



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

DANIEL VICTOR CARLOS DE NORONHA

**APLICAÇÃO DE EXTRATOS DE *PIPER NIGRUM* E *SCHINUS*
TEREBINTHIFOLIA RADDI COMO INIBIDORES DE CORROSÃO DE
FLUIDOS DE COMPLETAÇÃO**

MOSSORÓ

2022

DANIEL VICTOR CARLOS DE NORONHA

**APLICAÇÃO DE EXTRATOS DE *PIPER NIGRUM* E *SCHINUS*
TEREBINTHIFOLIA RADDI COMO INIBIDORES DE CORROSÃO DE
FLUIDOS DE COMPLETAÇÃO**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Jardel Dantas da Cunha, Prof. Dr.

MOSSORÓ

2022

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas
da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)



O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

DANIEL VICTOR CARLOS DE NORONHA

**APLICAÇÃO DE EXTRATOS VEGETAIS DO
SEMIÁRIDO COMO INIBIDORES DE CORROSÃO DE
FLUIDOS DE COMPLETAÇÃO**

Monografia apresentada a
Universidade Federal Rural do
Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Defendida em: 01/12/2022.

BANCA EXAMINADORA

Jardel Dantas da Cunha, Prof. Dr.
(UFERSA) Presidente

Ruza Gabriela Medeiros de Araújo Macedo, Prof^a. Dr^a.
(PRH 55.1) Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

De Início, agradeço à minha família, que sempre acreditaram em mim, incentivando e mostrando que eu era capaz, e que, apesar dos momentos de maior dificuldade, estiveram ao meu lado, me incentivando sempre que possível. Agradeço especialmente a minha mãe, por ter sido o meu alicerce.

Agradeço Orientador Jardel Dantas da Cunha pela oportunidade de me guiar na conclusão deste trabalho, sempre me auxiliando tirando dúvidas e mostrando qual o melhor caminho e as pontuações incisivas e precisas, ajudando em como continuar, e estando sempre estar do meu lado em toda trajetória.

Agradeço aos meus amigos por estarem torcendo por mim e colaborando com o sucesso deste trabalho dando o apoio emocional quando necessário em ocasiões de companheirismo.

Agradeço também a Universidade Federal do Semi-Árido e a equipe do Programa de Recursos Humanos da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – PRH-ANP pelo apoio ao projeto.

E, por último, sou agradecido por todos que me auxiliaram na conclusão desde trabalho de alguma maneira.

“O correr da vida embrulha tudo, a vida é assim: esquenta e esfria, aperta e daí afrouxa, sossega e depois desinquieta. O que ela quer da gente é coragem.”

Guimarães Rosa

RESUMO

A corrosão pode ser definida como a deterioração de um material pela reação química ou eletroquímica com o meio que o envolve, estando associada ou não a esforços mecânicos. Essa deterioração representa alterações prejudiciais indesejáveis, sofrida pelo material, como desgaste, variações químicas ou modificações em sua estrutura, tornando-o inadequado para o uso, já que prejudica a durabilidade e o desempenho deles, fazendo com que deixem de satisfazer os fins a que se destinam. Para prevenir a deterioração dos materiais que é causada pela corrosão, podem ser utilizados diversos métodos, como o uso de revestimentos orgânicos e inorgânicos, a seleção de materiais que apresentem resistência à corrosão e a utilização de inibidores, que tem como principal objetivo reduzir as taxas de corrosão sem mudar a concentração do agente corrosivo, entretanto, existem preocupações sérias com os agentes inibidores de corrosão que atualmente constam no mercado, pois apresentam nitratos, cromatos ou derivados de tioureia em sua composição, sendo prejudiciais ao meio ambiente. Esforços vem sendo empregados para o incentivo da aquisição de inibidores mais eficientes e ecologicamente viáveis, oriundos de extratos vegetais. O objetivo do presente trabalho consiste em avaliar o potencial de inibição da corrosão de extratos vegetais de pimenta-rosa (*Schinus terebinthifolia Raddi*), pimenta-preta (*Piper nigrum*) e pimenta-branca (*Piper nigrum*) em meio salino (NaCl 10%). Os resultados de eficiência de inibição da corrosão demonstraram que a pimenta-rosa obteve uma eficiência de 80,97%, a pimenta-branca obteve uma eficiência de 86,60% e a pimenta preta obteve uma eficiência de 75,77%, nas concentrações de 1000 ppm, 750 ppm e 750 ppm. Portanto, a pimenta-branca obteve o melhor resultado quanto a redução da corrosão, chegando a uma eficiência máxima de 86,60% nas concentrações estudadas.

Palavras-chave: inibidor de corrosão; extratos vegetais; fluido de completação.

ABSTRACT

Corrosion can be defined as the deterioration of a material by chemical or electrochemical reaction with the environment that surrounds it, whether or not associated with mechanical efforts. This deterioration represents undesirable harmful alterations, suffered by the material, such as wear, chemical variations, or modifications in its structure, making it unsuitable for use, since it impairs their durability and performance, causing them to no longer satisfy the purposes for which they were intended. To prevent the deterioration of materials caused by corrosion, several methods can be used, such as the use of organic and inorganic coatings, the selection of materials that present resistance to corrosion and the use of inhibitors, which have as main objective to reduce the rates corrosion without changing the concentration of the corrosive agent, however, there are serious concerns with the corrosion inhibitor agents that are currently on the market, as they contain nitrates, chromates or thiourea derivatives in their composition, being harmful to the environment. Efforts have been made to encourage the acquisition of more efficient and ecologically viable inhibitors, derived from plant extracts. The objective of this work is to evaluate the corrosion inhibition potential of plant extracts of pink pepper (*Schinus terebinthifolia Raddi*), black pepper (*Piper nigrum*) and white pepper (*Piper nigrum*) in saline medium (NaCl 10%). The corrosion inhibition efficiency results showed that pink pepper obtained an efficiency of 80.97%, white pepper obtained an efficiency of 86.60% and black pepper obtained an efficiency of 75.77%, in the concentrations of 1000 ppm, 750 ppm and 750 ppm. Therefore, white pepper obtained the best result in terms of corrosion reduction, reaching a maximum efficiency of 86.60% at the studied concentrations.

Keywords: corrosion inhibitor; plant extracts; completion fluid.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Fenômenos físico-químicos que ocorrem na corrosão do metal em meio aquoso, e estrutura de dupla camada elétrica	18
Figura 2	– Amostras de pimenta-rosa, pimenta-branca e pimenta-preta após o processo de trituração	23
Figura 3	– Sistema de extração de <i>soxhlet</i>	24
Figura 4	– Soluções de pimenta-branca	24
Figura 5	– Solução total de pimenta-branca contida em um <i>becker</i>	25
Figura 6	– Soluções das pimentas (pimenta-rosa, pimenta-preta e pimenta-branca, respectivamente)	26
Figura 7	– Curvas de polarização linear para o extrato de pimenta-rosa nas concentrações de 500, 750 e 1000 ppm	27
Figura 8	– Curvas de polarização linear para o extrato de pimenta-branca nas concentrações de 500, 750 e 1000 ppm	28
Figura 9	– Curvas de polarização linear para o extrato de pimenta-preta nas concentrações de 500, 750 e 1000 ppm	29
Figura 10	– Curvas de polarização linear para os extratos das três pimentas nas concentrações de 500, 750 e 1000 ppm	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	–	Dados de inibição obtido para a pimenta-rosa	27
Tabela 2	–	Dados de inibição obtido para a pimenta-branca	29
Tabela 3	–	Dados de inibição obtido para a pimenta-preta	30

