



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM LICENCIATURA EM QUÍMICA**

ISMAEL BRAGA RIBEIRO

**ESTUDO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DOS GALHOS FINOS DA
Combretum leprosum E POTENCIAL APLICAÇÃO COMO INIBIDOR
DE CORROSÃO**

SÃO RAIMUNDO NONATO - PI

2023

ISMAEL BRAGA RIBEIRO

**ESTUDO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DOS GALHOS FINOS DA
Combretum leprosum E POTENCIAL APLICAÇÃO COMO INIBIDOR
DE CORROSÃO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF, Campus Serra da Capivara - PI, como requisito para obtenção do título de Licenciado em Química.

Orientadora: Prof. Dra. Vanessa Nascimento dos Santos

Coorientador: Prof. Dr. Éverton Leandro de França Ferreira

SÃO RAIMUNDO NONATO - PI

2023

Ribeiro, Ismael Braga

R484e Estudo da atividade antioxidante dos galhos finos da *Combretum leprosum* e potencial aplicação como inibidor de corrosão / Ismael Braga Ribeiro. - São Raimundo Nonato-PI, 2023.
50 f.; il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Serra da Capivara, São Raimundo Nonato, 2023.

Orientadora: Profa^a Dra. Vanessa Nascimento dos Santos.

Coorientador: Dr. Éverton Leandro de França Ferreira.

1. Oxidação. 2. *Combretum leprosum*. I. Santos, Vanessa Nascimento dos. II. Ferreira, Éverton Leandro de França. III. Título. IV. Universidade Federal do Vale do São Francisco.

CDD 545.23

UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM LICENCIATURA EM QUÍMICA

FOLHA DE APROVAÇÃO

ISMAEL BRAGA RIBEIRO

ESTUDO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DOS GALHOS FINOS
DA *Cobretum leprosum* E POTENCIAL APLICAÇÃO COMO
INIBIDOR DE CORROSÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial para obtenção do título de
Licenciado em Química, pela Universidade
Federal do Vale do São Francisco.

Aprovado em: 03 de Março de 2023.

Banca Examinadora

Vanessa Nascimento dos Santos

Professora Dra. Vanessa Nascimento dos Santos - Orientadora
Colegiado de Licenciatura em Química - UNIVASF

Aparecida Maria Simões Mimura

Professora Dra. Aparecida Maria Simões Mimura
Colegiado de Licenciatura em Química - UNIVASF

Paloma Bispo Coelho

Má. Paloma Bispo Coelho
UNIVASF

Dedico esse trabalho primeiramente a Deus, sem Ele nada disso seria possível, aos meus pais, Silvia Tânia e Antônio Dalcio, a minha tia Cecília e a minha namorada Gizelle Oliveira. Esta monografia é a prova de que todo seu esforço e dedicação valem a pena.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por tudo...

A minha família que me deu apoio diante de todas as dificuldades encontradas. Em especial minha tia Cecília Dias Ribeiro que sempre deixou as portas abertas da sua casa para mim.

A minha namorada Gizelle Oliveira de Souza que sempre me incentivou a lutar pelos meus sonhos e acreditou na minha capacidade para superar os obstáculos.

A minha orientadora Professora Dra. Vanessa Nascimento dos Santos pelas contribuições e ensinamentos para a construção deste trabalho. Obrigado pela paciência, dedicação e disponibilidade.

Ao meu coorientador Professor Dr. Éverton Leandro de França Ferreira pela colaboração, pelos ensinamentos e por toda a atenção prestada.

A Dra. Gardene Maria de Sousa – UFPI que fez a coleta e identificação dos galhos finos da *Combretum leprosum*.

A Dra. Mariana Helena Chaves responsável pelo laboratório de produtos naturais da UFPI, por fornecer o extrato da amostra e disponibilizar o laboratório para a realização da análise da atividade antioxidante.

Aos docentes da UNIVASF – Campus Serra da Capivara que contribuíram para o meu desenvolvimento acadêmico e crescimento pessoal.

A todos os colegas que fizeram parte da minha trajetória.

E a todas as pessoas que direta e indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

“A educação é o nosso passaporte para o futuro, pois o amanhã pertence as pessoas que se preparam hoje”.

(Malcolm X)

RESUMO

A família *Combretaceae* possui dois gêneros de plantas mais comuns nativos do Brasil que são *Combretum* e *Terminalia*. Dentre as várias propriedades apresentadas por esses gêneros, a atividade antioxidante tem ganhado importância, porque diminui significativamente a taxa de oxidação, por um ou mais mecanismos. Atualmente, os extratos vegetais que possuem atividade antioxidante vêm sendo estudados como inibidores de corrosão alternativos, pois apresentam características interessantes como abundância, baixo custo e baixa toxicidade. O objetivo geral deste trabalho é analisar a capacidade antioxidante da planta de espécie *Combretum leprosum*, bem como, verificar seu potencial como inibidor de corrosão. Primeiramente, foram realizadas a coleta e identificação dos galhos finos da *Combretum leprosum*. Para a extração etanólica, os galhos finos da planta foram secos, moídos e extraídos com solvente por maceração. O solvente foi removido por rotaevaporação e liofilizado. Para avaliar a atividade antioxidante foram feitas medidas em espectrofotômetro UV-Vis, por meio da captura do radical livre DPPH, dispendo como controles positivos: Rutina e BHT. Para verificar a inibição de corrosão foram realizados ensaios de perda de massa na ausência e na presença do extrato, utilizando como corpos de prova o aço carbono AISI 1020 em meio ácido, básico e neutro. O extrato apresentou para a atividade antioxidante os percentuais de 89,40% ± 3,00 / 91,36% ± 0,41 / 99,90% ± 0,07 nas concentrações de 150, 200 e 250 µg/mL respectivamente, percentuais que foram superiores aos do BHT e semelhantes aos da Rutina. Apresentou também boa inibição de corrosão para o aço carbono nos três meios corrosivos. As análises realizadas em meio ácido na presença do inibidor na concentração de 400 µg/mL alcançou os melhores resultados em comparação com a solução sem o extrato, tendo uma diminuição da taxa de corrosão de 5,90 mm/ano na ausência do extrato, para 0,976 mm/ano na presença de 400 µg/mL de extrato no tempo de imersão de 24 horas, atingindo eficiência de inibição de 83%. Conclui-se que o extrato etanólico dos galhos finos da *Combretum leprosum* apresentou boa capacidade antioxidante e anticorrosiva, apresentando potencial para ser usado como inibidor de corrosão natural para materiais de aço carbono em meios ácidos, básicos e neutros. Por se tratar de um produto natural, destaca-se quanto aos benefícios econômicos e ecológicos que apresenta quando comparado aos inibidores sintéticos utilizados atualmente.

Palavras-chave: *Combretum leprosum*. Atividade antioxidante. Inibidor de corrosão. Aço carbono.

ABSTRACT

Combretaceae family has two most common plant genera native from Brazil which are *Combretum* and *Terminalia*. Among various properties presented by these genera, antioxidant activity has gained importance, because it significantly decreases oxidation rate, by one or more mechanisms. Currently, plant extracts that have antioxidant activity have been studied as alternative corrosion inhibitors, as they have interesting characteristics such as abundance, low cost and low toxicity. The general aim of this work is to analyze antioxidant capacity of plant species *Combretum leprosum*, as well as to verify its potential as a corrosion inhibitor. First, the collection and identification of the fine branches of *Combretum leprosum* was carried out. For ethanolic extraction, the thin branches of plant were dried, ground and extracted with solvent by maceration. Solvent was removed by rotary evaporation and lyophilized. To evaluate antioxidant activity, measurements were made in a UV-Vis spectrophotometer, through DPPH free radical capture, having as positive controls: Rutin and BHT. To verify corrosion inhibition, mass loss tests were carried out in absence and presence of extract, using AISI 1020 carbon steel as test specimens in acidic, basic and neutral medium. The extract presented for antioxidant activity the percentages of $89.40\% \pm 3.00$ / $91.36\% \pm 0.41$ / $99.90\% \pm 0.07$ in concentrations of 150, 200 and 250 $\mu\text{g/mL}$ respectively, percentages which were superior to those of BHT and similar to those of Rutin. It also showed good corrosion inhibition for carbon steel in the three corrosive media. Analyzes carried out in an acid medium in presence of inhibitor at 400 $\mu\text{g/mL}$ concentration achieved the best results compared to solution in absence extract, with decrease in corrosion rate of 5.90 mm/year in absence of the extract, for 0.976 mm/year in presence of 400 $\mu\text{g/mL}$ of extract in 24 hours immersion time, reaching inhibition efficiency of 83%. It was concluded that ethanolic extract of *Combretum leprosum* thin branches demonstrated good antioxidant and anticorrosive properties, showing potential to be used as a natural corrosion inhibitor for carbon steel materials in acidic, basic and neutral media. As it is a natural product, it stands out for its economic and ecological benefits when compared to synthetic inhibitors currently used.

