

# 6<sup>o</sup>SSS

Simpósio sobre Sistemas Sustentáveis

**ANAIS**

- VOLUME 4 -  
**Sustentabilidade**

---

### ***Organizadores***

Prof. Dr. Cristiano Poletto – UFRGS (Presidente)

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cristhiane Michiko Passos Okawa – UEM

Prof. Dr. Julio Cesar de Souza Inácio Gonçalves – UFTM

# **ANAIS do 6º SIMPÓSIO SOBRE SISTEMAS SUSTENTÁVEIS**

- VOLUME 4 -  
**Sustentabilidade**

**Copyright © 2021, by Editora GFM.**

Direitos Reservados em 2021 por **Editora GFM.**

**Editoração:** Cristiano Poletto

**Organização Geral da Obra:** Cristiano Poletto; Cristhiane Michiko Passos Okawa; Julio Cesar de Souza Inácio Gonçalves

**Diagramação:** Juliane Fagotti

**Revisão Geral:** Espaço Histórico e Ambiental

**Capa:** Juliane Fagotti

**CIP-Brasil. Catalogação na Fonte**

---

Cristiano Poletto; Cristhiane Michiko Passos Okawa; Julio Cesar de Souza Inácio Gonçalves (Organizadores)

ANAIS do 6º SIMPÓSIO SOBRE SISTEMAS SUSTENTÁVEIS – Volume 4 – Sustentabilidade / Cristiano Poletto; Cristhiane Michiko Passos Okawa; Julio Cesar de Souza Inácio Gonçalves (Organizadores) – Toledo, PR: Editora GFM, 2021.

562p.: il.;

ISBN 978-65-87570-14-3

CDU 502.3/.7

*É AUTORIZADA a livre reprodução, total ou parcial, por quaisquer meios, sem autorização por escrito da Editora ou dos Organizadores.*

---

# TECNOLOGIA VERDE: ÁCIDO TÂNICO COMO INIBIDOR DE CORROSÃO PARA O AÇO CARBONO

| ID 18861 |

**1 Guilherme Kusler Possani, 2 João Pedro Camargo Santos, 3 Eduardo Luis Schneider, 4 Lisete Cristine Scienza**

*1 UFRGS, e-mail: guilhermepossani@hotmail.com; 2 UFRGS, e-mail: jpcs.2008@yahoo.com.br;*

*3 UFRGS, e-mail: prof.eduardo@ufrgs.br; 4 UFRGS, e-mail: lisete.scienza@ufrgs.br*

**Palavras-chave:** Ácido tânico; corrosão; aço carbono.

## Resumo

Atualmente o desenvolvimento sustentável é uma questão essencial, com implicações em todos os segmentos da sociedade. Neste sentido o desenvolvimento de uma consciência técnica crítica que deve ser construída na sociedade, principalmente na Universidade, entidade geradora de conhecimento e de recursos humanos, visando o entendimento das rotas industriais, prevendo a utilização de recursos naturais, bem como as qualificações e quantificações de possíveis contaminantes e resíduos gerados no processo industrial, convergindo para o emprego de tecnologias limpas. Considerando o amplo emprego de materiais metálicos nos mais variados setores industriais, incluindo a indústria automobilística, da construção civil, química, petroquímica e de bens de consumo, entre muitas outras, torna-se indispensável proporcionar medidas que assegurem a integridade destes materiais, evitando a sua deterioração por corrosão. Medidas preventivas à corrosão asseguram redução de custos com a reposição de peças, reduzem riscos de acidentes, minimizam a utilização de recursos naturais não renováveis e de utilidades industriais (como água, energia, gases), além de contribuir para a redução na geração de resíduos e efluentes. Dentre as diversas técnicas de mitigação da corrosão, o uso de inibidores de corrosão tem se mostrado o método mais fácil e de baixo custo para proteção contra a corrosão dos metais usualmente empregados na indústria, como o aço carbono, aço galvanizado, cobre e alumínio, entre outros. Estes compostos reduzem a taxa de corrosão e, portanto, evitam perdas financeiras devido à corrosão metálica em vasos, equipamentos, tubulações, peças, ferramentas, utensílios e acessórios metálicos diversos. Os inibidores inorgânicos e orgânicos utilizados na indústria são usualmente tóxicos e caros e, portanto, o foco recente tem sido o desenvolvimento de métodos ambientalmente corretos para retardar a corrosão. Muitos pesquisadores têm se concentrado em métodos de prevenção de corrosão usando “inibidores verdes” (*green corrosion inhibitors*) para o aço carbono em soluções

