho (amostras de análise) e uma folha platina de 2 cm^2 foi usada como contra eletrodo de platina. Foi utilizado para aquisição e análise dos dados eletroquímicos um potenciostato (AUTOLAB PGSTAT302N) controlado por um computador, utilizando o software Nova 11.1.

Os testes eletroquímicos de corrosão foram feitos usando as seguintes técnicas: monitoramento do potencial de circuito aberto (E_{oc}), polarização potenciodinâmica (PP) e espectroscopia de impedância eletroquímica (EIE). As medidas de E_{oc} e EIE foram realizadas nos seguintes tempos de imersão: 2h, 4h, 6h, 8h, 24h, 36h, 72h, 96h de imersão no eletrólito.

Os testes de espectroscopia de impedância eletroquímica (EIE) foram realizados em potencial de circuito aberto, em uma faixa de frequência de 10 kHz a 10 mHz com uma amplitude de 10 mV rms. As curvas de polarização foram obtidas

após 1 hora do tempo de imersão, na faixa de potencial de -200 a +200 mV em relação ao Eoc a uma taxa de varredura de 1 mV/s.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Perda de Massa/Taxa de Corrosão

A partir do ensaio de perda de massa, a taxa de corrosão para o aço S355, determinada para o tempo de exposição de 45 dias, foi de 0,057 mm/ano. Logo, a classificação da corrosividade de acordo com a NACE RP0775 (2005) pode ser observada na Tab. 3:

Tabela 3. **Classificação da agressividade do processo corrosivo do aço S355.**

Taxa de corrosão (mm/ano)	Categoria
0,057	Moderada

A água do mar apresenta alta salinidade, o que a torna um eletrólito forte e um meio muito agressivo. O aço estudado, então, apresentou uma corrosividade moderada. Como o sistema era estático, o produto de corrosão se deposita na superfície da amostra, o que poderia influenciar no resultado através da redução da velocidade da reação e observação de taxas de corrosão inferiores (Gemelli, 2001). Por isso, houveram trocas do fluido de análise durante o período de imersão, facilitando o contato do eletrólito com o metal.

A DNV J101 (2014), apresenta requisitos e orientações para controle de corrosão de estruturas de turbinas eólicas offshore, indicando o nível de taxa de corrosão usado para fins de projeto. Para a zona submersa, a tolerância de corrosão para peças estruturais primárias deve ser determinada com base na taxa de corrosão de 0,10 mm/ano (DNV J101, 2014). Para o presente estudo, observa-se uma taxa de corrosão com valor inferior, de 0,057 mm/ano. Logo, está dentro do limite para projeto.

3.2. Técnicas Microscópicas

Para avaliação da morfologia na superfície das amostras após o processo corrosivo, foram obtidas imagens através de microscopia óptica. A microscopia da amostra antes da exposição ao meio corrosivo pode ser observada na Fig. 1.



Figura 1. **Microscopia óptica do corpo de prova antes da exposição ao meio corrosivo.**

São apresentadas na Fig. 2 as imagens dos corpos de prova antes e depois da decapagem, no qual foram removidos os produtos de corrosão após 45 dias de exposição em água do mar. Na Fig. 3 é mostrada a microscopia óptica da superfície do corpo de prova após limpeza e decapagem.

Na Fig. 2.a) pode ser observado o produto de corrosão na superfície da amostra. Nesse período de exposição de 45 dias, o ataque avançou de forma generalizada. Para a determinação da taxa de corrosão o produto foi removido, como mostra a Fig. 2.b). A Fig.3 mostra a imagem da morfologia superficial do corpo de prova através de microscopia, podendo ser identificada a presença de corrosão uniforme e corrosão localizada. A corrosão localizada pode ser classificada nas formas de placas, alveolar, puntiforme ou por pite, apresentando sulcos, escavações ou pontos que dependem da profundidade e do diâmetro das cavidades (Gentil, 2011).