Key-words: *Combretum leprosum*. Antioxidant activity. Corrosion inhibitor. Carbon steel.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – <i>Combretum leprosum</i> (Mofumbo), planta inteira (A) e galhos finos (B) ..	17
Figura 2 – Estrutura do triterpeno TTHL.....	18
Figura 3 – Estrutura do radical livre DPPH.....	19
Figura 4 – Mecanismo de reação entre o radical DPPH e um antioxidante através da transferência de um átomo de hidrogênio	20
Figura 5 – Formas de corrosão uniforme, por placas, puntiforme ou por pites.....	22
Figura 6 – Estrutura dos controles BHT (1) e Rutina (2)	28
Figura 7 – Estrutura da (-)-epicatequina (3) isolada da <i>Combretum leprosum</i>	33
Figura 8 – Ensaio de perda de massa para o aço carbono 1020 em meio ácido, na ausência (A) e na presença de 400 µg/mL (B) de extrato da <i>Combretum leprosum</i> durante as 24 horas de imersão.....	34
Figura 9 – Ensaio de perda de massa para o aço carbono 1020 em meio básico, na ausência (A) e na presença de 600 µg/mL (B) de extrato da <i>Combretum leprosum</i> durante de 72 horas de imersão.....	35
Figura 10 – Corpos de prova submetidos ao ensaio de perda de massa em meio básico, na ausência de extrato, após o tempo de imersão de 72 horas e ainda não decapados com solução de Clark	37
Figura 11 – Ensaio de perda de massa para o aço carbono 1020 em meio neutro, na ausência de extrato no início (A) e ao final das 72 h de imersão (B), na presença de 600 µg/mL de extrato da <i>Combretum leprosum</i> no início (C) e ao final das 72 h de imersão (D).....	39

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** – Percentuais de atividade antioxidante (%AA) do extrato etanólico dos galhos finos da *Combretum leprosum*, da Rutina e do BHT.32
- Tabela 2** – Dados de perda de massa para o aço carbono 1020 em solução ácida de HCl 0,5 mol/L, na ausência (branco) e na presença do extrato nas concentrações 400, 600 e 1000 µg/mL, depois de 24 e 72 horas de imersão35
- Tabela 3** – Dados de perda de massa para o aço carbono 1020 em solução básica de NaOH 0,5 mol/L, na ausência (branco) e na presença do extrato nas concentrações 400, 600 e 1000 µg/mL, depois de 24 e 72 horas de imersão38
- Tabela 4** – Dados de perda de massa para o aço carbono 1020 em solução neutra de NaCl 3,5% m/v, na ausência (branco) e na presença do extrato nas concentrações 400, 600 e 1000 µg/mL, depois de 24 e 72 horas de imersão41
- Tabela 5** – Comparação entre os resultados dos produtos naturais estudados na literatura com os obtidos para a *Combretum leprosum* para o aço carbono 1020 em solução ácida42
- Tabela 6** – Comparação dos resultados de alguns trabalhos da literatura que empregaram produtos naturais como inibidores de corrosão para o aço carbono 1020 em meio neutro com os obtidos para a *Combretum leprosum*.....43
- Tabela 7** – Comparação dos resultados de eficiência de inibição das cascas de laranja com a *Combretum leprosum* para o aço carbono 1020 em solução básica.....44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABTS	2,2-azino-bis 3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico
APNE	Associação Plantas do Nordeste
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
BHT	3,5-di-terc-butil-4-hidroxitolueno
CNIP	Centro Nordestino de Informações sobre Plantas
DPPH	2,2-difenil-1-picril-hidrazil
EIE	Espectroscopia de Impedância Eletroquímica
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
PP	Curvas de Polarização Potenciodinâmica
RMN ¹ H	Espectroscopia de Ressonância Magnética Nuclear de Hidrogênio
Rutina	3,3',4',5,7-pentahidroxi-flavona-3-rutinosídeo
TTHL	3 β ,6 β ,16 β -trihidroxilup-20(29)-eno
UFPI	Universidade Federal do Piauí
UNIVASF	Universidade Federal do Vale do São Francisco
UV-Vis	Ultravioleta e Visível
W _{corr}	Taxa de corrosão
% AA	Percentuais de atividade antioxidante

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	16
2.1 OBJETIVO GERAL	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3 FUNDAMENTOS TEÓRICOS	17
3.1 A FAMÍLIA <i>COMBRETACEAE</i> COM ÊNFASE NO GÊNERO <i>COMBRETUM</i>	17
3.2 ATIVIDADE ANTIOXIDANTE	18
3.3 CORROSÃO DO AÇO CARBONO	20
3.4 INIBIDORES DE CORROSÃO	22
3.5 O PROBLEMA DOS INIBIDORES DE CORROSÃO SINTÉTICOS	23
3.6 INIBIDORES DE CORROSÃO NATURAIS.....	24
4 METODOLOGIA	27
4.1 TIPO DE PESQUISA.....	27
4.2 COLETA DE MATERIAL VEGETAL.....	27
4.3 OBTENÇÃO DO EXTRATO ETANÓLICO	27
4.4 AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE	28
4.5 ENSAIOS DE INIBIÇÃO DE CORROSÃO	30
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
5.1 RESULTADOS DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DO EXTRATO ETANÓLICO DA <i>Combretum leprosum</i>	32
5.2 RESULTADOS DOS ENSAIOS DE INIBIÇÃO DE CORROSÃO DO EXTRATO ETANÓLICO DA <i>Combretum leprosum</i> EM MEIO ÁCIDO	33
5.3 RESULTADOS DOS ENSAIOS DE INIBIÇÃO DE CORROSÃO DO EXTRATO ETANÓLICO DA <i>Combretum leprosum</i> EM MEIO BÁSICO	36
5.4 RESULTADOS DOS ENSAIOS DE INIBIÇÃO DE CORROSÃO DO EXTRATO ETANÓLICO DA <i>Combretum leprosum</i> EM MEIO NEUTRO.....	39

5.5 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DE EFICIÊNCIA DE INIBIÇÃO DE PRODUTOS NATURAIS ESTUDADOS NA LITERATURA COM O EXTRATO ETANÓLICO DA <i>Combretum leprosum</i>	42
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	47
REFERÊNCIAS.....	48

1 INTRODUÇÃO

As plantas são muito utilizadas na medicina popular, visto que, a maior parte delas se destaca como uma importante fonte de agentes medicinais (BRAZ FILHO, 2010). A flora do cerrado ainda possui diversas espécies que não tem estudos físico-químicos em relação aos seus possíveis compostos bioativos (MENEZES FILHO et al., 2018). A maior parte do cerrado encontrado no Nordeste do Brasil, se concentra nos estados do Piauí e Maranhão, o equivalente a 14% da área total dessa região (CASTRO et al., 2007). Estudos apontam que a família *Combretaceae*, está entre as cinco maiores em número de espécies no Piauí (FARIAS et al., 2014).

Os dois gêneros mais comuns nativos do Brasil da família *Combretaceae*, são *Combretum* e *Terminalia*. O gênero *Combretum*, é o maior da família, compreendendo 370 espécies, amplamente utilizadas para fins medicinais (FARIAS et al., 2014).

Entre as várias propriedades farmacológicas apresentadas pelos metabólitos secundários, que são compostos orgânicos como ácidos orgânicos, saponinas, antraquinonas, flavonoides, alcaloides, óleos essenciais entre outros, a atividade antioxidante tem ganhado importância, uma vez que a presença de espécies antioxidantes, mesmo em baixa concentração em relação ao substrato oxidável, diminui significativamente a taxa de oxidação, por um ou mais mecanismos (ALVES et al., 2010). Em geral, os compostos fenólicos, por possuírem um grande número de hidroxilas e um sistema aromático às vezes conjugado a ligações duplas ou a grupos funcionais como carbonilas de cetonas, que promovem doação de prótons e elétrons na presença de radicais livres. Especialmente, os flavonoides, por serem poderosos antioxidantes, agem de forma mais eficaz que as vitaminas C e E para capturar os radicais livres (CARVALHO et al., 2018).

A corrosão de metais é um processo espontâneo indesejável, portanto, formas de reduzi-la ou evitá-la são bastante estudadas. Atualmente, os extratos vegetais que possuem atividade antioxidante vêm sendo estudados como inibidores de corrosão alternativos, pois apresentam características interessantes como abundância, baixo custo e baixa toxicidade (ROCHA; GOMES, 2017). O uso de inibidores de corrosão se destaca entre as diversas formas de prevenção e controle da corrosão, por sua praticidade e eficiência de aplicação. As substâncias inibidoras de corrosão são adicionadas em pequenas quantidades ao meio corrosivo e atuam prevenindo ou reduzindo a reação entre o metal e o meio. Muitas das substâncias inibidoras de alta

eficiência apresentam desvantagens como toxicidade, baixa disponibilidade e alto custo. São essas desvantagens que motivam o estudo das propriedades de inibição de corrosão de extratos vegetais (ROCHA; GOMES, 2017).