aquosas ácidas a fim de simular processos industriais. Estes inibidores verdes são importantes porque são atóxicos, biodegradáveis, não contêm metais pesados e não geram resíduos poluentes em sua obtenção, uso ou descarte, portanto, são considerados ecologicamente corretos. O presente estudo objetivou investigar as propriedades inibidoras do ácido tânico para a corrosão de aço carbono em solução salina ácida. A metodologia empregada considerou ensaios eletroquímicos como monitoramento do potencial de circuito aberto (OCP) com o tempo de imersão, polarização potenciodinâmica (PP) e espectroscopia de impedância eletroquímica (EIS). Os resultados mostraram que a adição de 400 e 800 mg/L de ácido tânico na solução de NaCl 0,1M foi capaz de deslocar e manter o OCP do metal para valores mais nobres ao longo de 72 horas de imersão. Na PP não foi possível identificar o efeito protetor deste inibidor nas concentrações estudadas, contudo apreciável aumento da resistência à corrosão foi verificada no ensaio de EIS, particularmente para a maior concentração estudada (800 mg/L). Considerou-se que o efeito inibidor do ácido tânico é proporcionado pela adsorção de moléculas inibidoras na superfície metálica e subsequente formação de um filme de tanato férrico, cuja proteção tende a diminuir para tempos de exposição mais prolongados. O uso do ácido tânico como um “inibidor verde” para a corrosão do aço carbono em meio aquoso é uma promissora alternativa para substituir inibidores de corrosão tóxicos, comumente usados na proteção de estruturas metálicas em meio aquoso.

### **Introdução**

No contexto da educação para o desenvolvimento sustentável, cujo objetivo é possibilitar a aquisição de conhecimentos e formação de atitudes que possibilitem às pessoas agir e tomar decisões dentro dos propósitos do desenvolvimento sustentável, as instituições de ensino superior se constituem num ambiente propício para promover o desenvolvimento do “saber ambiental”. É inegável a necessidade de desenvolver uma consciência técnica crítica que deve ser construída na sociedade, principalmente na Universidade – base formadora de profissionais – que visa alimentar o mercado com profissionais tecnicamente e ambientalmente qualificados. Para vários profissionais das áreas tecnológicas, particularmente para os engenheiros, as rotas industriais, abrangendo qualificações e quantificações de possíveis contaminantes e resíduos gerados em um processo industrial, devem ser plenamente conhecidas e trabalhadas de modo a convergir para a redução do passivo ambiental e o uso de tecnologias limpas (Mainier; Silva, 2004). Desta forma, o ambiente universitário pode ser considerado um espaço privilegiado à implantação de políticas de conhecimento na constituição de uma forte consciência ambiental, dadas suas especialidades formativas que se assentam na inter-relação da tríade: ensino, pesquisa e extensão.

A pesquisa desenvolvida na Universidade, ou com a participação dela, proporciona uma inovação tecnológica que não se limita à pesquisa e desenvolvimento de novos produtos e/ou processos. Ela desempenha um papel fundamental nos processos industriais pela constante otimização da tecnologia de fabricação, visando redução do consumo de água e energia, minimização de geração de resíduos e efluentes, emprego de substâncias menos tóxicas e utilização de matérias-primas renováveis, capazes de proporcionar uma qualidade sustentável, que possa trazer benefícios de longo prazo à saúde humana e ao meio ambiente.

Os aços-carbono constituem o mais importante grupo de materiais utilizados na engenharia e na indústria, constituindo-se em matéria prima indispensável para a produção de eletrodomésticos, veículos, máquinas, equipamentos, na produção de energia, na construção civil e na indústria em geral. Suas propriedades mecânicas, na maioria dos casos, são suficientes para atender à maioria das aplicações práticas. No entanto, o aço carbono oxida quando em contato com gases nocivos, umidade e fluidos de processos, necessitando de tratamentos superficiais para prolongar sua durabilidade. A corrosão é um processo de deterioração espontânea do material pela ação eletroquímica ou química do meio, que produz alterações prejudiciais e indesejáveis em artefatos, peças e elementos estruturais, comprometendo seu desempenho e segurança em condições de serviço (Liubartas et al., 2015). Além de causar grandes prejuízos econômicos para a sociedade, há o risco de vazamentos de materiais poluentes para o meio ambiente em virtude da corrosão de tubulações e tanques, podendo ainda ocorrer acidentes fatais. Em indústrias de processos, onde é fundamental a utilização de sistemas fechados de circulação de água industrial, a adição de inibidores é uma forma eficaz de minimizar a corrosão e riscos induzidos pela corrosão, maximizando a vida útil de tubulações e equipamentos de aço carbono (Dargahi et al., 2015).