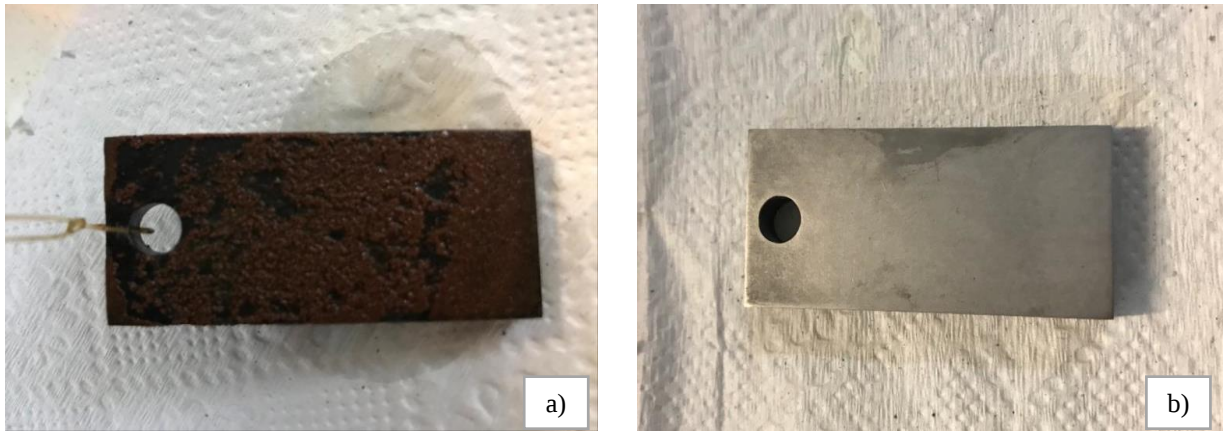


Figura 2. Corpo de prova do Aço S355 após 45 dias de imersão em água do mar: a) Antes da limpeza e decapagem; b) Após limpeza e decapagem.

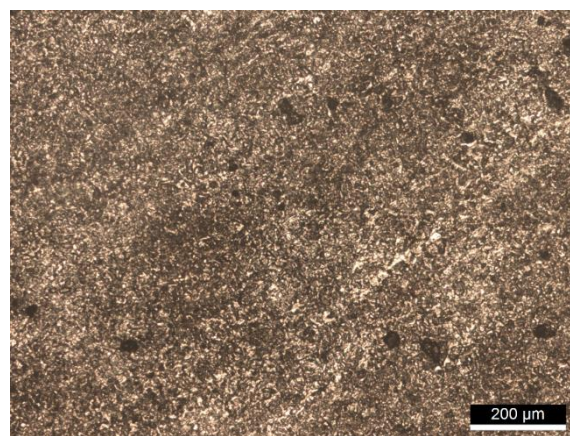


Figura 3. Microscopia óptica do corpo de prova após remoção do produto de corrosão.

3.3. Monitoramento do Potencial de Circuito Aberto

A Fig. 4 mostra um gráfico de potencial de circuito aberto em função de o tempo de imersão para aço carbono S355 exposto em água do mar por 96 horas.