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	12
2.	CORROSÃO	15
2.1.	Mecanismos da corrosão	15
2.2.	Morfologia da corrosão	15
2.3.	Meios corrosivos	17
2.4.	Combate e prevenção da corrosão	18
2.4.1.	Inibidores de corrosão.....	20
2.4.1.1.	Inibidores da linha verde	20
2.5.	Monitoramento da corrosão	21
2.5.1.	Método de polarização linear potenciodinâmica	22
3.	EXPERIMENTAL	23
3.1.	Preparação das amostras	23
3.2.	Extração das pimentas	23
3.3.	Teste de corrosão	25
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	26
4.1.	Extração	26
4.2.	Ensaio eletroquímico	26
5.	CONCLUSÕES	32
6.	REFERÊNCIAS	33

1. INTRODUÇÃO

O ser humano luta contra os processos corrosivos desde o início da fabricação e utilização de utensílios metálicos. Porém, os processos de fabricação de materiais foram evoluindo e o homem percebeu que as ligas ferrosas possuem propriedades mecânicas superiores dentre os materiais, além de possuírem custo baixo de fabricação. Porém, foi notado um grande problema, já que esses materiais, mesmo possuindo boas propriedades mecânicas, estariam suscetíveis a corrosão (NORONHA et al., 2022). A corrosão pode ser definida como a deterioração de um material pela reação química ou eletroquímica com o meio que o envolve, estando associada ou não a esforços mecânicos (SERRA, 2014). Essa deterioração representa alterações prejudiciais indesejáveis, sofrida pelo material, como desgaste, variações químicas ou modificações em sua estrutura, tornando-o inadequado para o uso, já que prejudica a durabilidade e o desempenho deles, fazendo com que deixem de satisfazer os fins a que se destinam (GENTIL, 2022).

A problemática da corrosão ocorre com frequência no cotidiano, de forma direta ou indireta, já que todos os compostos metálicos e seus derivados estão propícios a se deteriorarem (CARVALHO et al., 2016). Ela pode ocorrer também nas mais diversas atividades, como por exemplo nas indústrias: automotiva, química, de construção civil, petroquímica e petrolífera (GENTIL, 2022). Na indústria do petróleo, mais especificamente, essa problemática causa diversos problemas, onde podem ser citados: a redução na capacidade de escoamento, o risco de acidentes e a redução da produção (CUNHA; SILVA; BARBOSA, 2018).

Além disso, é possível notar que o processo corrosivo é um fenômeno dispendioso, já que nos Estados Unidos, ela gera um custo de aproximadamente 3% do seu produto interno bruto, chegando a centenas de bilhões de dólares a cada ano (ASKELAND; WRIGHT, 2019). Os prejuízos econômicos causados pela corrosão atingem custos extremamente altos, e é estimado que uma parcela superior a 30% do aço produzido no mundo seja utilizada para reposição de peças e partes de equipamentos e instalações que foram prejudicadas pelo processo corrosivo (NUNES; LOBO, 2014). A corrosão pode causar perdas econômicas de forma direta e indireta. As perdas diretas se relacionam aos custos de substituição de peças e equipamentos que sofreram o processo corrosivo, e os custos e manutenção dos processos de proteção. As perdas indiretas, por sua vez, se relacionam à perda de produto, perda de eficiência, paralizações acidentais, contaminação de produtos, superdimensionamento. Essas perdas indiretas nem sempre

podem ser quantificadas, por serem mais difíceis de serem avaliadas, e podem totalizar custos mais elevados que as perdas diretas (GENTIL, 2022).

O controle da corrosão pode ser realizado por meio de: seleção de materiais e projeto adequado, modificação da interface e modificação do meio. Um bom exemplo de modificação da interface entre o material e o meio é o uso de inibidores de corrosão (JAMBO; FÓFANO, 2008). Os inibidores de corrosão são substâncias ou misturas de substâncias que, quando são aplicadas em concentrações adequadas em um meio corrosivo, podem reduzir a taxa de corrosão sem mudar significativamente a concentração de qualquer agente corrosivo (LATTMANN; ALVES, 2020). Porém, atualmente, há uma preocupação com a toxicidade, biodegradabilidade e a bioacumulação dos inibidores de corrosão convencionais que são lançados ao meio ambiente. Esses inibidores indiscutivelmente são satisfatórios quando se fala de eficiência de inibição, mas podem causar efeitos ambientais diversos, devido a toxicidade de seus componentes (SASTRI, 2011). Para solucionar esse problema, esforços vêm sendo empregados para o incentivo da aquisição de inibidores mais eficientes e ecologicamente viáveis, já que não só o custo/benefício e a eficiência de inibição são importantes, mas também a segurança humana e ambiental. Os inibidores de corrosão oriundos de extratos vegetais possuem diversas vantagens, como por exemplo: serem de fontes renováveis, baixa aquisição, baixo custo, biodegradáveis e por não conterem metais pesados em sua composição (FELIPE et al., 2013). A diversidade de plantas ou partes de plantas promovem uma grande variedade de extratos que podem ser aplicados em variados meios corrosivos, dando destino a materiais que muitas vezes seriam descartados (NORONHA et al., 2022).

Os fluidos de completação são usados nas operações de produção, onde objetiva-se conter os reservatórios por meio da pressão hidrostática imposta por esses fluidos, causando um mínimo de dano à formação produtora (S. C.; MATTOS; JOIA, 2002). Ele geralmente é uma solução salina, onde há características necessárias para evitar danos à formação, como por exemplo: custo, pressão e temperatura da formação (JORGE et al., 2012). As soluções salinas mais utilizadas como fluidos de completação indústria do petróleo são o NaCl (cloreto de sódio) e o KCl (cloreto de potássio) (PAIVA, 2020).

O fruto de *Piper nigrum* pode ser extraído por meio de um procedimento simples e apresentar bons rendimentos. Além de bons resultados de inibição, estudos apontam a pimenta do reino como uma boa alternativa como inibidor de corrosão da linha verde em meio ácido (HCl 1,0 mol/L) para aço carbono ASTM 1020 (ASSIS et al., 2015). Para o presente trabalho, serão avaliadas a pimenta-preta, a pimenta-rosa e a pimenta-branca

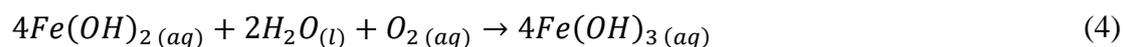
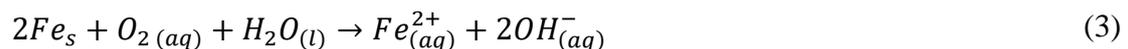
com relação ao seu potencial de inibição de corrosão frente ao aço API 5L grau B, em meio a cloreto de sódio (NaCl 10%), simulando um fluido de completção, através de curvas de polarização linear, empregando a equação de Tafel.

2. CORROSÃO

2.1. Mecanismos da corrosão

Para que se saiba que materiais são mais apropriados para cada situação sem que haja corrosão, ou que a corrosão seja reduzida ao mínimo, é necessário o conhecimento de certas características do sistema, como: composição química, presença de impurezas e estado de superfície do metal, pH, temperatura, teor de oxigênio e sólidos suspensos do meio corrosivo e condições operacionais da instalação (TOLENTINO, 2015).