A preocupação ambiental no sentido de utilizar produtos não tóxicos e compatíveis com o meio ambiente tem gerado a necessidade de criar tecnologias limpas voltadas para o tratamento de superfícies metálicas, incluindo aquelas direcionadas aos inibidores de corrosão (Mainier; Silva, 2004). Segundo Rahim (2008), os inibidores de corrosão podem ser classificados em dois grupos: inibidores tradicionais e os inibidores naturais. Os inibidores tradicionais são, por exemplo, cromatos inorgânicos, nitratos inorgânicos, molibdatos e nitratos orgânicos, carbonatos, silicatos, fosfatos e moléculas orgânicas, que possuem heteroátomos, como nitrogênio, enxofre, fósforo e oxigênio. Estes são utilizados em maior escala e, em sua maioria, possuem efeitos tóxicos e poluentes. Já os inibidores naturais são atóxicos e biodegradáveis (Marcolino, 2015; Possani et al, 2019). O uso de muitos inibidores inorgânicos, particularmente aqueles contendo fosfatos e cromatos, está sendo gradualmente restringido ou banido por várias regulamentações ambientais por causa de sua toxicidade (Chigongo et al., 2016). Assim, em consequência das atuais medidas rígidas sobre as

regulamentações ambientais, associado ao aumento da consciência ecológica, questões de saúde e de custo, mudaram as atenções de especialistas em controle de corrosão para o desenvolvimento de sistemas eficientes e inibidores de corrosão ambientalmente benignos, abrindo espaço para os inibidores naturais, denominados “inibidores verdes” (*green inhibitors* ou *eco-friendly inhibitors*) (Verma et al., 2018; Xu et al., 2019, Possani et al., 2019).

Os taninos são compostos de grande interesse químico e ecológico que vem sendo considerados promissores inibidores verdes naturais devido à sua fonte natural e renovável, baixo custo de obtenção e alta biodegradabilidade em condições aeróbias e anaeróbias, o que os tornam seguros para descarte em comparação com inibidores de corrosão inorgânicos como cromatos, nitritos, sais ou óxidos de zinco (Öztürk; Sezer, 2016). O ácido tânico é produzido pelo metabolismo secundário de plantas e se constitui num polifenol que tem como fórmula molecular  $C_{76}H_{52}O_{46}$ . Sua composição tem na parte central uma glicose e ligada a ela cinco cadeias de duas moléculas de ácido gálico ligadas por esterificação como mostra a Figura 1 (Mattos, 2009).

As moléculas de tanino podem alcançar a interface metal/solução e se adsorverem na superfície metálica por interação eletrônica. Devido à presença do grupo hidroxila, estes compostos são capazes de quelar o ferro formando uma camada protetora na superfície metálica. É constituída por tanato férrico, que é um complexo azul-preto formado durante a reação entre o cátion metálico ( $Fe^{+3}$ ) e o grupo hidroxila ( $OH^-$ ) em uma solução aquosa oxigenada. Esta camada de tanato férrico é capaz de repelir moléculas de água e inibir o ingresso de espécies agressivas como  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$  e  $CO_2$ , íons que estão entre os principais responsáveis pela corrosão do metal (Kaco et al., 2018).

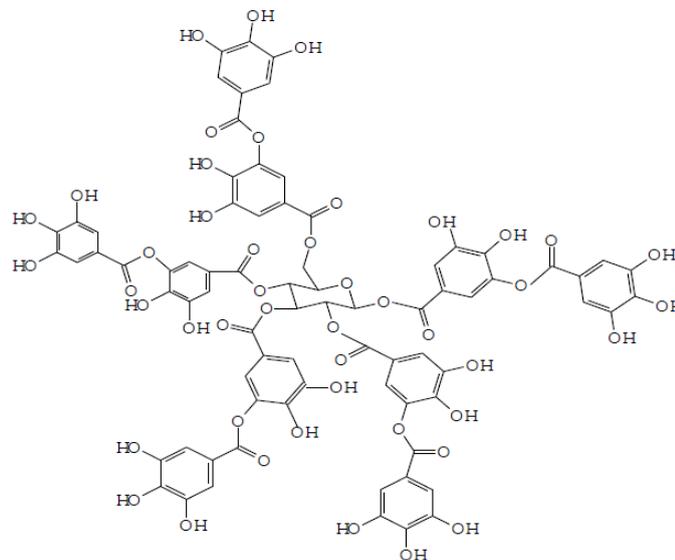


Figura 1: Estrutura química do ácido tânico (Mattos, 2009).