Assim, levando em conta essa vasta biodiversidade do cerrado e a necessidade de descobrir novas moléculas bioativas, é de grande importância o estudo químico e farmacológico da flora do cerrado nordestino. Os compostos antioxidantes obtidos de extratos de plantas também podem ser usados como inibidores de corrosão, porque são amplamente disponíveis, além de reduzirem a taxa de corrosão de metais. A avaliação do potencial desses extratos aplicados como inibidores de corrosão pode ser realizada a partir de ensaios de perda de massa.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é analisar a capacidade antioxidante da planta de espécie *Combretum leprosum*, bem como, verificar seu potencial como inibidor de corrosão.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar a coleta e identificação dos galhos finos da planta *Combretum leprosum*;
- Obter o extrato etanólico dos galhos finos da planta;
- Determinar a capacidade antioxidante do extrato etanólico;
- Estudar o extrato etanólico por meio de ensaios de inibição de corrosão.

3 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

3.1 A FAMÍLIA *COMBRETACEAE* COM ÊNFASE NO GÊNERO *COMBRETUM*

A família *Combretaceae* possui cerca de 20 gêneros e 500 espécies, com distribuição tropical, presente em ambientes quentes de todos os continentes. No Brasil ela possui seis gêneros e cerca de 60 espécies. Os dois gêneros mais comuns nativos do Brasil nesta família são *Combretum* e *Terminalia* (FARIAS et al., 2014). O gênero *Combretum*, nativo do nordeste do Brasil, é o maior da família, possuindo cerca de 370 espécies que são muito utilizadas na medicina (FARIAS et al., 2014).

Estudos envolvendo espécies do gênero *Combretum* permitiram isolar e identificar diversos compostos com propriedades biológicas conhecidas, tais como taninos, flavonóides, saponinas, cumarinas, triterpenos, derivados do ácido elágico, glicosídeos antracênicos e de fenantreno. Esses compostos estão normalmente associados a várias propriedades biológicas comprovadas em pesquisa (FYHRQUIST, 2007).

A *Combretum leprosum* é uma espécie que pode ser encontrada nos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, bem como no norte e nordeste do Brasil (MARINHO et al., 2002; CHAVES et al., 2007). Ela é conhecida pelos nomes populares de mofumbo, cipoaba e carne-de-vaca, sendo bastante utilizada como planta medicinal empregada na prevenção de irritações cutâneas, como cicatrizante e sedativo (PIETROVSKI et al., 2006). A imagem da espécie *Combretum leprosum* está ilustrada na Figura 1, com destaque para os galhos finos, parte utilizada nesse trabalho.

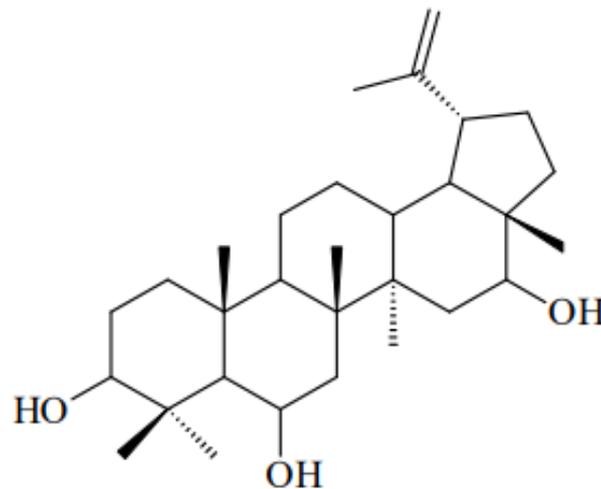
Figura 1 – *Combretum leprosum* (Mofumbo), planta inteira (A) e galhos finos (B)



Fonte: CNIP/APNE

De acordo com Facundo e colaboradores (2005), a partir das folhas e raízes da *Combretum leprosum* foram isolados o ácido arjunólico, ácido móllico, ácidos graxos, o triterpeno 3 β ,6 β ,16 β -trihidroxilup-20(29)-eno (TTHL), flavonóides glicosilados 3-O-metilquercetina e quercetina. A estrutura do triterpeno TTHL está apresentada na Figura 2.

Figura 2 – Estrutura do triterpeno TTHL



Fonte: Facundo et al. (2005)

As análises realizadas do extrato etanólico das suas folhas demonstraram que os principais componentes são os monossacarídeos (80%), os triterpenos (10%), os oligossacarídeos (5%) e ácidos graxos (3%) (FACUNDO et al., 2005).

Estudos realizados com o extrato etanólico da *Combretum leprosum* e com os compostos isolados como o triterpeno TTHL (Figura 2) e ácido arjunólico obtidos de diferentes partes da planta, apresentaram propriedades anti-inflamatórias, antimicrobianas, antinociceptivas e antioxidante (FACUNDO et al., 2005; EVARISTO et al., 2014, 2017; PIETROVSKI et al., 2006; AYRES, 2008).

3.2 ATIVIDADE ANTIOXIDANTE

Os antioxidantes podem ser determinados, de forma geral, como substâncias que retardam de forma significativa a oxidação do substrato, mesmo presentes em baixas concentrações quando comparadas com as de substrato oxidável (SOUSA et al., 2007).

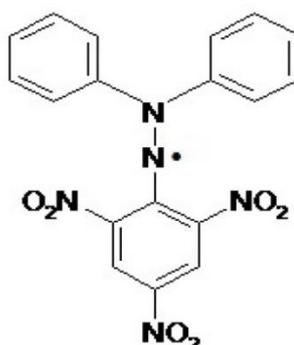
Entre as diferentes classes de substâncias que possuem atividade antioxidante, os compostos fenólicos têm recebido muita atenção ultimamente. A estrutura química e propriedades redutoras dessas substâncias são as principais responsáveis pela atividade antioxidante que apresentam. Essas características desempenham um papel importante no sequestro de radicais livres e quelação de metais de transição, atuando tanto na etapa inicial, quanto no processo oxidativo (SOUSA et al., 2007).

Na indústria de alimentos, a oxidação lipídica é inibida por sequestradores de radicais livres. Um dos compostos mais utilizados com esta função é o butil-hidroxi-tolueno (BHT). Estudos têm apontado a possibilidade desses antioxidantes apresentarem alguns efeitos tóxicos, tais como reações alérgicas e aumento de colesterol (SOUSA et al., 2007).

Diante desses problemas que podem ser provocados pelo consumo de antioxidantes sintéticos, pesquisadores têm buscado encontrar produtos naturais que possuam atividade antioxidante a fim de substituir os sintéticos (SOUSA et al., 2007). Existem vários métodos para avaliar a atividade antioxidante de substâncias biologicamente ativas, envolvendo desde ensaios químicos com substratos lipídicos a ensaios mais complexos usando técnicas mais instrumentais (ALVES, 2010).

Um dos métodos mais utilizados para determinar a capacidade antioxidante é pelo método de captura do radical orgânico 2,2-azino-bis 3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico (ABTS) ou do 2,2-difenil-1-picril-hidrazil (DPPH). O método DPPH é baseado na captura do radical livre DPPH por antioxidantes, onde é produzido um decréscimo da absorvância a 515 nm (BRAND-WILLIAMS; CUVELIER; BERSET, 1995; RUFINO et al., 2007). A estrutura do radical livre DPPH está apresentada na Figura 3.

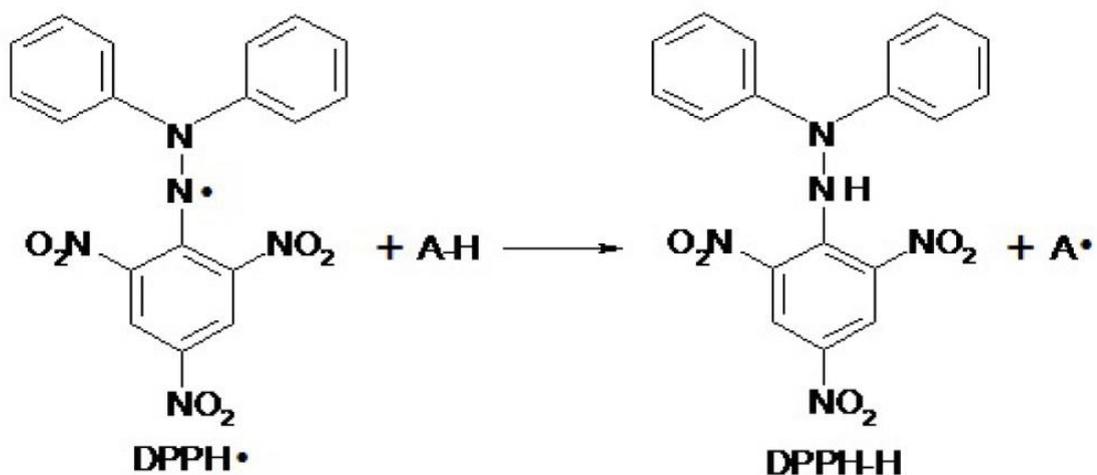
Figura 3 – Estrutura do radical livre DPPH



Fonte: Oliveira (2015)

Existem dois tipos de mecanismo de reação que ocorrem na determinação da capacidade antioxidante desse método, onde acontece a redução do radical. Um mecanismo é baseado na transferência de elétrons e o outro na transferência de um átomo de hidrogênio (OLIVEIRA, 2015). A reação por meio do mecanismo da transferência de um átomo de hidrogênio encontra-se ilustrada na Figura 4.