A corrosão, de acordo com o meio corrosivo e o material, pode ocorrer por meio de dois mecanismos diferentes, sendo eles o químico e o eletroquímico. No mecanismo químico, ocorrem reações químicas diretas entre o material, sendo ele metálico ou não, e o meio corrosivo, onde não há geração de energia elétrica. Diferentemente do mecanismo químico, no eletroquímico há reações químicas que envolvem a geração de energia elétrica, ou seja, a transferência de carga ou elétrons por meio de uma interface ou eletrólito, onde o eletrólito pode estar solubilizado em água ou fundido (GENTIL, 2022). São exemplos de reações envolvidas nos mecanismos as Equações de 1 a 4.



Onde a Equação 1 é uma semirreação de oxidação, a Equação 2 é uma semirreação de redução, e as Equações 3 e 4 são reações de oxirredução.

2.2. Morfologia da corrosão

A caracterização da corrosão quanto à morfologia é importante para o esclarecimento do mecanismo e na aplicação de medidas adequadas de proteção. Essa classificação pode ser dividida em quatro grupos, sendo eles; uniforme, localizada, seletiva e transgranular (GENTIL, 2022; JAMBO; FÓFANO, 2008).

Primeiramente, a corrosão uniforme, conhecida também como generalizada, é aquela onde é processada em toda a extensão de superfície, havendo também a perda uniforme da espessura. Portanto, como o próprio nome já diz, a superfície sofre de maneira uniforme o desgaste, tornando a perda de espessura praticamente igual em toda a região exposta ao processo corrosivo. Com o tempo, o desgaste pode provocar tanto falhas como fissuras no material (GENTIL, 2022; JAMBO; FÓFANO, 2008; LATTMANN; ALVES, 2020).

A corrosão localizada, por sua vez, ocorre em apenas uma região, quando regiões isoladas sofrem o processo corrosivo diferenciado em relação à uma área maior exposta ao meio corrosivo. De acordo com as proporções entre o diâmetro e a profundidade da região corroída, a corrosão localizada pode ser dividida entre alveolar e puntiforme. Se o diâmetro médio da região corroída for maior ou próximo da sua profundidade, a corrosão localizada possui um aspecto alveolar, já que a corrosão produz sulcos ou escavações que são semelhantes à alvéolos. Já quando a profundidade da região que sofre corrosão for bem maior que o seu diâmetro médio, ela possui um aspecto puntiforme (GENTIL, 2022; JAMBO; FÓFANO, 2008).

A corrosão também pode ser caracterizada como seletiva, que é uma variação da corrosão galvânica, onde as próprias fases constituintes das ligas metálicas formam pares galvânicos. Mesmo pequenas diferenças metalúrgicas podem levar ao surgimento de pilhas galvânicas em nível microestrutural. Um exemplo de corrosão seletiva é a corrosão seletiva do ferro fundido cinzento quando exposta à água do mar, onde a matriz ferrosa, anódica, é corroída preferencialmente aos veios de grafita, catódicos (JAMBO; FÓFANO, 2008).

Por fim, a corrosão intergranular ocorre em regiões bem definidas da estrutura metálica, quando ela se localiza ao longo dos contornos dos grãos (JAMBO; FÓFANO, 2008). Além de perder suas propriedades mecânicas, o material irá sofrer ruptura quando solicitado por esforços mecânicos (GENTIL, 2022). Se a corrosão ocorrer por meio de trincas que se propagam no interior dos grãos do material, perdendo resistência mecânica e podendo fraturar à menor sollicitação mecânica, ela é conhecida como transgranular (JAMBO; FÓFANO, 2008).

2.3. Meios corrosivos

Existem diversos meios corrosivos, dentre eles é possível citar a atmosfera, águas naturais, solo e produtos químicos, além dos meios que são encontrados em menor escala, como alimentos, substâncias fundidas, solventes orgânicos, madeira e plásticos (GENTIL, 2022). Porém, os principais meios corrosivos são: a atmosfera, a água, o solo, ácidos e bases.

A atmosfera, como meio corrosivo é importante, já que sua ocorrência é inevitável, sendo a mais comum e apresentando mais falhas do que em qualquer outro meio. A corrosão atmosférica é afetada por diversos fatores, como: a umidade relativa do ar, substâncias poluentes, temperatura e o tempo de permanência do filme de eletrólito na superfície do metal, sem contar os fatores meteorológicos como intensidades, dos ventos, chuvas, radiação ultravioleta e variações de temperatura e umidade (GENTIL, 2022; LATTMANN; ALVES, 2020).

A água, quando em contato com materiais metálicos, tendem a fomentar o processo corrosivo. Esse processo corrosivo irá depender das várias substâncias que podem estar presente na água, como por exemplo: gases dissolvidos (como oxigênio, nitrogênio, cloro, amônia, entre outros), sais dissolvidos (como cloretos de sódio, de ferro e de magnésio, carbonato de sódio, entre outros), matéria orgânica de origem animal ou vegetal, bactérias, vírus, protozoários, limos, algas e sólidos suspensos. Além disso, para a avaliação da capacidade corrosiva da água, devem ser considerados também o pH, a temperatura, a velocidade e a ação mecânica (LATTMANN; ALVES, 2020).

Outro meio corrosivo bastante importante é o solo, já que existem diversas estruturas enterradas, em contato direto com o solo, como por exemplo oleodutos, gasodutos, adutoras, minerodutos e uma grande quantidade de tanques que armazenam combustíveis. Além disso, a corrosão nesse tipo de estrutura pode causar perfurações, levando a vazamentos, que podem provocar contaminação do solo ou de lençóis freáticos. O solo é um dos meios mais complexos de se determinar a ação agressiva para os materiais metálicos, já que na retirada de amostras, alguns fatores podem sofrer alterações, que influirão nas condições físicas, modificando parâmetros analíticos (GENTIL, 2022).

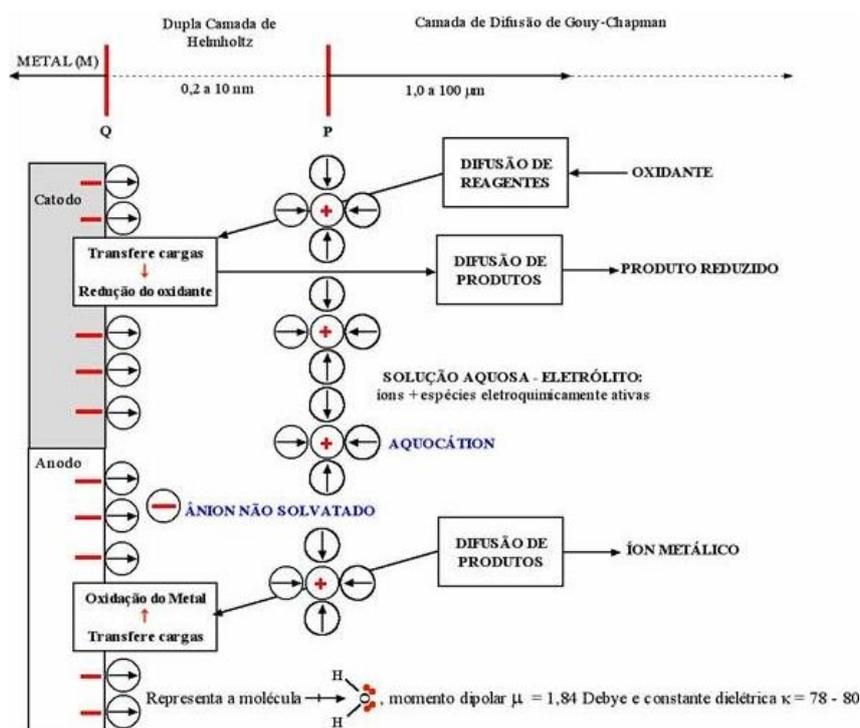
Por fim, ao se trabalhar com reagentes químicos ácidos e básicos, são necessários alguns cuidados especiais, já que cada reagente possui uma interação diferente com determinado material. Ácidos inorgânicos fortes como sulfúrico e clorídrico

proporcionam a redução do pH e o desprendimento de hidrogênio, portanto, são extremamente corrosivos. Diferentemente dos inorgânicos, os ácidos orgânicos são mais fracos já que são fracamente ionizados (LATTMANN; ALVES, 2020).