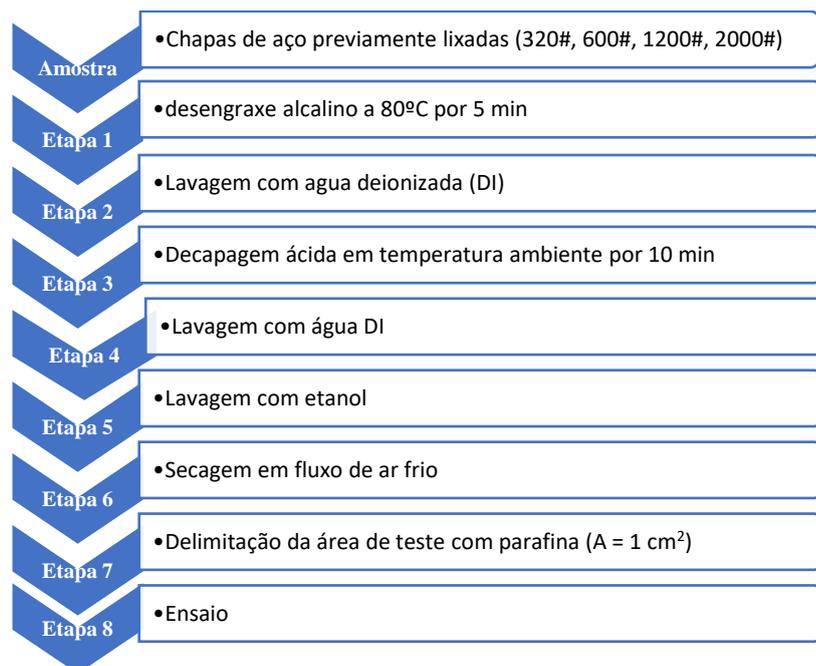
Com a proposta de uso de inibidores verdes, o presente estudo tem por objetivo avaliar a eficiência à corrosão proporcionada pela adição de ácido tânico em soluções aquosas salinas, através de ensaios eletroquímicos de monitoramento do potencial de circuito aberto, polarização dinâmica e espectroscopia de impedância eletroquímica, contribuindo com os estudos envolvendo o uso de tecnologias limpas voltadas para a mitigação de processos corrosivos do aço carbono em sistemas de água industrial.

### Materiais e Métodos

Chapas de aço carbono AISI 1008 (laminação a frio) foram fornecidos pela empresa Arcelormittal Brasil S.A. A composição química do aço é apresentada na Tabela 1, e a Figura 2 mostra a seqüência de preparação do substrato metálico para os ensaios de corrosão.

**Tabela 1: Composição do aço carbono AISI 1008 (em %massa).**

C	Si	Mn	P	S	Al	Cr	Mo
0,0662	0,0070	0,3420	0,0160	0,0081	0,0370	0,0260	0,0010



**Figura 2: Sequência de tratamento dado ao substrato metálico.**

Ácido tânico P.A. (Greentec) e cloreto de sódio P.A. (Dinâmica) foram usados como reagentes. As soluções de NaCl 0,1 M, sem o inibidor (branco) e contendo 200 mg/L, 400 mg/L e 800 mg/L de ácido tânico foram preparadas com água deionizada (condutividade < 1 $\mu$ S/cm). Na sequência de ensaios as soluções tiveram o pH ajustado para 3,5 $\pm$ 0,2 com a adição de uma solução diluída de ácido clorídrico.

O ensaio de monitoramento do potencial de circuito aberto (OCP) foi realizado com o auxílio de um multímetro da marca Minipá ET-1005 e uma célula eletroquímica de dois eletrodos: a amostra (aço carbono) como eletrodo de trabalho e um eletrodo de referência de Ag/AgCl. Os ensaios foram realizados em triplicatas para assegurar a reprodutibilidade dos resultados. As medições de potenciais foram feitas para os seguintes tempos: 0, 0,5; 1; 2; 3, 4, 24 e 72 horas de imersão, sem agitação, à temperatura ambiente e sob condições de aeração natural.

Para as curvas de polarização foi utilizado um potenciostato/galvanostato Methrom DropSens 400*is* conectado ao software Drop View. A célula eletroquímica era constituída por três eletrodos: eletrodo de referência de Ag/AgCl, eletrodo de trabalho (aço carbono) e um contra-eletrodo constituído de um fio de platina. O volume de solução eletrolítica utilizado foi de 120 mL. O sistema eletroquímico empregado é mostrado na Figura 3. Para obter o estado estável do eletrodo de trabalho, cada amostra foi imersa em solução de teste por 30 minutos antes de cada medição, o que permitiu que os valores do potencial de circuito aberto (OCP) atingissem o estado estacionário. As curvas de polarização potenciodinâmica catódicas e anódicas foram conduzidas na faixa de potenciais de -0,50 V a +0,50 V *versus* OCP, a uma taxa de varredura de 5 mV/s. Os resultados estão plotados em gráficos de potencial (E) versus o logaritmo da densidade de corrente (i). Os diagramas de impedância foram obtidos no potencial de circuito aberto em uma faixa de frequência de 100 Mhz a 10 mHz e a amplitude da tensão foi de 10 mV. Os resultados estão plotados em diagramas de Nyquist. Todos os testes foram conduzidos em duplicatas.