Figura 4 – Mecanismo de reação entre o radical DPPH e um antioxidante através da transferência de um átomo de hidrogênio



Fonte: Oliveira (2015)

O DPPH possui uma cor violeta ou roxo em solução de etanol ou metanol, com absorção a 515-520 nm. A substância antioxidante transfere um elétron ou um átomo de hidrogênio para a molécula de DPPH, que se torna estável diamagnético, originando a forma reduzida DPPH-H, mudando de cor para amarelo ou violeta claro. Essa mudança de cor resulta na diminuição da absorbância do radical DPPH, que pode ser monitorada por um espectrofotômetro ultravioleta e visível (UV-Vis) para a determinação capacidade antioxidante (OLIVEIRA, 2015).

3.3 CORROSÃO DO AÇO CARBONO

A corrosão pode ser definida como um processo de deterioração de um material. De forma geral, nos metais esse processo pode ser químico ou eletroquímico por ação do meio ambiente, podendo ser associado a esforços mecânicos ou não. Essa deterioração ocasionada pela interação físico-química entre o material e o seu

meio operacional, acaba resultando em alterações prejudiciais indesejáveis sofridas pelo material, tornando-o inadequado para ser utilizado (GENTIL, 2011).

A corrosão causa prejuízos em diversos países, sendo que no Brasil estima-se que esses prejuízos ultrapassem os 30 bilhões de dólares por ano (RIEDER et al., 2009). Assim, estudar a causa da corrosão, sua velocidade e os mecanismos que estão envolvidos nos diferentes sistemas metal-meio ambiente, são importantes para buscar formas de aumentar a vida útil desses materiais (RIEDER et al., 2009).

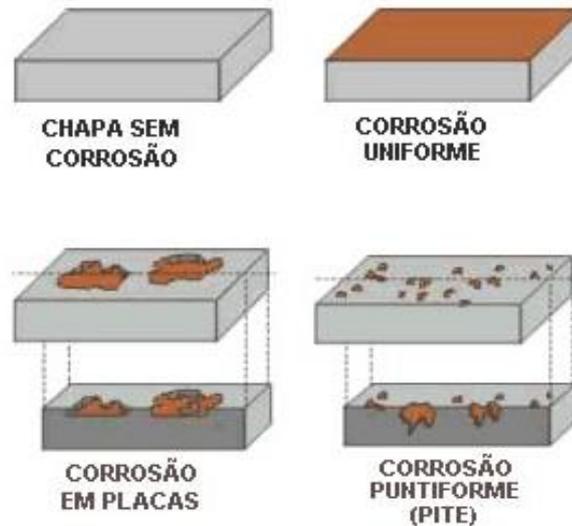
Existem vários tipos de corrosão que podem ser apresentadas levando em consideração a aparência, a forma de ataque, as diferentes causas e mecanismos. A caracterização da forma da corrosão permite o esclarecimento e auxilia na aplicação de medidas adequadas para a sua proteção (GENTIL, 2011). A corrosão pode ocorrer de várias maneiras e a classificação pode ser feita com base na aparência do metal corroído.

As formas mais comuns de corrosão que afetam o aço carbono, que é uma liga metálica que dispõe de 0,008% a 2,11% de concentração de carbono em sua composição, são: a corrosão uniforme, que se processa em toda a extensão da superfície, ocorrendo perda uniforme da espessura; a corrosão por placas, que se localiza em regiões da superfície metálica e não em toda sua extensão, formando placas com escavações; a corrosão puntiforme ou por pites, que se processa em pontos ou pequenas áreas localizadas na superfície metálica, produzindo pites que são cavidades que apresentam o fundo em forma angulosa e profundidade geralmente maior que seu diâmetro (GENTIL, 2011). As formas de corrosão uniforme, por placas, puntiforme ou por pites estão ilustradas de forma esquemática na Figura 5.

Os principais meios corrosivos envolvem atmosfera, águas naturais, água do mar e solo (GENTIL, 2011). A corrosão mais comum é a que ocorre em meios aquosos, visto que, a maior parte dos fenômenos de corrosão acontecem no meio ambiente, onde a água é o principal solvente (WOLYNEC, 2003 apud ROCHA, 2013).

O aço carbono é um material que possui o custo mais baixo, maior resistência e maior facilidade de fabricação, se comparado com outras ligas metálicas, o que faz deste material o mais escolhido industrialmente. (ROMUALDO, 2012).

Figura 5 – Formas de corrosão uniforme, por placas, puntiforme ou por pites.



Fonte: Adaptação de Gentil (2011)

Em meio ácido, a corrosão do aço carbono, que ocorre na superfície, se dá por meio da oxidação do ferro metálico (Fe), principal constituinte do aço carbono, formando o íon ferro II (Fe^{2+}), e da redução dos íons hidrogênio (H^+) da solução formando o gás hidrogênio (H_2), que pode ser observado pela formação de bolhas na superfície do metal (ROCHA, 2013; GENTIL, 2011). Já a corrosão do aço carbono em meio básico e neutro, se dá por meio da oxidação do Fe na presença de água e oxigênio (O_2), juntamente com a redução do O_2 , formando o hidróxido de ferro II ($\text{Fe}(\text{OH})_2$). Entretanto, em meio neutro, o oxigênio reage rapidamente com o $\text{Fe}(\text{OH})_2$ formando óxido de ferro III hidratado ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$), conhecido como ferrugem (ROCHA, 2013).

Na indústria, a água é muito utilizada em sistemas de refrigeração ou de formação de vapor. Nesses sistemas seu uso é importante e muito frequente, portanto, devem ser consideradas as possibilidades de corrosão dos equipamentos, como trocadores de calor ou permutadores de calor, onde as trocas térmicas ocorrem (ROCHA, 2013). Com isso, inibidores de corrosão têm sido amplamente empregados nos últimos anos em sistemas de refrigeração com água (ROCHA, 2013).

3.4 INIBIDORES DE CORROSÃO

Os inibidores de corrosão são compostos químicos, geralmente utilizados em baixa concentração na presença de um metal, que está em contato com um ambiente

suscetível à corrosão. A presença desses compostos diminui o processo de corrosão, e preserva a taxa de corrosão em valores baixos, e conseqüentemente, previne perdas econômicas por causa da corrosão metálica (ROCHA, 2013). Podem ser utilizados em sistemas de resfriamento de água, na indústria química e petroquímica, em tintas e revestimentos, na construção civil, entre outros (VESPA, 2017).

Ao serem adicionados no meio corrosivo, podem atuar evitando ou diminuindo o desenvolvimento das reações de corrosão. Os inibidores normalmente são adsorvidos na superfície metálica, formando um filme ou camada muito fina e persistente, diminuindo dessa forma a taxa de corrosão, devido ao abrandamento das reações anódicas, catódicas ou ambas (ALMEIDA, 2017).

Os inibidores de corrosão que atuam impedindo ou diminuindo as reações anódicas são chamados de inibidores anódicos. De modo geral eles funcionam reagindo com o produto da corrosão inicialmente formado, provocando a formação de um filme ou camada aderente e insolúvel na superfície do metal (GENTIL, 2011).

Já os inibidores que impedem ou diminuem as reações catódicas são chamados de inibidores catódicos, eles inibem a formação do H_2 em soluções ácidas ou a redução do O_2 dissolvido em soluções neutras e básicas (GENTIL, 2011).

Os inibidores que atuam em ambas as reações anódicas e catódicas, são os inibidores de adsorção, que funcionam como películas protetoras. Algumas substâncias têm a capacidade de formar uma película sobre as áreas anódica e catódica interferindo na reação eletroquímica. Nessa classe de inibidores estão as substâncias orgânicas com grupos polares, substâncias com a presença de átomos de oxigênio, nitrogênio ou enxofre (GENTIL, 2011).

3.5 O PROBLEMA DOS INIBIDORES DE CORROSÃO SINTÉTICOS

Dentro do contexto já apresentado, torna-se essencial utilizar inibidores de corrosão para a proteção contra os processos corrosivos. Porém, muitos dos inibidores são extremamente tóxicos, prejudiciais à saúde humana e ao meio ambiente (PANOSSIAN; ALMEIDA, 2008 apud KODAMA; HOTSUMI, 2011). Do ponto de vista da história, destaca-se a época em que eram utilizados inibidores de corrosão que continham sais de arsênio, cromatos e dicromatos, considerados inibidores sintéticos, que causavam grande geração de resíduos. Desse modo, foram necessários novos conceitos que envolvessem uma produção de forma mais limpa,

que promovessem um desenvolvimento autossustentável, e estivessem de acordo com a Química Verde (SILVA, 2022).

Na literatura são encontradas várias substâncias consagradas como inibidores de corrosão para os diferentes tipos de metais e meios, mas a maioria são inibidores sintéticos que possuem alto grau de toxicidade e causam grande preocupação em buscar alternativas que minimizem os efeitos nocivos gerados pelo seu uso. Dessa forma, tem se procurado inibidores de corrosão não tóxicos e obtidos por tecnologias limpas. (PANOSSIAN; ALMEIDA, 2008 apud KODAMA; HOTSUMI, 2011).