2.4. Combate e prevenção da corrosão

A corrosão pode ser extremamente danosa em diversas situações, sendo elas domésticas ou industriais, e pode provocar diversos problemas econômicos e ambientais. Portanto, para que ocorra um controle efetivo da corrosão, inicialmente deve-se conhecer os mecanismos envolvidos em uma reação de corrosão, já que assim se saberá a melhor forma de proteger o material contra a corrosão (LATTMANN; ALVES, 2020). O processo corrosivo é um fenômeno que ocorre na interface entre o metal e o meio, como visto na Figura 1, que representa a interface entre o eletrólito e o metal, onde a dupla camada elétrica é originada da separação de cargas na interface, que estabelece uma diferença de potencial entre eles (SILVA et al., 2017). Portanto o controle ou a prevenção da corrosão será baseada em métodos que influenciem no metal, na interface ou no meio (JAMBO; FÓFANO, 2008).

Figura 1 - Fenômenos físico-químicos que ocorrem na corrosão do metal em meio aquoso, e estrutura de dupla camada elétrica.



Fonte: Pedroso da Silva et al. (2017).

O método mais comum de combate à corrosão é a seleção de materiais e projeto adequado, onde devem ser escolhidos os materiais que apresentem uma resistência à corrosão, além de apresentarem o melhor custo/benefício, garantirem a segurança industrial e ambiental, apresentarem disponibilidade e compatibilidade com o processo corrosivo (JAMBO; FÓFANO, 2008; LATTMANN; ALVES, 2020).

A proteção contra a corrosão também pode ser feita por meio da modificação de propriedades do metal, por meio do aumento da pureza, da adição de elementos ou do tratamento térmico. (GENTIL, 2022; LATTMANN; ALVES, 2020). Há também medidas que podem ser realizadas ainda na fase de projeto, como por exemplo a sobre espessura da corrosão, em diferentes partes do componente, onde o cálculo é realizado com fatores de segurança, a partir do conhecimento prévio do tipo e intensidade da corrosão que são esperadas durante a utilização do equipamento. Além disso, podem ser tomados cuidados, como no acabamento das soldas, que devem ser contínuas e aliviadas de tensões; ou em áreas onde há a drenagem de líquidos, que deve ser facilitada para evitar áreas de estagnação de fluidos (GENTIL, 2022).

A corrosão também pode ser controlada pela implementação de revestimentos, que agem por meio da modificação da interface entre metal e meio (JAMBO; FÓFANO, 2008). Os revestimentos podem ser divididos entre orgânicos e inorgânicos. Os orgânicos envolvem a formação de uma película entre o material e o meio, que pode ser realizada por meio de tintas, que podem proteger o material tanto externa, na corrosão generalizada, como internamente, na corrosão por erosão. Existe uma infinidade de tipos de tintas que podem ser utilizadas, entre elas é possível citar: tintas de fundo, conhecidas também como *primer*; tintas intermediárias e tintas de acabamento. Em casos em que o meio é altamente corrosivo, podem ser utilizados polímeros, como: silicones, elastômeros, plásticos, policloreto de vinila e polipropileno (LATTMANN; ALVES, 2020).

Além dos revestimentos orgânicos, há também os inorgânicos, que são utilizados quando os orgânicos possam não trazer resultados satisfatórios ou até mesmo prejudicar a integridade do material. Os inorgânicos podem ser divididos entre metálicos e não metálicos. Os metálicos podem ser aplicados em diversas situações, e comumente são utilizados em ações combinadas para a proteção do material metálico, obtendo assim uma melhor eficiência. Para a sua aplicação, podem ser utilizadas diversas técnicas, como: eletrodeposição, aspersão por chamas, chapeamento, imersão a quente, deposição a vapor, difusão e a conversão química. Os inorgânicos não metálicos são revestimentos

que são aplicados diretamente na superfície metálica ou formados sobre esta, como por exemplo o esmalte vidroso, vidros, porcelanas, cimentos e óxido. Sua formação é geralmente feita por aspersão por chama, difusão ou conversão química (LATTMANN; ALVES, 2020).

2.4.1. Inibidores de corrosão

Os inibidores de corrosão atuam pela formação de um filme na superfície do material, de forma que reduza as reações da corrosão, e na alteração do meio corrosivo, tornando-o menos agressivo. Eles podem ser divididos em: anódicos, catódicos, formadores de filme orgânico, neutralizantes, fase vapor, sequestrantes de oxigênio dissolvido, entre outros. Além disso, sua eficiência de proteção depende dos materiais e da severidade do meio (MAINIER; SILVA, 2010).

A utilização dos inibidores de corrosão ocorre nos mais diversos segmentos industriais, como por exemplo na indústria petrolífera, que apresentam uma grande eficiência de inibição da corrosão na proteção interna de oleodutos, gasodutos e caldeiras, além de estar inserido também na área de refino, na injeção da água, nas recuperações secundárias e nos fluidos de perfuração (MAINIER, 1996).

Portanto, é inegável que o uso de inibidores de corrosão é um meio efetivo de prevenir o processo corrosivo. Porém, devem ser analisados também o metal que se deseja proteger e o meio corrosivo em que ele será inserido, para assim determinar o melhor inibidor de corrosão para aquela situação. Além disso, devem ser considerados também o custo de implantação e o impacto ambiental que o uso desse inibidor pode causar.

2.4.1.1. Inibidores da linha verde

Há uma forte tendência natural no emprego do uso de inibidores de corrosão da linha verde, ou seja, de inibidores produzidos a partir de extratos vegetais, devido ao seu baixo custo, baixo impacto ambiental e grande variedade de utilização, já que existem diversas plantas e diversas partes de plantas que podem ser utilizadas (NORONHA et al., 2022). Além de serem biodegradáveis, eles não usam metais pesados ou outros compostos tóxicos em sua composição (RANI; BASU, 2012).

2.5. Monitoramento da corrosão

Para que seja facilitada a compreensão do processo corrosivo e obtenção de informações que facilitem o controle e prevenção da corrosão, devem ser usadas técnicas de monitoramento da corrosão, que é basicamente uma forma sistemática de medição da corrosão de um material. As técnicas de monitoramento podem, de acordo com a necessidade, ser utilizadas tanto em laboratório quanto em campo. O monitoramento realizado em campo é útil para verificar a eficiência das medidas de proteção anticorrosiva, além de selecionar o material mais adequado para o meio em estudo, e estimar a durabilidade nesse meio. As técnicas em laboratório, por sua vez, são importantes para estudar o mecanismo de corrosão, indicar o material metálico mais adequado, determinar os efeitos que o material pode causar nas características do meio corrosivo e determinar o efeito do processo de fabricação do metal sobre o comportamento dele no meio (GENTIL, 2022).