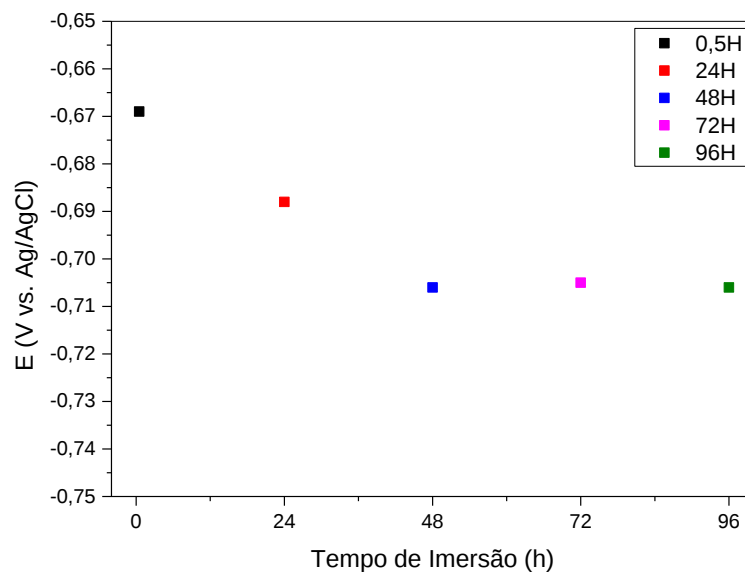


Figura 4. Potencial de circuito aberto para o aço S355 imerso em água do mar por 96 horas.

No tempo inicial de ensaio foi observado um potencial de -0,669V. No decorrer do tempo de imersão, os valores dos potenciais tornaram-se mais negativos, o que indica que o material está sofrendo corrosão, pois de acordo com Wolynec (2003) durante o processo corrosivo, ocorre alteração na dupla camada elétrica e no valor do potencial.

Após 48h de imersão em água do mar, nota-se uma estabilização do potencial de circuito aberto, o que pode ter ocorrido porque o filme forma uma camada protetora sobre o metal, reduzindo o número de sítios ativos na superfície que estava exposta ao meio corrosivo.

3.4. Monitoramento de Espectroscopia de Impedância Eletroquímica

Na Fig. 5 os diagramas de Nyquist são apresentados para o primeiro dia de monitoramento, com medições a cada 2 horas num período de 8 horas, e a Fig. 6 mostra os diagramas de Nyquist após os tempos de imersão de 2h, 24h, 48h, 72h e 96h. Os diagramas mostram a evolução do comportamento do processo de corrosão para o aço S355 exposto a água do mar.

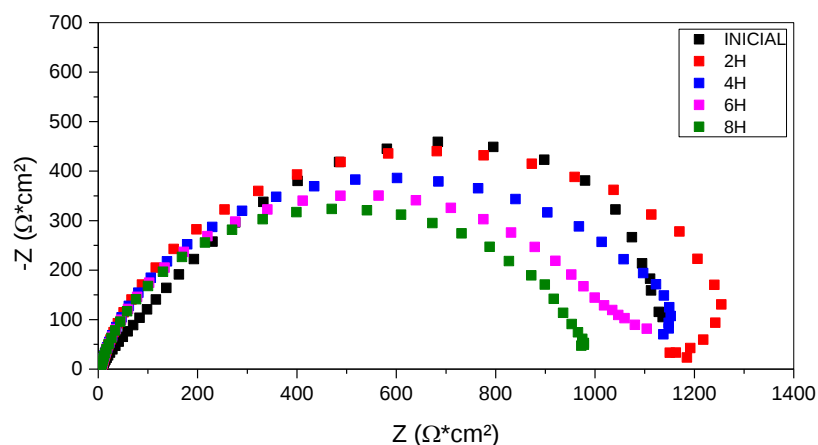


Figura 5. Diagrama de Nyquist para o aço S355 imerso em água do mar por 8 horas.

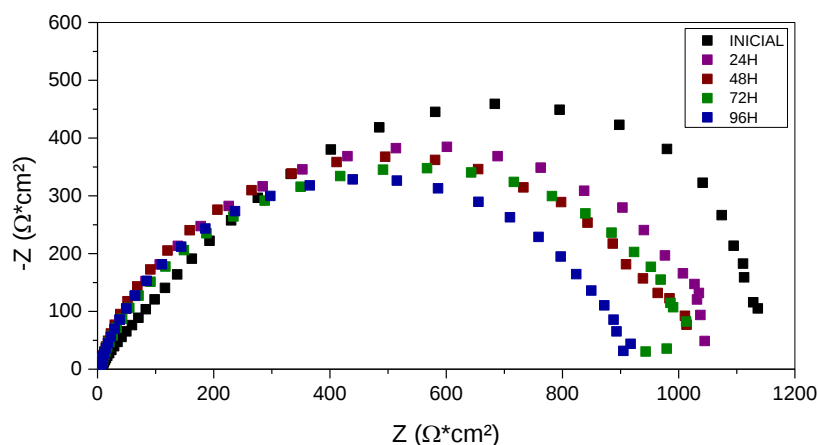


Figura 6. Diagrama de Nyquist para o aço S355 imerso em água do mar por 96 horas.