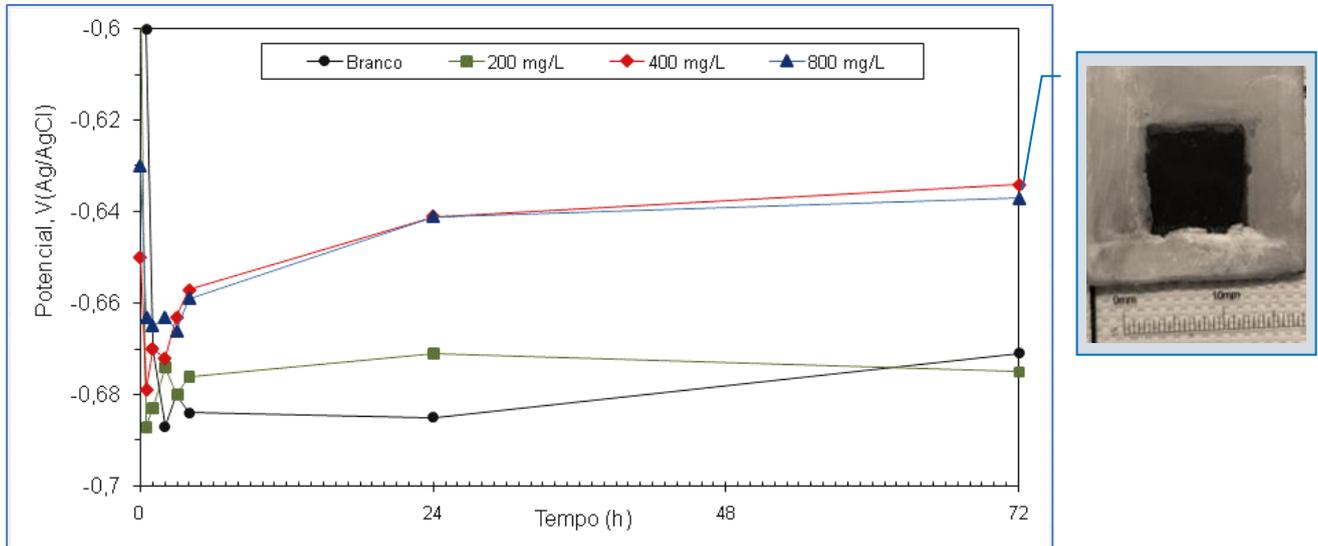


**Figura 3. Potenciostato e célula eletroquímica utilizada nos ensaios eletroquímicos.**

Todos os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais e Tecnologias Sustentáveis (LAMATES) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

### **Resultados e Discussão**

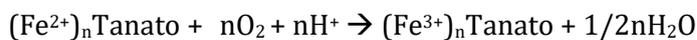
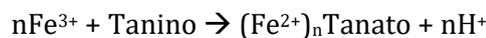
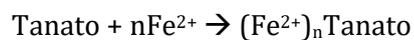
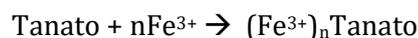
O comportamento do potencial de circuito aberto (OCP) com o tempo de imersão para o aço carbono em solução salina, na presença e na ausência do ácido tânico é mostrado na Figura 4. A redução inicial do OCP, observada em todas as soluções nas primeiras horas de imersão está relacionada à dissolução da camada nativa de óxido durante os estágios iniciais de imersão. Na ausência do inibidor, o OCP caiu rapidamente e atingiu um estado quase estacionário em 24 h de imersão, ficando em torno de  $-0,68$  V após 72 h, valor próximo ao obtido para a solução contendo 200 mg/L do inibidor. Contudo, na presença de 400 e 800 mg/L de ácido tânico, o valor de OCP inicialmente apresentou um pequena elevação e então atingiu um platô após 24 h de imersão. Ainda que pequena, a elevação do potencial observado após 72 h de imersão foi cerca de 50 mV mais nobre que o observado para o aço carbono, o que demonstra as características deste inibidor em restringir as reações anódicas do processo corrosivo. Segundo Xu et al. (2019) o efeito inibidor pode estar relacionado à adsorção do composto orgânico nos sítios ativos da superfície do eletrodo e à formação de um filme barreira, retardando as reações de corrosão. Assim, temos em maiores concentrações a presença de um maior número de moléculas orgânicas adsorvidas na superfície, possibilitando a formação de uma barreira que dificulta o transporte de íons na interface metal/solução, reduzindo a dissolução do metal.



**Figura 4. Potencial de circuito aberto em função do tempo de imersão para o aço carbono em solução de NaCl 0,1 M na ausência e na presença de ácido tânico e, no detalhe à direita, aspecto do corpo de prova ao final de 72 h de imersão.**

O aspecto da superfície do metal após o ensaio (mostrado em detalhe na Figura 4) mostra a presença de um filme preto-azulado uniforme, correspondendo à formação de tanato férrico. Xu et al. (2019) apresentaram as seguintes reações possíveis de ocorrerem na presença de ácido tânico:

- Dissolução do aço carbono conduz à formação dos íons ferrosos ( $\text{Fe}^{2+}$ ):  $\text{Fe} - 2\text{e}^- \rightarrow \text{Fe}^{2+}$
- Íons ferrosos são oxidados a íons férricos ( $\text{Fe}^{3+}$ ) pelo oxigênio:  $\text{Fe}^{2+} + 1/4\text{O}_2 + \text{H}^+ \rightarrow \text{Fe}^{3+} + 1/2\text{H}_2\text{O}$
- Num mecanismo cíclico os íons férricos são reduzidos a íons ferrosos pelo contato com o metal através dos poros existentes na camada de óxido:  $2\text{Fe}^{3+} + \text{Fe} \rightarrow 3\text{Fe}^{2+}$
- Reação do ácido tânico com os íons de ferro formando complexos de tanato ferroso e férrico por diferentes caminhos:



Assim, devido aos grupos  $\text{OH}^-$  na posição orto dos anéis aromáticos, o ácido tânico é capaz de formar quelatos com o ferro, de modo que, quando os íons  $\text{Fe}^{3+}$  reagem com grupos  $\text{OH}^-$  em solução aquosa aerada, um complexo altamente insolúvel e preto-azulado (tanato férrico, Figura 5) é formado (Qian et al., 2013). Entretanto, constatou-se que adesão entre o filme formado e o metal é fraca, ou seja, o filme obtido pôde ser facilmente removido da superfície quando úmido. Esta falta de adesão sugere que o filme de tanato férrico formado não permanece quimicamente ligado à superfície metálica, podendo comprometer sua eficácia quando longos períodos de proteção são requeridos, ou mesmo em sistemas que operam com fluidos em movimento, como os de água de refrigeração, por exemplo.

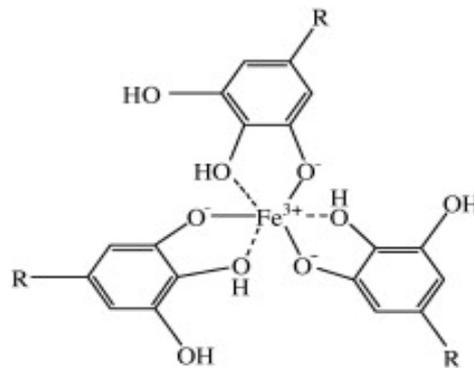
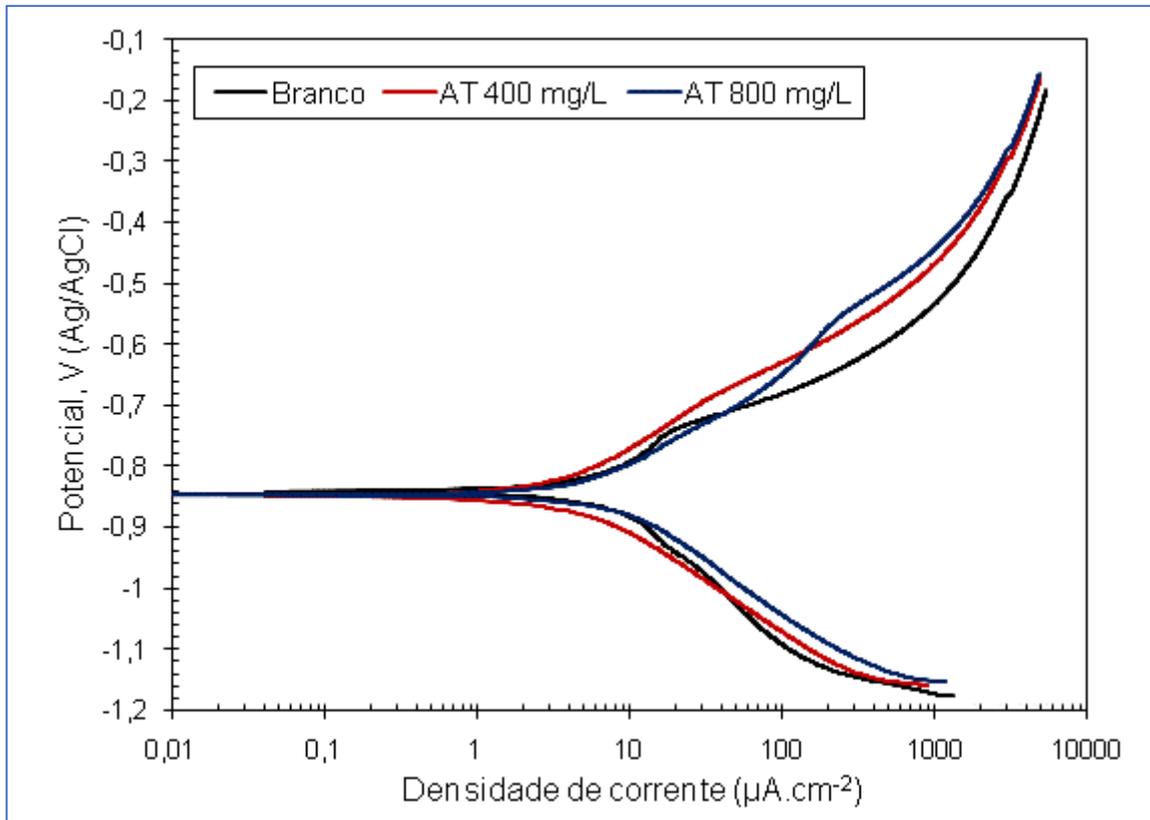