As técnicas podem ser divididas em três tipos, sendo eles: as não destrutivas, as analíticas e as corrosionais. As não destrutivas são indispensáveis para indicar a presença de patologias como fissuras, trincas, vazamentos, entre outros. Elas são utilizadas por ocasião das paradas ou com equipamentos em operação. São exemplos de métodos não destrutivos a radiografia, o ultrassom e o exame visual. Os métodos analíticos, por sua vez, são complementares aos corrosionais, e são importantes para situações em que a corrosão é controlada por parâmetros do meio. Análise química, medição do pH, teor de oxigênio e a atividade microbiológica são métodos analíticos (GENTIL, 2022; JAMBO; FÓFANO, 2008).

Por fim, os métodos corrosionais são divididos entre eletroquímicos e não eletroquímicos. Os eletroquímicos são baseados em medidas eletroquímicas tomadas diretamente no fluido de processo. Existem diversos tipos de métodos eletroquímicos, por exemplo: as medições de potencial, que são realizadas com eletrodos e voltímetros para verificar o potencial de eletrodo do metal no meio; a extrapolação das retas de Tafel, que é um método gráfico que permite calcular a taxa da corrosão a partir das técnicas de polarização; a resistência de polarização linear, que é derivada da extrapolação das retas de Tafel; a amperometria de resistência nula, que baseia-se na utilização de amperímetros de alta impedância de entrada, avaliando em tempo real as correntes envolvidas na corrosão; e a impedância eletroquímica que consiste na perturbação de uma amostra, com

uma pequena variação de corrente ou potencial em torno de um determinado valor (JAMBO; FÓFANO, 2008).

Os métodos não eletroquímicos baseiam-se na mensuração da corrosão a partir da perda de massa que um corpo sofre após passar por um processo corrosivo. (GENTIL, 2022; JAMBO; FÓFANO, 2008). São exemplos de métodos não eletroquímicos: a perda de massa, os sensores de resistência elétrica e as sentinelas.

A perda de massa é baseada na utilização de cupons, que são amostras com um material idêntico ao material de estudo, que são inseridos no meio corrosivo e, depois de um certo período, são medidos e pesados. É um método bastante simples de ser executado, pois depende apenas de pesar o material antes e depois da exposição à corrosão (JAMBO; FÓFANO, 2008).

2.5.1. Método de polarização linear potenciodinâmica

O método consiste na observação das curvas de polarização anódica e catódica do metal no solo, determinando as correntes que produzem mudanças de inclinação nas curvas de polarização (SERRA, 2014). Os resultados dos ensaios de polarização potenciodinâmica geram um gráfico, que quando há a extrapolação das retas de Tafel, são obtidos a corrente de corrosão (I_{corr}) e potencial de corrosão (E_{corr}), e assim é calculada a eficiência de corrosão com base na corrente de corrosão no “branco”, ou seja, sem a presença do inibidor e com a presença do inibidor, conforme a Equação 5 (SCHOLZ et al., 2016).

$$E.I. (\%) = \frac{I_{corr(branco)} - I_{corr(ensaio)}}{I_{corr(branco)}} \times 100 \quad (5)$$

3. EXPERIMENTAL

3.1. Preparação das amostras

Foram usadas para a extração três frutos, sendo eles: pimenta-rosa (*Schinus terebinthifolius Raddi*), pimenta-preta (*Piper nigrum*) e a pimenta-do-reino branca (*Piper nigrum*). Inicialmente, as amostras foram trituradas a partir de um triturador industrial, para aumentar a área superficial dos grãos, e assim melhorar o resultado da extração. Após a trituração, as amostras ficaram conforme a Figura 2. Logo após a trituração, as amostras foram colocadas em estufa a 105° C durante 24h para eliminar qualquer umidade indesejada.

Figura 2. Amostras de pimenta-rosa, pimenta-branca e pimenta-preta após o processo de trituração.



Fonte: Autoria própria, 2022.

3.2. Extração das pimentas

Para cada pimenta, foi realizada a extração pelo método *soxhlet*, onde foi empregado a extração de saches de cada pimenta, utilizando como o solvente o álcool etílico P.A., com um tempo de extração de 5 horas. Foi utilizado uma manta aquecedora com uma temperatura controlada de 100° C e um banho ultratermostático. O esquema do equipamento utilizado para a extração de *soxhlet* é mostrado pela Figura 3.

Figura 3. Sistema de extração de *soxhlet*.



Fonte: Autoria própria, 2022.

Logo após a extração, foram formadas 6 soluções de cada pimenta conforme a Figura 4, onde foram depositadas em um *becker* de 1 litro para cada pimenta, de acordo com a Figura 5.

Figura 4. Soluções de pimenta-branca.



Fonte: Autoria própria, 2022.

Figura 5. Solução total de pimenta-branca contida em um *becker*.



Fonte: Autoria própria, 2022.

A solução total de cada pimenta foi inserida novamente em uma estufa, a uma temperatura de 80° C, para evaporar parte do álcool etílico presente na solução. Logo após a estufa, o material foi inserido em um balão volumétrico de 100 ml, e foi introduzido álcool etílico até que a solução tivesse um volume de 100 ml, e assim foi determinada a concentração de cada solução.

3.3. Teste de corrosão

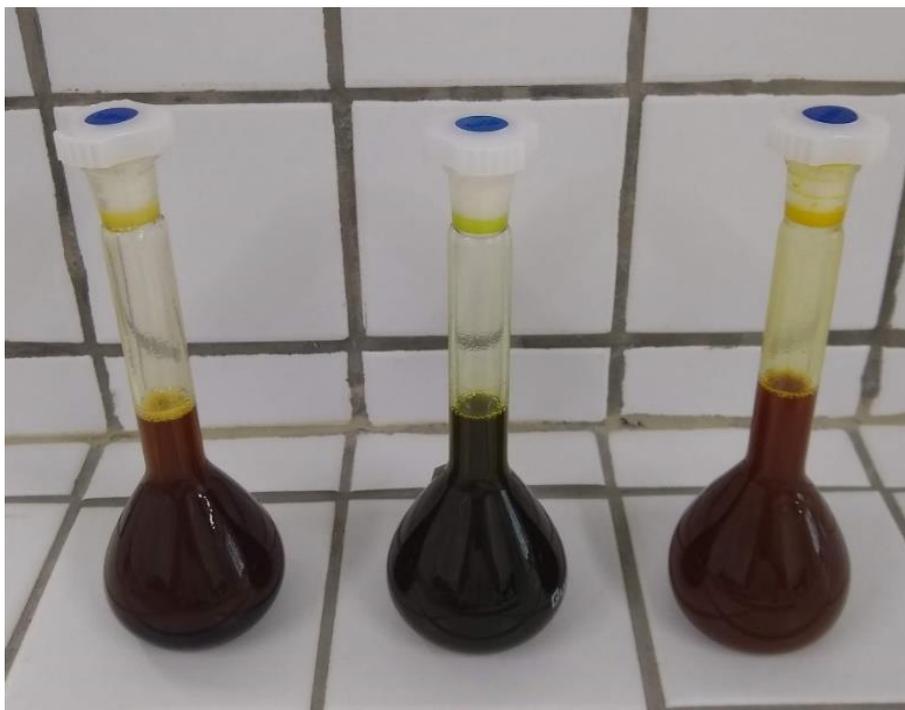
Para o ensaio, foi utilizado um fluido de completação empregando o sal cloreto de sódio na concentração de 10%. Os testes foram realizados em célula contendo o eletrodo em aço API 5L grau B. A cada teste, o eletrodo polido com lixas d'água de diferentes granulometrias (800, 1000 e 1200 mesh), em ordem crescente. Além disso, o eletrodo foi também imerso em hidróxido de sódio (NaOH 10%), limpo com água destilada e em seguida imerso em ácido clorídrico (HCl 10%), limpo novamente com água destilada e secas ao ar. O equipamento utilizado foi o potenciostato PGSTAT204. As concentrações utilizadas para o ensaio foram 500, 750 e 1000 ppm.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Extração

Logo após a extração, foi possível notar a formação de um corpo de fundo presente nos balões. A Figura 6 apresenta o resultado do processo de extração de todas as pimentas, onde cada uma delas foi inserida em um balão volumétrico de 100 ml, para que fosse retirada uma concentração para o ensaio.