Devido a essa preocupação ambiental e aos protocolos rigorosos que vem crescendo cada vez mais a nível mundial, não está mais sendo permitido o uso de inibidores de corrosão sintéticos (VERMA et al., 2017 apud QUADROS, 2019). Dessa forma a busca por inibidores de corrosão verdes aumentou nos últimos anos, o que poderia funcionar como uma finalidade a resíduos agroindustriais, que podem ser investigados para esta aplicabilidade. (QUADROS, 2019).

3.6 INIBIDORES DE CORROSÃO NATURAIS

Há grande interesse hoje em dia, em pesquisar inibidores de corrosão provenientes de extratos vegetais que possuem atividade antioxidante, pois esses inibidores de corrosão alternativos possuem características interessantes como abundância, baixo custo e baixa toxicidade, conforme já citado (ROCHA; GOMES, 2017).

Os pesquisadores vêm estudando extratos de plantas e subprodutos industriais de frutas como inibidores de corrosão em diferentes materiais e nos meios ácidos, básicos e neutros. A avaliação de desempenho é feita por meio de ensaios de perda de massa e técnicas eletroquímicas, como curvas de Polarização Potenciodinâmica (PP) e Espectroscopia de Impedância Eletroquímica (EIE) (ROCHA, 2013).

A aplicação de inibidores de corrosão provenientes de extratos naturais é classificada como próspera e sustentável. É possível serem utilizadas diversas partes das plantas como caules, folhas, sementes, raízes, dentre outras. Podem ser aplicadas diferentes metodologias na extração com o propósito de obter frações ricas em alcaloides, aminoácidos e compostos fenólicos (SILVA, 2022).

Ferreira e colaboradores (2018) estudaram como inibidor natural o extrato aquoso de sementes de mamão formosa na corrosão do aço carbono, em meio ácido. A extração utilizada pelos autores foi realizada por maceração com água destilada a 100 °C. Os ensaios foram realizados em solução de ácido clorídrico (HCl) 0,5 mol/L, no tempo de imersão de 48 horas. Os métodos avaliativos que os autores utilizaram foram os ensaios de perda de massa, PP e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Os pesquisadores concluíram que a ação inibidora do extrato foi comprovada pela diminuição do ataque corrosivo da superfície metálica do corpo de prova.

Rocha e Gomes (2017) avaliaram a eficiência de inibição na corrosão do aço carbono a partir de resíduos industriais, como a casca de laranja, a casca de manga, a casca de maracujá e o bagaço de uva, em meio ácido e neutro. Os extratos foram obtidos por infusão aquosa e também por extração hidroalcolica. Os ensaios foram realizados em solução de HCl 1,0 mol/L, e em solução com elevada concentração de cloreto (1050 mg/L) e cálcio (450 mg/L), nos tempos de imersão de 24 e 72 horas. Ensaios de perda de massa e MEV foram utilizados para avaliação da inibição corrosiva. Os autores constataram que os resíduos da indústria alimentícia podem ser usados como potenciais inibidores de corrosão e que os inibidores estudados são mais efetivos em meio ácido.

As folhas da *Camellia sinensis*, planta utilizada para fazer chá branco, foram estudadas por Teixeira e colaboradores (2015) como inibidoras de corrosão para o aço carbono em meio ácido. Os autores obtiveram os extratos por infusão aquosa e utilizaram como meio corrosivo a solução de HCl 1,0 mol/L, no tempo de imersão de 2 horas. Foram utilizados como métodos de análise ensaios de perda de massa, EIE e MEV. Para identificar os possíveis responsáveis pela inibição de corrosão, foi feita uma análise química do extrato por meio da Espectroscopia de Ressonância Magnética Nuclear de Hidrogênio (RMN ¹H). Os pesquisadores concluíram que o extrato aquoso da *Camellia sinensis* demonstrou ser um efetivo inibidor de corrosão. Com a análise química foi possível identificar a presença de flavonoides, por exemplo epicatequina e cafeína, como principais componentes.

A planta *Talinum triangulare*, conhecida como cariru, foi analisada como inibidor de corrosão para o aço carbono por Albuquerque, Oliveira e Echevarria (2015), em meio ácido. Os extratos foram obtidos por maceração com acetato de etila e os ensaios foram realizados em solução de HCl 1,0 mol/L, no tempo de imersão de 4 horas. Os métodos avaliativos utilizados foram ensaios de perda de massa, PP e

EIE. Os autores verificaram que o extrato em acetato de etila das folhas da espécie *Talinum triangulare* apresentou bom potencial como inibidor de corrosão.

Carvalho e colaboradores (2010) estudaram o extrato de repolho roxo como inibidor de corrosão para o aço carbono em meio neutro. Os autores obtiveram o extrato por maceração em metanol e os ensaios foram realizados com solução de cloreto de sódio (NaCl) 3% m/v, no tempo de imersão de 31 dias. O estudo foi realizado a partir de ensaios de perda de massa, PP e MEV. Os resultados revelaram que o extrato de repolho roxo pode inibir a corrosão do aço ao carbono nas condições estudadas.

As cascas de laranja também foram estudadas por Bezerra (2022) como inibidoras de corrosão, mas diferente de outros estudos, a autora avaliou sua inibição também em meio básico. O extrato foi obtido por infusão aquosa e os ensaios referentes ao meio básico foram realizados em solução de hipoclorito de sódio (NaClO) 1,0 mol/L, no tempo de imersão de 31 dias. Foram realizados ensaios de perda de massa como método avaliativo da inibição. A autora concluiu que o extrato demonstrou ser um possível inibidor em meio básico, mas que o corpo de prova teve pouca modificação do seu peso original, por conta desse meio ser menos corrosivo.

4 METODOLOGIA

4.1 TIPO DE PESQUISA

Esta pesquisa possui uma abordagem quantitativa, em modalidade de pesquisa experimental (MARCONI; LAKATOS, 2002), realizada em duas etapas.

A primeira etapa de avaliação da atividade antioxidante foi realizada em Teresina-PI, em parceria com a Universidade Federal do Piauí (UFPI) – Campus Ministro Petrônio Portella, que possui laboratórios com os equipamentos necessários para esta análise.

A segunda etapa de ensaios de inibição de corrosão foi realizada no laboratório da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF) - Campus Serra da Capivara, em São Raimundo Nonato - PI, que possui a infraestrutura necessária para este estudo.

A coleta de dados foi feita a partir dos experimentos realizados e como técnica de análise foi empregada a inferência de dados (MARCONI; LAKATOS, 2002).

4.2 COLETA DE MATERIAL VEGETAL

Os galhos finos da *Combretum leprosum* foram coletados na cidade de Teresina - PI em setembro de 2006. Esta espécie foi identificada pela Dra. Gardene Maria de Souza - UFPI. O material vegetal foi armazenado no herbário Graziela Barroso - UFPI, sob o número 6216.

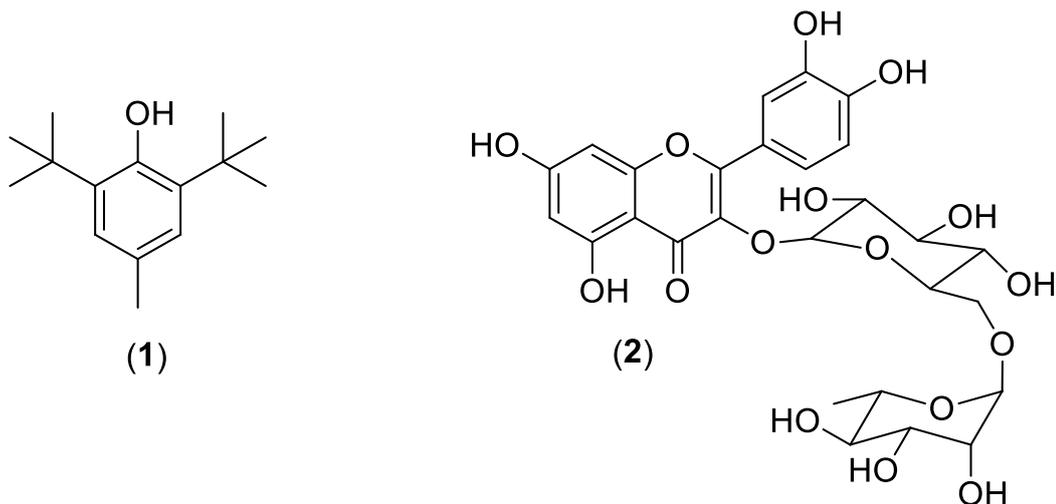
4.3 OBTENÇÃO DO EXTRATO ETANÓLICO

Os galhos finos da *Combretum leprosum* foram secos à temperatura ambiente e depois moídos em moinho de facas. Aproximadamente, 690 g de material foram obtidos. Em seguida, foram extraídos seis vezes por maceração com etanol à temperatura ambiente. Posteriormente, o solvente foi removido em rotaevaporador e liofilizado. Foram obtidos 49 g de extrato etanólico da *Combretum leprosum*. Essa extração foi realizada por pesquisadores do laboratório de produtos naturais da UFPI, sob responsabilidade da Dra. Mariana Helena Chaves.