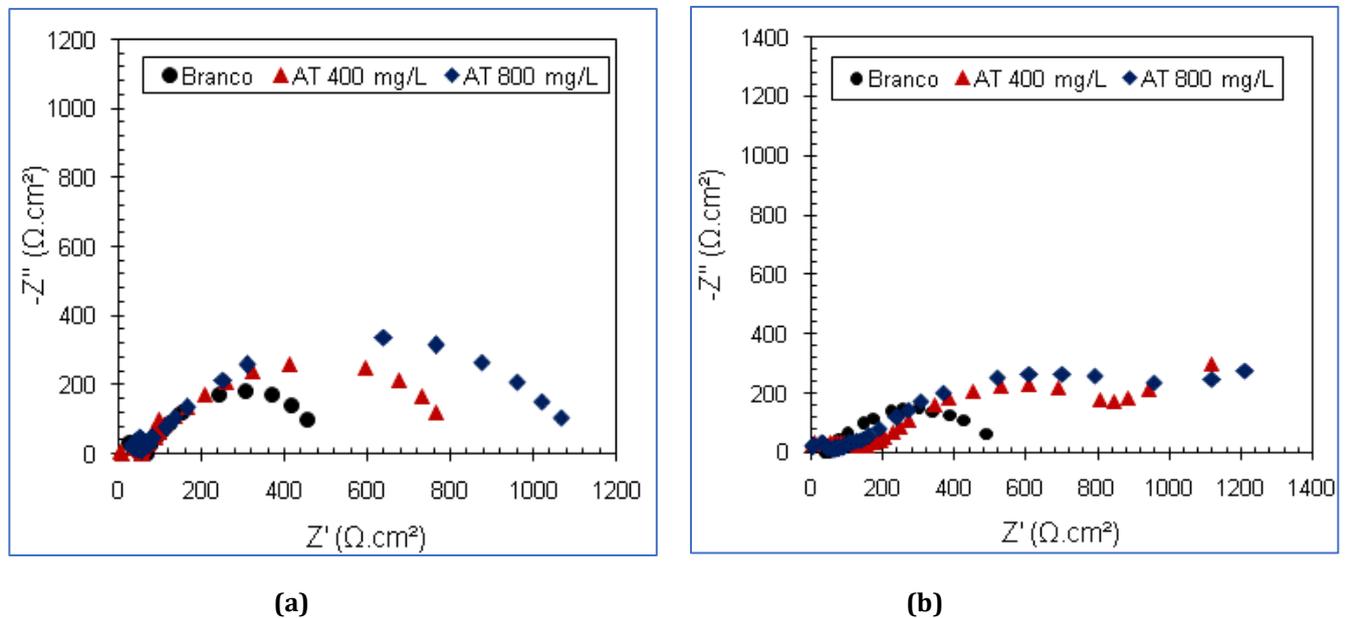
Figura 5. Estrutura do tanato férrico (Qian, 2013).

O comportamento do metal sob polarização, apresentado na Figura 6, mostra que a presença de ácido tânico, mesmo na concentração de 800 mg/L não alterou o comportamento eletroquímico do substrato metálico. Em nenhum caso foi evidenciada a formação de filme passivo na superfície do eletrodo e um processo anódico controlado pela ativação é evidenciado no braço anódico da curva. Nestas condições não foi possível verificar o efeito protetor proporcionado pelo inibidor.



**Figura 6. Curvas de polarização potenciodinâmicas para o aço carbono em solução de NaCl 0,1 M na ausência e na presença de ácido tânico.**

A fim de obter maiores informações quanto ao efeito inibidor de corrosão providenciado pelo ácido tânico, medidas de impedância eletroquímica foram realizadas. A Figura 7 mostra os diagramas de Nyquist obtidos após 30 minutos de imersão e após 24 h de imersão. O comportamento obtido na ausência e na presença do inibidor corresponde a um semicírculo achatado, tal comportamento é característico para eletrodos sólidos e muitas vezes referido como dispersão de frequência, o que pode ser atribuído à heterogeneidade da superfície (Öztürk; Sezer, 2016). É possível observar que o diâmetro do semicírculo aumentou com o aumento da concentração do inibidor, indicando um incremento na resistência à corrosão. O melhor comportamento observado para a concentração de 800 mg/L de ácido tânico é devido a maior quantidade de moléculas orgânicas adsorvidas na superfície metálica, dificultando o processo de corrosão do aço carbono. Contudo, após 24 h de imersão, constatou-se uma redução das características protetoras (Figura 6(b)), sendo mais perceptível para a maior concentração do inibidor. É possível que o contato com os íons  $\text{Cl}^-$  presentes na solução tenha induzido à formação de defeitos na camada de tanato férrico, reduzindo seu efeito de barreira em alguma extensão.