Figura 6. Soluções das pimentas (pimenta-rosa, pimenta-preta e pimenta-branca, respectivamente).

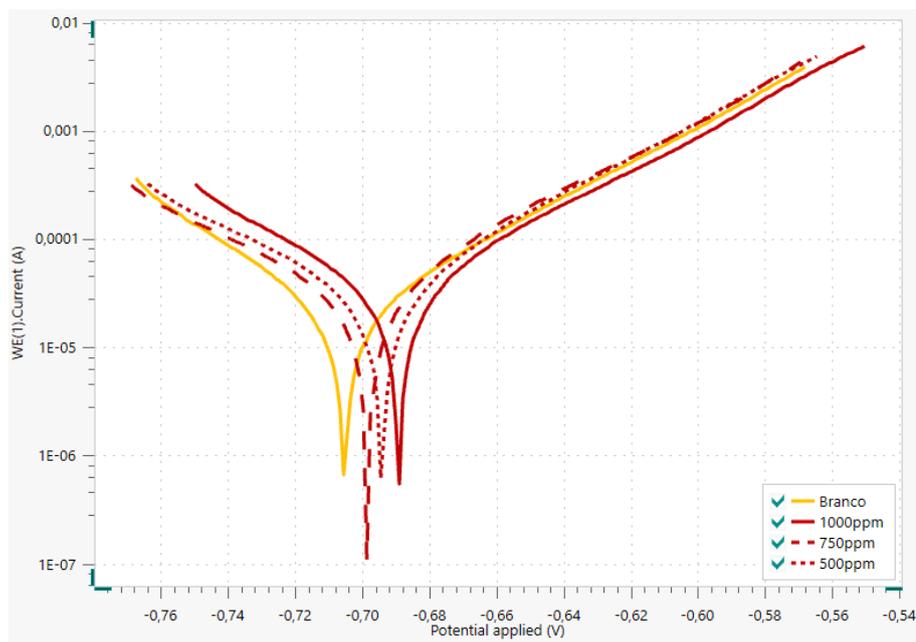


Fonte: Autoria própria, 2022.

4.2. Ensaio eletroquímico

Os ensaios geraram curvas de polarização linear da pimenta-rosa mostradas na Figura 7, onde é comparado a presença do inibidor em três concentrações diferentes e a ausência do inibidor. É possível perceber que com o aumento da concentração do extrato de pimenta-rosa, as curvas foram se deslocando mais para a direita do gráfico, sinalizando que o material é mais nobre, indicando um aumento na resistência dele à corrosão. Além disso, a região anódica não apresentou muita diferença com as diferenças de concentrações, o que foi mais notado na região catódica.

Figura 7. Curvas de polarização linear para o extrato de pimenta-rosa nas concentrações de 500, 750 e 1000 ppm.



Fonte: Autoria própria, 2022.

A partir do gráfico, foram obtidos a densidade de corrente de corrosão (I_{corr}) e potencial de corrosão (E_{corr}) com a extrapolação das retas de Tafel, e assim foi calculada a eficiência da corrosão de cada concentração em relação ao “branco”, que é a ausência do inibidor. As eficiências referentes a inibição da corrosão da pimenta-rosa são expostas na Tabela 1, onde é possível perceber que com o aumento da concentração do inibidor, há também um aumento na eficiência de inibição dele. A pimenta-rosa obteve uma eficiência de inibição de 80,97% para uma concentração de 1000 ppm.

Tabela 1. Dados de inibição obtido para a pimenta-rosa.

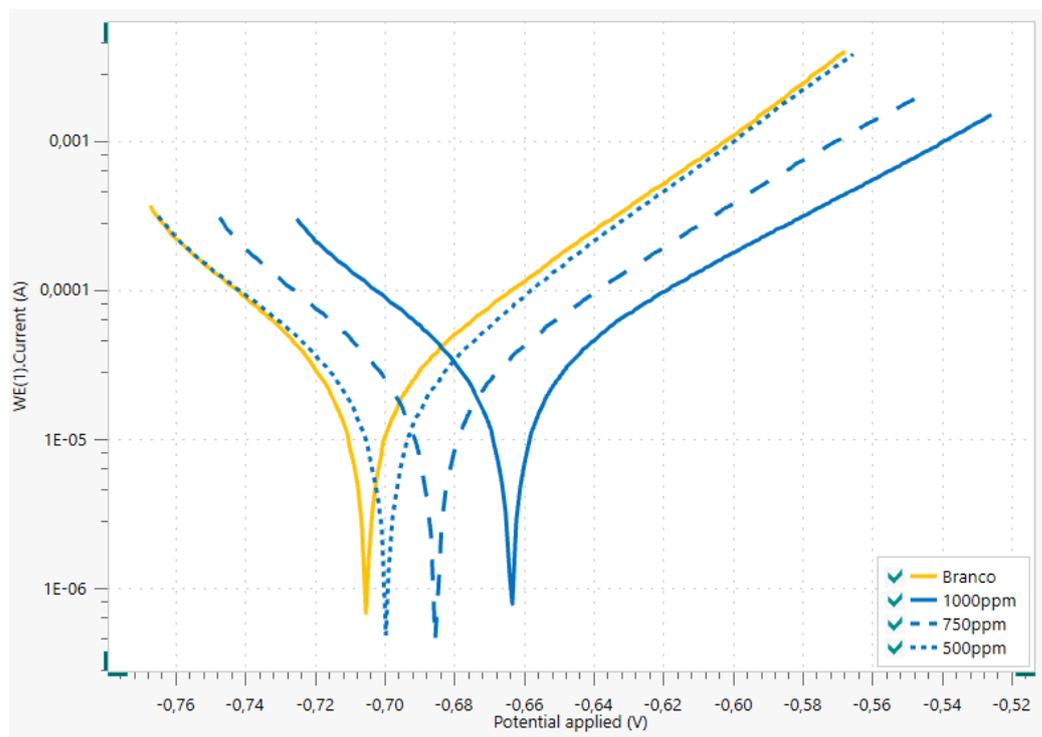
Concentração	J (A/cm ²)	I _{corr} (A)	Taxa		
			(mm/ano)	E _{corr} (V)	E.I. (%)
Branco	8,87E-06	8,87E-06	0,103110	-0,70543	-
500 ppm	2,44E-06	2,44E-06	0,028372	-0,69447	70,94%
750 ppm	1,88E-06	1,88E-06	0,021871	-0,6999	76,56%
1000 ppm	1,69E-06	2,32E-06	0,026900	-0,68863	80,97%

Fonte: Autoria própria, 2022.