Como mostrado nas Fig. 5 e 6, foram obtidos arcos que possuem comportamento tipicamente capacitivo ao longo de praticamente toda a faixa de frequência. Comparando as curvas de EIE da Fig. 5 obtidas no primeiro dia de monitoramento, há uma diminuição do diâmetro dos arcos capacitivos ao longo do tempo de exposição em meio corrosivo. Esta diminuição está associada a ocorrência de um processo corrosivo na superfície do metal, e consequentemente uma

redução da resistência à polarização, indicando que a transferência de elétrons para a camada elétrica na interface metal-eletrólito foi facilitada.

Comparando a curva de EIE para 8h na Fig. 5 com as curvas de EIE para 24h, 48h e 72h na Fig. 6, pode-se observar um aumento do diâmetro dos arcos capacitivos após 8h de imersão. O que pode estar associado com a formação de uma camada de produto de corrosão na superfície do metal, funcionando como uma barreira e dificultando o acesso do eletrólito ao substrato. Observa-se também, que a curva de EIE para 96h, volta a reduzir o diâmetro do arco capacitivo, pois o filme formado na superfície não é compacto, logo sua porosidade favorece novamente a permeação do eletrólito e continuação do ataque corrosivo.

De acordo com Luo (2014), com o aumento do tempo de exposição, os depósitos formados na superfície tendem a reduzir o efeito do oxigênio dissolvido na corrosão. Essa camada, por não ser totalmente aderente, pode se deslocar, expondo áreas pequenas a um maior contato com o eletrólito, consequentemente com maior presença de oxigênio e/ou alteração do pH, resultando em corrosão localizada.

3.5. Polarização Potenciodinâmica

A Fig. 7 mostra o resultado da polarização potenciodinâmica para o aço em água do mar, com o intuito de avaliar o mecanismo de corrosão.

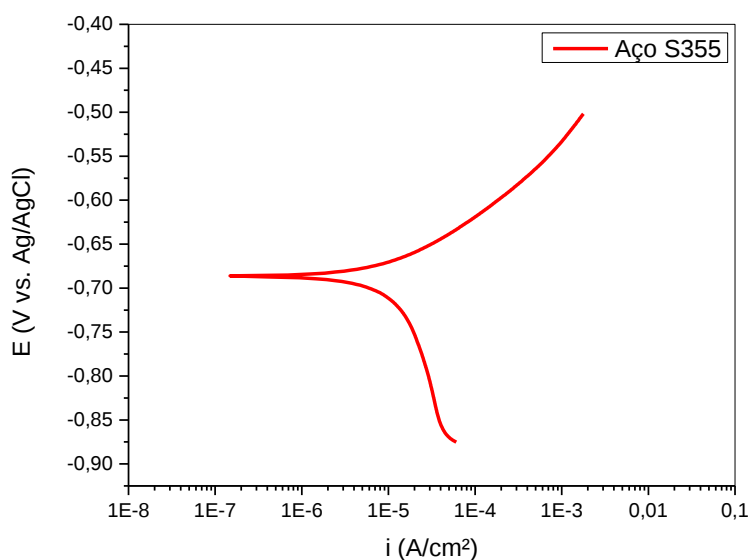


Figura 7. Curvas de polarização anódica e catódica para o aço S355 imerso em água do mar.