4.4 AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE

A avaliação da atividade antioxidante do extrato etanólico foi realizada seguindo a metodologia descrita por Sousa et al. (2007). As medidas foram feitas em espectrofotômetro UV-Vis no comprimento de onda 516 nm, dispendo como controle positivo o 3,5-di-terc-butil-4-hidroxitolueno (BHT), composto antioxidante e conservante alimentício sintético, utilizado para inibir e impedir o crescimento de microrganismos e a 3,3',4',5,7-pentahidroxi flavona-3-rutinosídeo (Rutina), um flavonoide que foi inicialmente classificado como vitamina, recebendo a nomenclatura de vitamina P, sendo utilizada como antioxidante e no tratamento de doenças vasculares.

Figura 6 – Estrutura dos controles BHT (1) e Rutina (2)



Fonte: Próprio autor (2022)

Foram preparados 100 mL de solução estoque de DPPH na concentração de 40 µg/mL em metanol, a qual foi mantida sob refrigeração e protegida da luz. Diante dos valores de absorbância registrados no comprimento de onda de 516 nm de todas as soluções, contra um branco, preparou-se a curva de analítica de DPPH. As medidas de absorbância foram efetuadas em triplicata.

A atividade antioxidante do extrato foi avaliada usando-se o radical livre DPPH. Para análise foi preparada uma solução da amostra na concentração de 250 µg/mL em metanol. A solução foi diluída e obteve-se as seguintes concentrações 200, 150, 100, 50 e 25 µg/mL. Foram utilizados 0,3 mL da solução da amostra com 2,7 mL

de solução de DPPH (de concentração 40 µg/mL em metanol). Um branco foi feito nas mesmas condições, mas sem o DPPH. Após adicionar o DPPH, as soluções foram deixadas em repouso e as absorvâncias registradas no comprimento de onda de 516 nm realizadas no 1º, 5º e 10º minutos e, em seguida, a cada 10 minutos até completar uma hora de experimento (SOUSA et al., 2007).

Diante da equação da curva analítica, bem como dos valores de absorvância e concentração obtidos após uma hora de reação da amostra com DPPH, a porcentagem de sequestro do radical DPPH remanescente (%DPPH_{REM}) foi determinada, de acordo com a equação 1 a seguir (BRAND-WILLIAMS; CUVELIER; BERSET, 1995):

$$\%DPPH_{REM} = \frac{[DPPH_{T=t}]}{[DPPH_{T=0}]} \quad (1)$$

onde [DPPH]_{T=t} representa a concentração de DPPH no meio, após a reação com o extrato e o [DPPH]_{T=0} representa a concentração inicial de DPPH, ou seja, 40 µg/mL.

A concentração eficiente da amostra capaz de reduzir o DPPH em 50%, no tempo de uma hora de reação foi obtida através de uma exponencial de primeira ordem, plotando as concentrações de cada amostra versus a %DPPH_{REM}. Neste procedimento foi utilizado o programa Microcal Origin 7.5.® para os cálculos envolvendo os valores de absorvância. Foram determinados também os percentuais de atividade antioxidante (% AA) das amostras, na concentração testada, utilizando a equação 2 (SOUSA et al., 2007):

$$\% AA = 100 - \left\{ \frac{[(Abs_{amostra} - Abs_{branco}) \times 100]}{Abs_{DPPH}} \right\} \quad (2)$$

onde Abs_{DPPH} representa a absorvância inicial da solução metanólica de DPPH, Abs_{branco} corresponde a absorvância apenas do solvente metanol e Abs_{amostra} refere-se à absorvância da mistura reacional (DPPH + amostra).

Todas as análises foram realizadas em triplicata. Os valores da média de três repetições ($n = 3$) \pm desvio padrão da média foram calculados utilizando os programas Excel 2303[®] e Microcal Origin 7.5[®].

4.5 ENSAIOS DE INIBIÇÃO DE CORROSÃO

Para a avaliação da capacidade inibidora de corrosão do aço carbono em meio ácido, básico e neutro foram realizados ensaios gravimétricos de perda de massa. O extrato etanólico dos galhos finos da *Combretum leprosum* foi testado como inibidor de corrosão para o aço carbono AISI 1020 em solução ácida (HCl 0,5 mol/L), básica (NaOH 0,5 mol/L) e neutra (NaCl 3,5% m/v). Os ensaios foram realizados na ausência (branco) e presença do extrato. Para os experimentos contendo o extrato, foi pesada uma massa adequada para se atingir concentrações de 400, 600 e 1000 $\mu\text{g/mL}$, para cada solução. Todos os ensaios foram realizados com a solução não desaerada e em temperatura ambiente.

A liga utilizada como corpos de prova foi o aço carbono AISI 1020. Os corpos de prova utilizados nos ensaios de perda de massa possuem uma forma cúbica de área superficial de aproximadamente 8 a 9 cm^2 , cortados de uma mesma peça de aço carbono.

Os corpos de prova foram lixados utilizando-se lixas d'água de diferentes granulometrias: 180, 400 e 600 mesh. Após este processo, os corpos de prova foram lavados com água destilada para retirar qualquer resíduo proveniente da lixa e posteriormente com etanol e acetona, visando desengordurar a superfície metálica. Ao final, foram secos em jato de ar quente.

A massa inicial foi determinada logo após ser feita a medida da área, em balança digital marca Marte, com precisão de três casas decimais.

Após pesagem, os testes de perda de massa foram executados com corpos de prova imersos em 60 mL de solução eletrolítica de cada meio individualmente na ausência e na presença do extrato em temperatura ambiente, em concentrações de 400, 600 e 1000 $\mu\text{g/mL}$. A massa final foi obtida após ter submetido os corpos de prova por tempos de imersão de 24 e 72 horas. Ao final, os corpos de prova submetidos ao meio ácido foram lavados com água destilada, acetona, secos com jatos de ar quente e novamente pesados. Já os corpos de prova submetidos ao meio básico e neutro foram decapados em solução de Clark preparada com 1 litro de HCl

concentrado, 20 gramas de óxido de antimônio III (Sb_2O_3) e 50 gramas de cloreto de estanho II (SnCl_2) por 20 segundos. Em seguida, foram lavados com água destilada, acetona, secos com jatos de ar quente e novamente pesados. Para cada condição de tempo de imersão, foram utilizados dois corpos de prova, para posteriormente calcular a taxa de corrosão a partir da média aritmética dos dois.

As medidas de perda de massa foram obtidas segundo a norma da *American Society for Testing and Materials* (ASTM), pelo método ASTM G31-72 (1999), que padroniza a metodologia para a utilização desta técnica em laboratório. A velocidade do processo corrosivo foi expressa a partir do cálculo da taxa de corrosão (W_{corr}), em milímetros por ano (mm/ano), mediante a equação 3 (ROCHA; GOMES, 2017):

$$W_{corr} = \left(\frac{K \times M}{A \times t \times \rho} \right) \quad (3)$$

onde K representa uma constante ($8,76 \times 10^4$), M a perda de massa em g, A a área exposta em cm^2 , t o tempo de exposição em horas, e ρ a massa específica do material em g/cm^3 , sendo que para o aço carbono a massa específica é igual a $7,86 \text{ g/cm}^3$.

O cálculo das eficiências de inibição (EI%) a partir dos resultados dos ensaios de perda de massa foram obtidos de acordo com a equação 4 (ROCHA; GOMES, 2017):

$$EI\% = \left(\frac{W_{sem\ extrato} - W_{com\ extrato}}{W_{sem\ extrato}} \right) \times 100 \quad (4)$$

onde $W_{sem\ extrato}$ representa a taxa de corrosão na ausência de extrato e $W_{com\ extrato}$ representa a taxa de corrosão do ensaio de perda de massa com o extrato.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 RESULTADOS DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DO EXTRATO ETANÓLICO DA *Combretum leprosum*

A avaliação da atividade antioxidante, empregando o ensaio espectrométrico com o radical DPPH foi determinada pelos percentuais de atividade antioxidante e de DPPH remanescente, como também pelo comportamento cinético da reação do extrato etanólico dos galhos finos da *Combretum leprosum* com o DPPH. A atividade antioxidante do extrato foi avaliada nas concentrações de 250, 200, 150, 100, 50 e 25 µg/mL, utilizando como controles o BHT e a Rutina. Os percentuais de atividade antioxidante obtidos para o extrato, a Rutina e o BHT estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Percentuais de atividade antioxidante (%AA) do extrato etanólico dos galhos finos da *Combretum leprosum*, da Rutina e do BHT

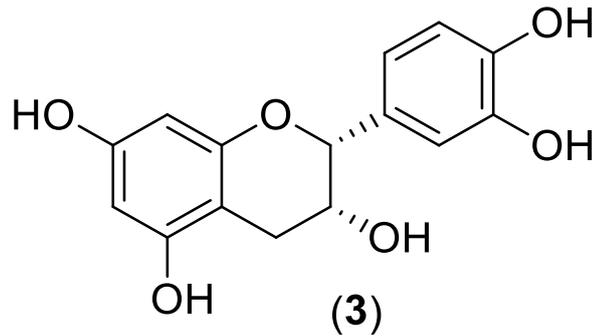
Amostra µg/mL	% AA		
	<i>Combretum leprosum</i>	Rutina	BHT
250	99,90 ± 0,07	91,44 ± 0,54	89,88 ± 0,83
200	91,36 ± 0,41	91,16 ± 0,56	83,03 ± 2,37
150	89,40 ± 3,00	90,36 ± 0,25	75,58 ± 1,84
100	89,03 ± 1,91	89,25 ± 0,25	61,02 ± 2,11
50	48,36 ± 7,36	64,34 ± 3,73	39,55 ± 3,99
25	31,50 ± 0,63	38,77 ± 2,75	25,41 ± 1,82

Fonte: Próprio autor (2022)

Pode ser observado na Tabela 1 que os percentuais de atividade antioxidante do extrato etanólico dos galhos finos da *Combretum leprosum* foram superiores aos do BHT em todas as concentrações estudadas. Enquanto que, ao comparar os valores obtidos para o extrato com os da Rutina, foi possível verificar que apenas a concentração de 250 µg/mL apresentou atividade superior e as concentrações de 200 a 100 µg/mL apresentaram resultados semelhantes.