O gráfico referente às curvas de polarização linear do extrato da pimenta-branca é mostrado na Figura 8, onde também é possível perceber que com o aumento da

concentração do inibidor, o gráfico é deslocado para a direita, assim como o de pimenta-roxa, indicando o aumento da nobreza do material. Com relação à região catódica, não houve muita alteração entre o “branco” e a concentração de 500 ppm, o que foi mais notado com o aumento da concentração, em que a região catódica foi mais deslocada para a direita. A região anódica teve o mesmo comportamento, tanto para a concentração de 750 ppm como para a de 1000 ppm.

Figura 8. Curvas de polarização linear para o extrato de pimenta-branca nas concentrações de 500, 750 e 1000 ppm.



Fonte: Autoria própria, 2022.

A partir da extrapolação das retas de Tafel dos resultados experimentais da pimenta-branca, foi obtida a Tabela 2, onde é possível perceber que com o aumento da concentração do inibidor até 750 ppm, houve um aumento da sua eficiência de inibição. Porém, quando há um aumento para 1000 ppm, é possível perceber que sua eficiência foi reduzida. Portanto, a concentração mais eficiente é a de 750 ppm, com uma eficiência de inibição de 86,60%. Além disso, foi possível perceber que entre o branco e a concentração de 500 ppm, houve uma mudança muito pequena no potencial da corrosão, o que foi mais notado para as demais concentrações.

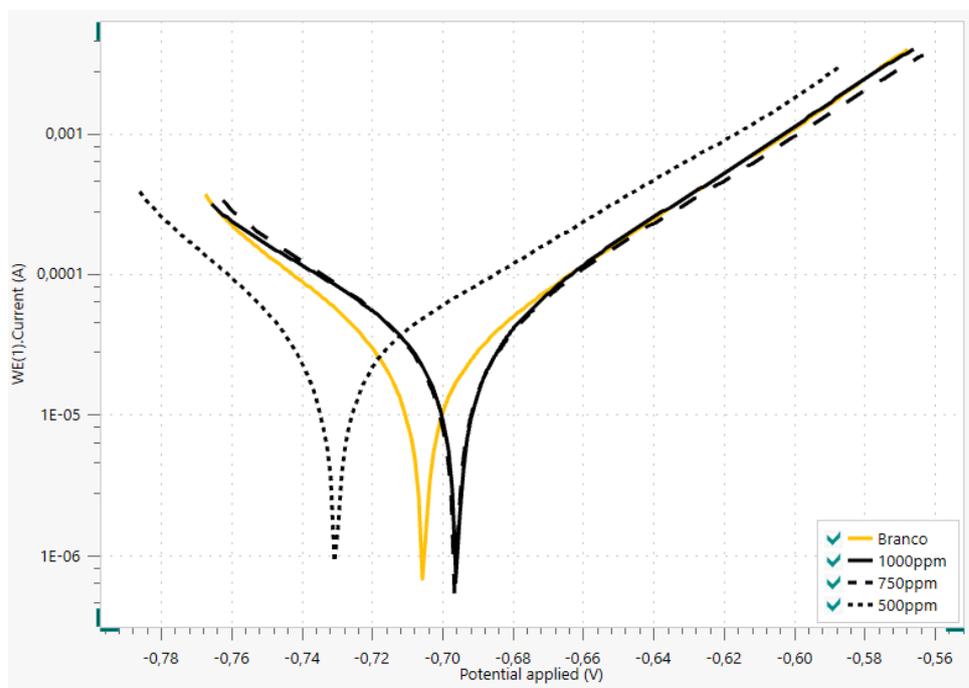
Tabela 2 – Dados de inibição obtido para a pimenta-branca.

Concentração	J (A/cm ²)	I _{corr} (A)	Taxa (mm/ano)	E _{corr} (V)	E.I. (%)
Branco	8,87E-06	8,87E-06	0,103110	-0,70543	-
500 ppm	2,02E-06	2,02E-06	0,023508	-0,69966	77,20%
750 ppm	1,62E-06	1,62E-06	0,018856	-0,68552	86,60%
1000 ppm	1,98E-06	1,98E-06	0,023007	-0,66326	77,69%

Fonte: Autoria própria, 2022.

O extrato de pimenta-preta, por sua vez, teve como resultado o gráfico exposto na Figura 9, onde é possível perceber que para a concentração de 500 ppm, o comportamento do gráfico diferiu bastante do “branco”, tanto em sua região anódica como em sua região catódica, pois ambas estão deslocadas à esquerda do gráfico, sinalizando que houve um aumento no potencial de corrosão, consequentemente aumentando as reações de corrosão. Além disso, é possível observar que as concentrações de 750 ppm e 1000 ppm foram bastante similares com relação ao potencial e a corrente.

Figura 9. Curvas de polarização linear para o extrato de pimenta-preta nas concentrações de 500, 750 e 1000 ppm.



Fonte: Autoria própria, 2022.

Após a extrapolação das retas de Tafel da pimenta-preta, foi obtida a Tabela 3, onde é possível perceber que com uma concentração de 500 ppm, o extrato teve uma taxa corrosiva menor que o branco, onde a eficiência de inibição da corrosão foi muito similar às outras concentrações, porém o seu potencial foi inferior ao branco, tornando o material menos nobre e mais suscetível à corrosão.

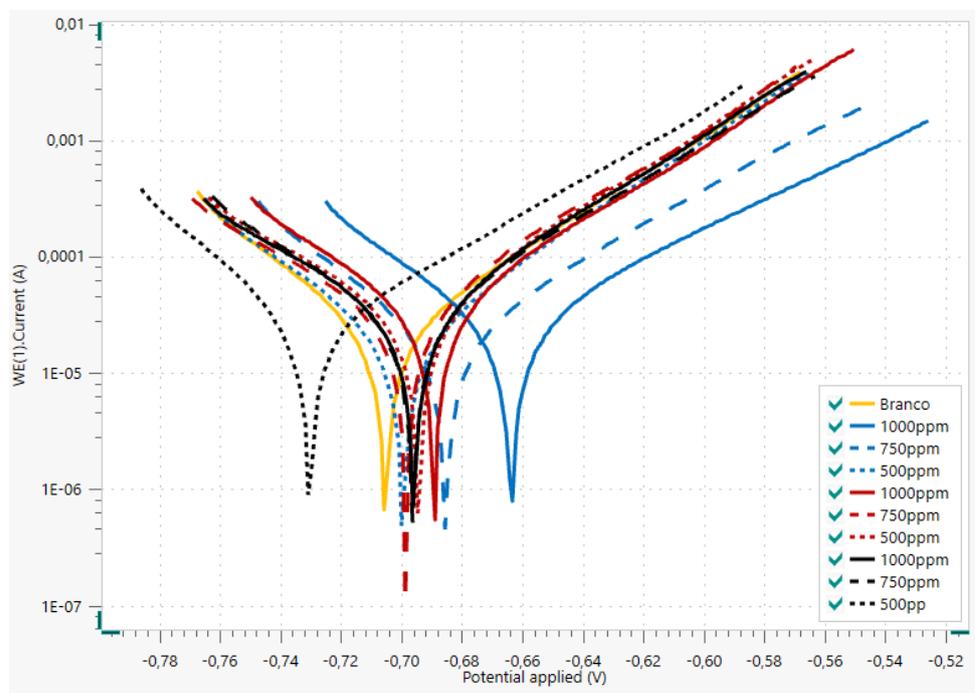
Tabela 3 – Dados de inibição obtido para a pimenta-preta.