**Figura 7. Diagramas de Nyquist para o aço carbono em solução de NaCl 0,1 M na ausência e na presença de ácido tânico após 30 minutos de imersão (a) e após 24 horas de imersão (b).**

### Considerações Finais

Neste estudo foi apresentada a preocupação da Universidade em desenvolver nos futuros profissionais uma consciência ambiental através da realização de diferentes atividades acadêmicas. No que se relaciona à pesquisa científica, foi abordada a importância no estudo e desenvolvimento de tecnologias de proteção à corrosão de metais compatíveis com o meio ambiente empregando os denominados “inibidores verdes”.

A corrosão do aço carbono foi investigada em soluções de 0,1 M de NaCl com concentrações de ácido tânico de 200, 400 e 800 mg/L. Os dados experimentais relatados neste estudo indicaram que o ácido tânico pode providenciar proteção à corrosão do aço carbono em concentrações superiores a 400 mg/L. O efeito inibidor é proporcionado pela adsorção de moléculas inibidoras na superfície metálica e subsequente formação de um filme de tanato férrico, cuja proteção tende a diminuir em tempos de exposição mais prolongados.

O uso do ácido tânico como um “inibidor verde” para a corrosão do aço carbono em meio aquoso é uma promissora alternativa para substituir inibidores de corrosão tóxicos, comumente usados na proteção de estruturas metálicas em meio aquoso.

## Agradecimentos

Os Autores agradecem ao apoio recebido na forma de recursos financeiros da FAPERGS (Edital 05/2019-PqG) e CAPES-PROEX, e a bolsa de iniciação científica concedida pelo CNPq para a realização deste estudo.

## Referências Bibliográficas

- Chigongo, M.; Chigongo, F.; 2016. Recent natural corrosion inhibitors for mild steel: An overview. *Journal of Chemistry*, pp. 1-7.
- Dargahi, M.; Olsson, A.L.; Tufenkij, N.; Gaudreault, R.; 2015. Green technology: Tannin-based corrosion inhibitor for protection of mild steel. *Corrosion*, v. 71, n.11, pp. 1321-1329.
- Liubartas, D.; SilvaE.A.S.B.; Santos, E.A.M.; Silva, J.E.; Formigoni, A.; 2015. A sustentabilidade do aço e das estruturas metálicas. *INOVAE - Journal of Engineering and Technology Innovation*, São Paulo, v. 3, n.1, pp.92-110.
- Kaco, H.; Talib, N.A.A.; Zakaria, S.; Jaafar, S.N.S.; Othman, N.K.; Chia, C.H.; Gan, S.; 2018. Enhanced corrosion inhibition using purified tannin in HCl médium. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, v. 22, n. 6, pp. 931 – 942.
- Mainier, F.B.; Silva, R.R.C.M; 2004. As formulações inibidoras de corrosão e o meio ambiente. *ENGEVISTA*, v. 6, n. 3, pp. 106-112.
- Marcolino, J. B. 2015. Avaliação do potencial de utilização do tanino vegetal da acácia negra como inibidor do processo de corrosão de aço com carbono em presença de CO<sub>2</sub> a alta pressão. Tese (Doutorado em Engenharia) Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Mattos, T.CG; 2009. Mecanismo da ação antioxidante dos ácidos caféico e tânico em sistemas contendo íons ferro. Dissertação (Mestrado em Química) Programa de Pós-graduação em Química. Instituto de Química. Universidade de Brasília – UNB. Brasília.
- Öztürk, I.; Sezer, E.; 2016. Corrosion protection of mild steel in cooling wáter systems with green polymeric inhibitor, tannic acid. Anais do EUROCORR 2016.
- Possani, G.K., Schneider, E.L.; Scienza, L.C.; 2019. Anais do 5º Simpósio sobre sistemas Sustentáveis, pp. 234-239.SS
- Rahim, A.A.; Kassim, J.; 2008. Recent Development of Vegetal Tannins in Corrosion Protection of Iron and Steel. *Recent Patents on Materials Science*, v. 1, pp. 223-231.
- Qian, B.; Hou, B.; Zheng, M.; 2013. The inhibition effect of tannic acid on mild steel corrosion in seawater wet/dry cyclic conditions. *Corrosion Science*, v. 72, pp.1–9.
- Verma, C. Kumar, A.M.; Mazumder, M.A.; Quraishi, M.A.; 2018. Chitosan-based green and sustainable corrosion inhibitors for carbon steel. *Chitin-Chitosan - Myriad Functionalities in Science and Technology – Chapter 2*. IntechOpen, pp. 144-156
- Xu, W; En-Hou Hana, E-H.; Wang, Z. 2019. Effect of tannic acid on corrosion behavior of carbon steel in NaCl solution. *Journal of Materials Science & TechNology*, v. 35, pp. 64–75.