No trabalho desenvolvido por Ayres (2008), o potencial antioxidante do extrato etanólico dos galhos finos da *Combretum leprosum* foi atribuído principalmente a presença de compostos fenólicos, em especial a compostos do grupo dos flavonóis como a (-)-epicatequina, que pode ser observada na Figura 7.

Figura 7 – Estrutura da (-)-epicatequina (3) isolada da *Combretum leprosum*



Fonte: Ayres (2008)

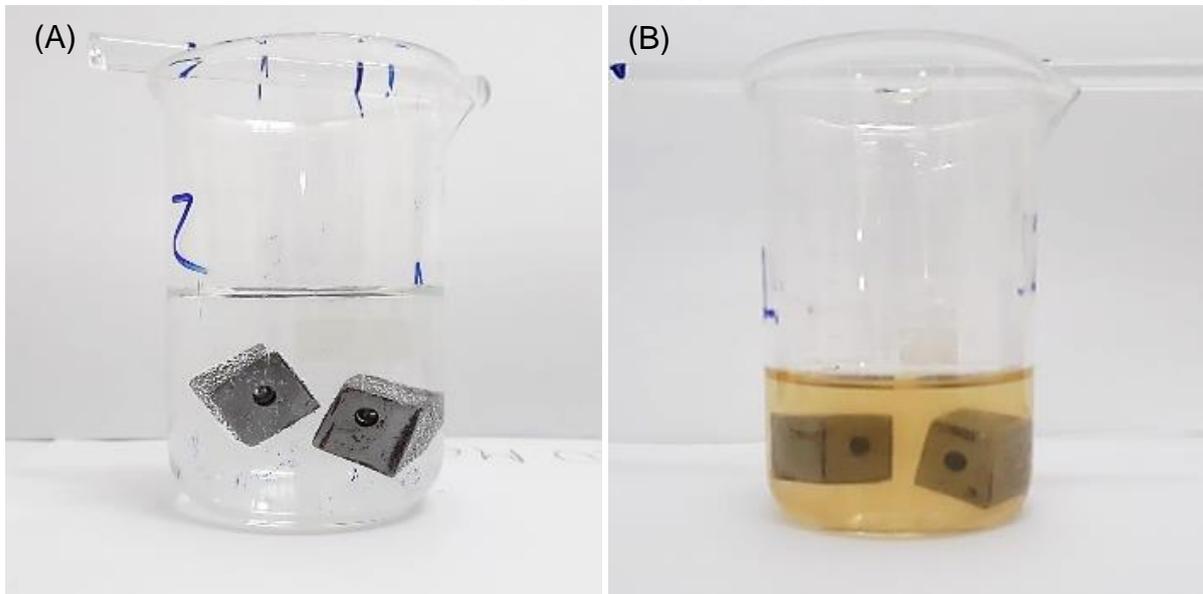
De acordo com Ayres (2008), as propriedades das catequinas têm sido bastante relatadas na literatura, demonstrando que elas são responsáveis pelos efeitos benéficos de vários alimentos e bebidas, como frutas, chás e vinhos. A catequina e a epicatequina possuem dez vezes mais capacidade em sequestrar o radical peroxila, do que o β -caroteno, o ácido ascórbico (vitamina C) e o α -tocoferol (vitamina E) (NAKAO; TAKIO; ONO, 1998; YILMAZ, 2006).

5.2 RESULTADOS DOS ENSAIOS DE INIBIÇÃO DE CORROSÃO DO EXTRATO ETANÓLICO DA *Combretum leprosum* EM MEIO ÁCIDO

A avaliação da capacidade inibidora do extrato para a corrosão do aço carbono, em meio ácido, foi realizada a partir de ensaios de perda de massa. Fotografias obtidas durante o desenvolvimento do ensaio, utilizando corpos de prova de aço carbono 1020 imersos em solução de HCl 0,5 mol/L, na ausência e na presença de extrato etanólico dos galhos finos da *Combretum leprosum*, estão apresentadas na Figura 8.

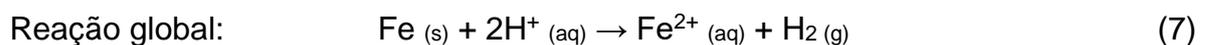
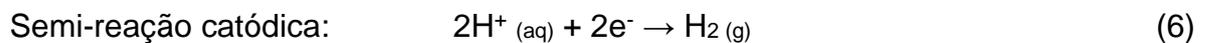
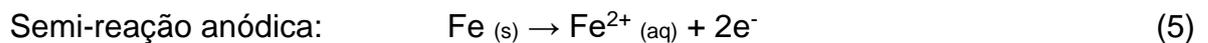
Como pode ser verificado na Figura 8, há formação bolhas sobre a superfície do aço carbono imerso na solução de ácido clorídrico, mais evidentes na Figura 8A.

Figura 8 – Ensaio de perda de massa para o aço carbono 1020 em meio ácido, na ausência (A) e na presença de 400 µg/mL (B) de extrato da *Combretum leprosum* durante as 24 horas de imersão



Fonte: Próprio autor (2022)

Segundo Gentil (2011) essas bolhas são provenientes do processo de corrosão que se desenvolve no meio. A corrosão em meio ácido, observada na Figura 8, pode ser explicada de acordo com as semi-reações de oxidação do ferro (Fe) e de redução dos íons hidrogênio (H^+), bem como pela reação global que indica a formação de gás hidrogênio como produto de corrosão. As reações mencionadas estão representadas nas equações 5, 6 e 7, respectivamente (GENTIL, 2011):



O Fe é o principal constituinte do aço carbono, o qual é oxidado formando íon Fe^{2+} , e os íons H^+ da solução ácida são reduzidos liberando as bolhas de H_2 na superfície metálica (ROCHA, 2013).

Os valores obtidos para as taxas de corrosão (W_{corr}) na ausência e na presença de extrato em meio ácido, bem como os percentuais de eficiência de inibição

do extrato nas concentrações 400, 600 e 1000 µg/mL, nos tempos de imersão de 24 e 72 horas estão listados na Tabela 2.

Tabela 2 – Dados de perda de massa para o aço carbono 1020 em solução ácida de HCl 0,5 mol/L, na ausência (branco) e na presença do extrato nas concentrações 400, 600 e 1000 µg/mL, depois de 24 e 72 horas de imersão

Tempo de imersão (horas)	Meio	W_{corr} (mm/ano)	Eficiência de inibição (%)
24	Branco	5,90	-
	400 µg/mL	0,976	83
	600 µg/mL	1,48	75
	1000 µg/mL	2,28	61
72	Branco	4,41	-
	400 µg/mL	2,59	41
	600 µg/mL	0,951	78
	1000 µg/mL	3,15	28

Fonte: Próprio autor (2022)

Pode ser constatado na Tabela 2, que a taxa de corrosão para o branco no tempo de imersão de 24 horas é maior que a no tempo de imersão de 72 horas. Isso pode ser explicado pelo consumo dos íons H⁺ da solução durante a corrosão, o que leva a um aumento no pH, que é um dos fatores que influencia na velocidade da corrosão (GENTIL, 2011). Os valores de pH medidos para as soluções ácidas utilizadas no branco foram de 0,4 após o tempo de imersão 24h, e de 0,8 após o tempo de imersão de 72h. Assim, quanto maior o pH, menor será a velocidade da corrosão e conseqüentemente, menor a taxa de corrosão (GENTIL, 2011).

As diminuições das taxas de corrosão na presença de extrato, observadas na Tabela 2, podem ser explicadas de acordo com Lima (2015) e Gentil (2011). Ambos os autores afirmam que inibidores orgânicos em meio ácido podem atuar por adsorção de moléculas polares na superfície metálica e assim retardam a reação catódica, onde ocorre a formação de gás hidrogênio, ou interferem na dissolução anódica do ferro.