Concentração	J (A/cm ²)	I _{corr} (A)	Taxa		
			(mm/ano)	E _{corr} (V)	E.I. (%)
Branco	8,87E-06	8,87E-06	0,103110	-0,70543	-
500 ppm	2,38E-06	2,38E-06	0,027623	-0,73166	73,21%
750 ppm	2,15E-06	2,15E-06	0,024985	-0,69639	75,77%
1000 ppm	2,28E-06	2,28E-06	0,026507	-0,69559	74,29%

Fonte: Autoria própria, 2022.

Por fim, ao inserir todas as concentrações das três pimentas em um só gráfico, foi obtido o gráfico contido na Figura 10, onde é possível comparar o resultado de todos os inibidores.

Figura 10. Curvas de polarização linear para os extratos das três pimentas nas concentrações de 500, 750 e 1000 ppm.



Fonte: Autoria própria, 2022.

A partir do gráfico, é possível perceber o inibidor que teve um maior incremento de resistência a corrosão foi o de pimenta-branca com uma concentração de 1000 ppm, pois se encontra mais à direita do gráfico, tendo o menor potencial de corrosão de todos os inibidores. A que obteve o pior resultado foi o da pimenta-preta com uma concentração de 500 ppm, já que mesmo tendo uma eficiência de inibição da corrosão acima de 70%, o potencial de corrosão foi inferior ao branco, tornando-o mais suscetível à corrosão.

5. CONCLUSÕES

O extrato de pimenta-rosa (*Schinus terebinthifolia Raddi*) obteve uma eficiência de inibição da corrosão de 80,97% com uma concentração de 1000 ppm para uma solução salina (NaCl 10%), apresentando redução significativa com relação a taxa de corrosão. Porém, com o aumento da concentração de 750 ppm para 1000 ppm, não houve um incremento significativo da sua eficiência de inibição da corrosão, tornando inviável a utilização de concentrações superiores a 750 ppm.

O inibidor de corrosão formado a partir do extrato de pimenta-branca (*Piper nigrum*), teve uma maior eficiência de inibição da corrosão com uma concentração de 750 ppm, chegando até 86,60%. Porém, quando sua concentração foi aumentada para 1000 ppm, houve uma redução na sua eficiência, chegando até 77,69%. Além disso, foi possível observar um incremento na eficiência de 9,4% ao aumentar sua concentração de 500 ppm para 750 ppm.

Por fim, o extrato de pimenta-preta (*Piper nigrum*), quando aplicado como inibidor de corrosão da linha verde, obteve uma eficiência de inibição máxima de 75,77%, com uma concentração de 750 ppm e, quando aumentada para 1000 ppm, sua eficiência caiu para 74,29%. Além disso, mesmo com resultados de eficiência de inibição tão similares, foi possível perceber que a concentração de 500 ppm não era viável de se utilizar, já que houve uma diminuição no potencial de corrosão quando comparado ao branco.

Portanto, dentre as três pimentas estudadas, a que teve um desempenho melhor foi a pimenta-branca, já que teve a maior eficiência de inibição à corrosão, além de apresentar um maior incremento quando comparado à sua concentração anterior (500 ppm), chegando a um aumento de quase 10%. Portanto, as três pimentas apresentam-se como potenciais inibidoras de corrosão da linha verde, pois além de não serem tóxicos e por serem de baixo custo, eles são alternativas que apresentaram uma redução significativa na taxa corrosiva do material.

6. REFERÊNCIAS

ASKELAND, D. R.; WRIGHT, W. J. **Ciência e Engenharia dos Materiais**. 4. ed. [s.l.] Cengage Learning Brasil, 2019.

ASSIS, B. V. R. et al. Efeito inibitório do extrato de Piper Nigrum L. sobre a corrosão do aço carbono em meio ácido. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 5, p. 1830–1840, 2015.

CARVALHO, C. C. A. et al. Análise do processo corrosivo sofrido nos equipamentos e tubulações do reservatório de abastecimento hídrico da cidade de Pau dos Ferros/RN. **CONTEC**, 2016.

CUNHA, J. D.; SILVA, F. N.; BARBOSA, A. F. F. Importância da caracterização dos produtos de corrosão e incrustação em equipamentos da indústria petrolífera: estudo de casos. **III Congresso Nacional de Engenharia de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis**, 2018.

FELIPE, M. B. M. C. et al. Aspectos gerais sobre corrosão e inibidores vegetais. **Revista Virtual de Química**, v. 5, n. 4, 2013.

GENTIL, V. **Corrosão**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2022.

JAMBO, H. C. M.; FÓFANO, S. **Corrosão: Fundamentos, Monitoração e Controle**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2008.

JORGE, Y. et al. Influência do tipo e concentração do sal nas propriedades corrosivas dos fluidos de completação. **72º Congresso Anual da ABM**, p. 2936–2943, 2012.

LATTMANN, B. H.; ALVES, K. M. P. **Corrosão: princípios, análises e soluções**. Curitiba: Intersaberes, 2020.

MAINIER, F. B. Inibidores de corrosão na indústria de petróleo: ontem, hoje e amanhã. **Anais: 5º Congresso Latino-Americano de Hidrocarbonetos, CONEXPO ARPEL96**, p. 13–17, 1996.

MAINIER, F. B.; SILVA, R. R. DE C. M. DA. As formulações inibidoras de corrosão e o meio ambiente. **Engevista**, v. 6, n. 3, p. 106–112, 2 fev. 2010.

NORONHA, D. V. C. DE et al. Inibidores de corrosão da linha verde: uma revisão da literatura. Em: **Collection: Applied materials engineering**. [s.l.] Atena Editora, 2022. p. 67–84.

NUNES, L. DE P.; LOBO, A. C. O. **Pintura industrial na proteção anticorrosiva**. 5. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2014.

PAIVA, J. H. G. **Análise da espinheira santa (MaytenusilicifoliaMartiusexReissek) como inibidor de corrosão orgânico para aplicação em fluidos para completação e**

seu estudo de adsorção no processo. Mossoró: Universidade Federal Rural do Semi-Árido, 2020.

RANI, B. E. A.; BASU, B. B. J. Green inhibitors for corrosion protection of metals and alloys: An overview. **International Journal of Corrosion**, v. 2012, n. i, 2012.

S. C., A. K.; MATTOS, O. R.; JOIA, C. J. B. M. Seleção de inibidores para fluidos de completação (“packer fluids”). **6ª Conferência sobre Tecnologia de Equipamentos**, 2002.

SASTRI, V. S. **Green corrosion inhibitors: Theory and practice**. 1. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2011.

SCHOLZ, G. et al. Avaliação de extrato de folhas de cafeeiro como inibidor de corrosão para aço carbono em meio ácido. **INTERCORR**, abr. 2016.

SERRA, E. T. **Corrosão e proteção anticorrosiva dos metais no solo**. Rio de Janeiro: Interciência, 2014.

SILVA, S. P. et al. **Estudo do comportamento eletroquímico do aço inoxidável ABNT 316L nitretado por descargas elétricas**. Anais do IX Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação. **Anais...ABCM**, 2017.

TOLENTINO, N. M. DE C. **Processos químicos industriais: Matérias-primas, técnicas de produção e métodos de controle de corrosão**. 1. ed. São Paulo: Saraiva, 2015.