A densidade de corrente de corrosão (J_{corr}) e o potencial de corrosão (E_{corr}) foram obtidas através da extrapolação de Tafel para o gráfico da Fig. 7. A amostra possui densidade de corrente de troca igual a $1,15E-6A/cm^2$ e um potencial de corrosão de $-0,688V$. Ahuir (2019) apresenta valores de limiar de corrosão para diferentes condições ambientais e materiais metálicos comumente usados na estrutura de uma turbina eólica offshore. Para o aço S355 o valor limiar para o potencial é de $E \leq -0,68V$. De acordo com o resultado observado, o valor atende o parâmetro.

O aço estudado apresenta uma dissolução ativa, no qual pode ser observado que de acordo com o aumento do valor do potencial ocorre um aumento da densidade de corrente anódica.

4. CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho foi avaliar a resistência à corrosão do aço S355, através da determinação da taxa de corrosão e da análise do comportamento eletroquímico para amostras imersas em água do mar. Estes dados são importantes para investigar a agressividade do processo corrosivo em um aço que pode ser utilizado como material de construção para estruturas eólicas offshore.

A taxa de corrosão foi determinada e classificada como moderada. Sendo também considerada dentro do limite de projeto para instalações eólicas offshore. As imagens MO mostraram a presença de corrosão uniforme e localizada.

A análise de espectroscopia de impedância eletroquímica do aço carbono em água do mar mostrou que houve uma redução dos arcos capacitivos em função do tempo de exposição, devido à ocorrência de corrosão e aderência de produto na superfície do metal.

As medidas eletroquímicas indicaram que os produtos de corrosão exibem características de proteção, pois quando o aço fica exposto por um maior período de tempo ocorre uma redução na cinética reacional de corrosão, mas isso não significa que o material corrói menos. Nos primeiros dias, ocorre uma corrosão acelerada, pois a superfície do metal

encontra-se diretamente exposta ao meio agressivo. Após um período de tempo ocorre a formação de produtos de corrosão, que funcionam como uma barreira na superfície, reduzindo o processo corrosivo. Mas esse filme não é aderente e compacto, e então essa camada não é considerada passivadora.

5. AGRADECIMENTOS

A todos do Laboratório de Pesquisa e Tecnologia em Soldagem (LPTS), do Laboratório de Pesquisa em Corrosão (LPC) e do Laboratório de Caracterização de Materiais (LACAM) pelo suporte no desenvolvimento desta pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

- Ahuir, J. I., Bausch, N., Farrar, A., Webb, S., Simandjuntak, S., Nash, A., Thomas, B., Muna, J., Jonsson, C., Mathew, D., 2019. "Benchmarking parameters for remote electrochemical corrosion detection and monitoring of offshore wind turbine structures". *Wind Energy*. pp. 1–20. doi:10.1002/we.2324.
- American Society for Testing and Materials - ASTM, 2004. *G1-2004: Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens*. Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, USA.
- ABEEólica, 2020. *Boletim Anual de Geração Eólica 2020*. São Paulo, Brasil.
- Camargo Schubert, ADECE, FIEC, SEBRAE, FUNCEME, SEINFRA, SEMACE, SEMA, SINDIENERGIA, 2019. *Atlas Eólico e Solar: Ceará*. 188p. Curitiba; Fortaleza, Brasil.
- DNV-OS-J101, 2014. *Design of Offshore Wind Turbine Structures*. Oslo, Norway. 214p.
- Empresa de Pesquisa Energética, EPE, 2020. *Roadmap Eólica Offshore Brasil: perspectivas e caminhos para a energia eólica marítima*. Distrito Federal, Brasil.
- Gemelli, E., 2001. *Corrosão de Materiais Metálicos e sua Caracterização*. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro, Brasil. 183 p.
- Gentil, V., 2011. *Corrosão*. LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 6. ed. Rio de Janeiro, Brasil. 376p.
- Global Wind Energy Council, 2020. *Global Wind Report 2019*. Brussels, Belgium.
- IBAMA, 2019. *TERMO DE REFERÊNCIA - Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental EIA/RIMA*. Distrito Federal, Brasil.
- Igwemezie, V., Mehmanparast, A., Kolios, A., 2018. "Materials selection for XL wind turbine support structures: A corrosion-fatigue perspective". *Marine Structures*, Vol. 61, pp. 381-397. doi: org/10.1016/j.marstruc.2018.06.008.
- Kang, J., Sobral, J. and Soares C., 2019. "Review of Condition-Based Maintenance Strategies for Offshore Wind Energy". *Journal of Marine Science and Application*, Vol. 18, pp. 1–16. doi:10.1007/s11804-019-00080-y.
- Khodabux, W., Causon, P. and Brennan, F., 2020. "Profiling Corrosion Rates for Offshore Wind Turbines with Depth in the North Sea". *Energies*, Vol. 13, pp 1–19. doi:10.3390/en13102518.
- Laque, F.L., 1975. *Marine Corrosion*. New York, USA. 332 p.
- Liu, Q., Sun, Y. and Wu, M., 2021. "Decision-making methodologies in offshore wind power investments: A review". *Journal of Cleaner Production*, Vol. 295, No. 238. doi:10.1016/j.jclepro.2021.126459.
- Luo, J.S., 2014. "Impact of marine fouling upon corrosion of carbon steel structures". *Corrosion Engineering, Science and Technology*, Vol. 49, No. 2, pp. 1–8. doi:10.1179/1743278213Y.0000000127.
- NACE, 2005. *RP0775-2005: Preparation, Installation, Analysis, and Interpretation of Corrosion Coupons in Oilfield Operations*. NACE International. 16p. Houston, USA.
- Pimenta F.M., Silva A.R., Assireu A.T., Almeida V.S., Saavedra O.R., 2019. "Brazil offshore wind resources and atmospheric surface layer stability." *Energies*, Vol. 12, pp. 1–21. doi:10.3390/en12214195.
- Reis, M.L., Mazetto, B.M. and Silva, E.C.M., 2021. "Economic analysis for implantation of an offshore wind farm in the Brazilian coast". *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, Vol. 43. doi:10.1016/j.seta.2020.100955
- Wolyniec, S., 2003. *Técnicas Eletroquímicas em Corrosão*. EdUSP. São Paulo, Brasil. 166p.

7. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

EVALUATION OF THE CORROSION OF CARBON STEEL S355 IN SEA WATER

Maria Uly Eduardo Martins, ully.martins@ufc.br¹
Pedro de Lima Neto, pln@ufc.br²

¹Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Ceará

²Departamento de Química Analítica e Físico-Química, Universidade Federal do Ceará

Abstract. *The participation of the offshore wind energy in the Brazilian energy matrix is a close reality. The vast potential has already been pointed out in academic research and observed by companies specialized in the area, resulting in some implementation projects, with emphasis on the coast of Ceará, due to the excellent wind index. Offshore wind foundation projects of the monopole type are constantly exposed to the adverse maritime environment, so corrosion is a complex and costly problem in operation and maintenance. This study aims to evaluate the corrosion resistance of carbon steel S355 in seawater collected in the city of Fortaleza/Ce. The investigation of the corrosive process of steel was conducted through immersion tests and electrochemical tests: Open Circuit Potential (PCA) and Monitoring Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIE). A corrosion rate of 0.057 mm/year was observed after 45 days of immersion. The PCA monitoring and the evolution of the EIE diagrams were carried out for up to 96 hours of immersion, with a decrease in capacitive arcs being observed with increasing immersion time, reducing the polarization resistance. The presence of uniform and localized corrosion was identified by means of Optical Microscopy. The aggressiveness of the corrosive process was classified as moderate.*

Keywords: *Corrosion, Carbon Steel, Sea Water, Offshore Wind Energy*