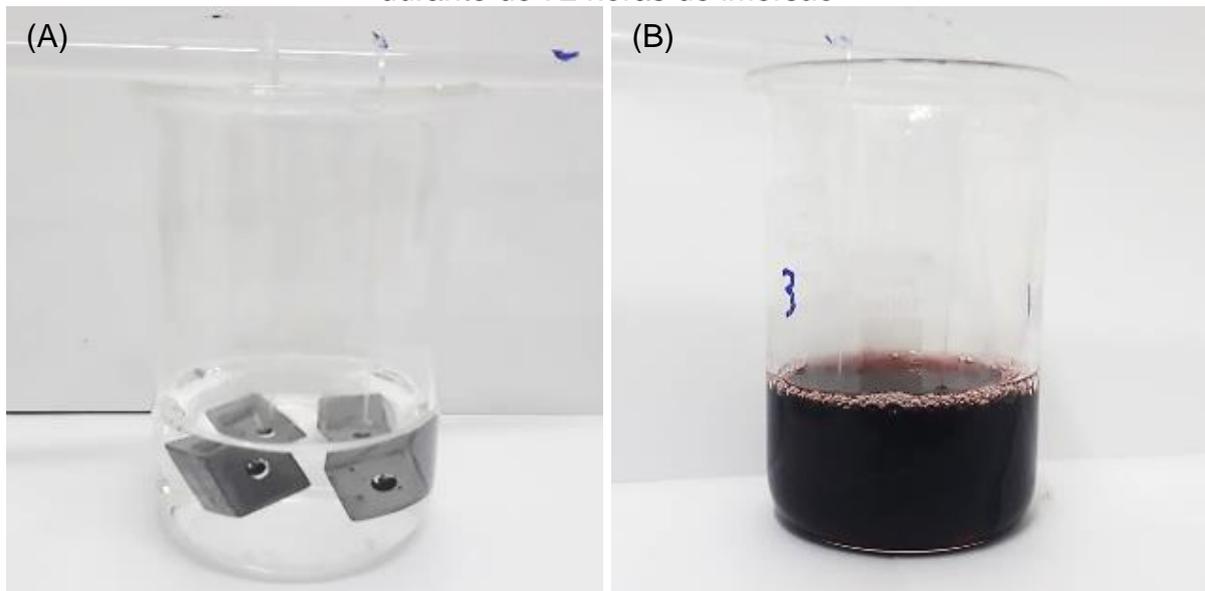
A partir dos resultados expostos na Tabela 2, pode-se identificar ainda que houve eficiência de inibição de corrosão em todas as concentrações estudadas para o extrato da *Combretum leprosum* em meio ácido. Os melhores resultados foram

encontrados para a concentração de 400 $\mu\text{g/mL}$ no tempo de 24 horas de imersão, com uma eficiência de 83%, e para a concentração de 600 $\mu\text{g/mL}$ no tempo de 72 horas de imersão, apresentando eficiência de 78%.

5.3 RESULTADOS DOS ENSAIOS DE INIBIÇÃO DE CORROSÃO DO EXTRATO ETANÓLICO DA *Combretum leprosum* EM MEIO BÁSICO

A análise da capacidade inibidora do extrato para a corrosão do aço carbono, em meio básico, foi realizada a partir de ensaios de perda de massa. Imagens obtidas durante o desenvolvimento do ensaio, utilizando corpos de prova de aço carbono 1020 imersos em solução de NaOH 0,5 mol/L, na ausência e na presença de extrato etanólico dos galhos finos da *Combretum leprosum*, estão apresentadas na Figura 9.

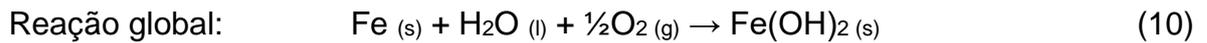
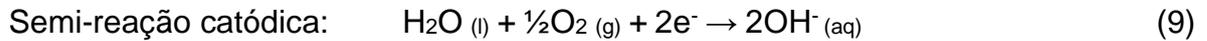
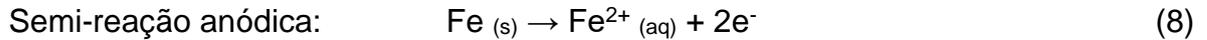
Figura 9 – Ensaio de perda de massa para o aço carbono 1020 em meio básico, na ausência (A) e na presença de 600 $\mu\text{g/mL}$ (B) de extrato da *Combretum leprosum* durante de 72 horas de imersão



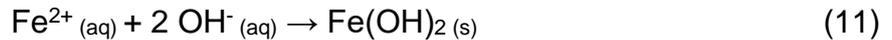
Fonte: Próprio autor (2022)

A corrosão em meio básico, observada na Figura 9, pode ser explicada de acordo com as semi-reações de oxidação do ferro e de redução do gás oxigênio, bem como pela reação global que indica a formação de hidróxido de ferro II como produto

de corrosão. As reações mencionadas estão representadas nas equações 8, 9 e 10, respectivamente (GENTIL, 2011):



Assim, no meio básico os íons Fe^{2+} provenientes da reação anódica juntamente aos íons OH^{-} do meio e da reação catódica, formam o $\text{Fe}(\text{OH})_2$ conforme a equação 11 (GENTIL, 2011):



A aparência dos corpos de prova após terem sido submetidos ao ensaio em meio básico, na ausência de extrato, por 72 horas de imersão está apresentada na Figura 10.

Figura 10 – Corpos de prova submetidos ao ensaio de perda de massa em meio básico, na ausência de extrato, após o tempo de imersão de 72 horas e ainda não decapados com solução de Clark



Fonte: Próprio autor (2022)

A Figura 10 permite visualizar a deposição de uma camada escura sobre a superfície dos corpos de prova, o que pode ser um indicativo da obtenção do produto de corrosão em meio básico, hidróxido de ferro II ou III.

Gentil (2011) afirma que a maioria dos metais se passivam na presença de meios básicos, formando uma camada protetora na superfície metálica, que é conhecida como camada de passivação. Portanto, o recobrimento observado na Figura 10, pode ser atribuído a obtenção da camada de passivação, que é removida durante o processo de decapagem com solução Clark após o ensaio, antes da pesagem.

As taxas de corrosão na ausência e na presença de extrato em meio básico, bem como os percentuais de eficiência de inibição do extrato nas concentrações 400, 600 e 1000 µg/mL, nos tempos de imersão de 24 e 72 horas estão listados na Tabela 3.

Tabela 3 – Dados de perda de massa para o aço carbono 1020 em solução básica de NaOH 0,5 mol/L, na ausência (branco) e na presença do extrato nas concentrações 400, 600 e 1000 µg/mL, depois de 24 e 72 horas de imersão

Tempo de imersão (horas)	Meio	W_{corr} (mm/ano)	Eficiência de inibição (%)
24	Branco	1,18	-
	400 µg/mL	0,383	67
	600 µg/mL	0,633	46
	1000 µg/mL	0,831	29
72	Branco	0,327	-
	400 µg/mL	0,274	16
	600 µg/mL	0,0904	72
	1000 µg/mL	0,198	39

Fonte: Próprio autor (2022)

Podem ser observados na Tabela 3, valores menores para as taxas de corrosão do branco em meio básico quando comparados aos obtidos para o branco meio ácido (Tabela 2). Isso ocorre porque em valores altos de pH ou meio básico, a corrosão é menos agressiva, devido a velocidade da corrosão em meio básico ser menor e também devido a formação da camada de passivação que reduz o processo corrosivo (GENTIL, 2011).

Pode ser identificado ainda na Tabela 3, que em meio básico as taxas de corrosão dos ensaios na presença do extrato também são todas menores que as obtidas no meio ácido (Tabela 2), isso pode ser relacionado a ação inibidora do extrato

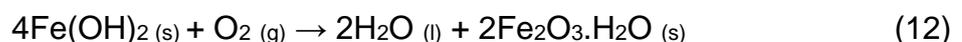
pela adsorção de moléculas orgânicas na superfície metálica, somada a diminuição da corrosão promovida pela obtenção da camada de passivação e dos altos valores de pH do meio (LIMA, 2015; GENTIL, 2011).

Analisando a Tabela 3, pode ser constatado que houve eficiência inibidora de corrosão em todas as concentrações de extrato investigadas, assim como ocorreu nos ensaios realizados em meio ácido. Os melhores resultados também foram encontrados para a concentração de 400 µg/mL após 24 horas de imersão, que apresentou eficiência de 67% e para a concentração de 600 µg/mL após de 72 horas de imersão, com eficiência de 72%.

5.4 RESULTADOS DOS ENSAIOS DE INIBIÇÃO DE CORROSÃO DO EXTRATO ETANÓLICO DA *Combretum leprosum* EM MEIO NEUTRO

A avaliação da capacidade inibidora do extrato para a corrosão do aço carbono, em meio neutro, foi feita a partir de ensaios de perda de massa. Fotografias obtidas durante o desenvolvimento do ensaio, utilizando corpos de prova de aço carbono 1020 imersos em solução de NaCl 3,5% m/v, na ausência e na presença de extrato etanólico dos galhos finos da *Combretum leprosum*, estão apresentadas na Figura 11.

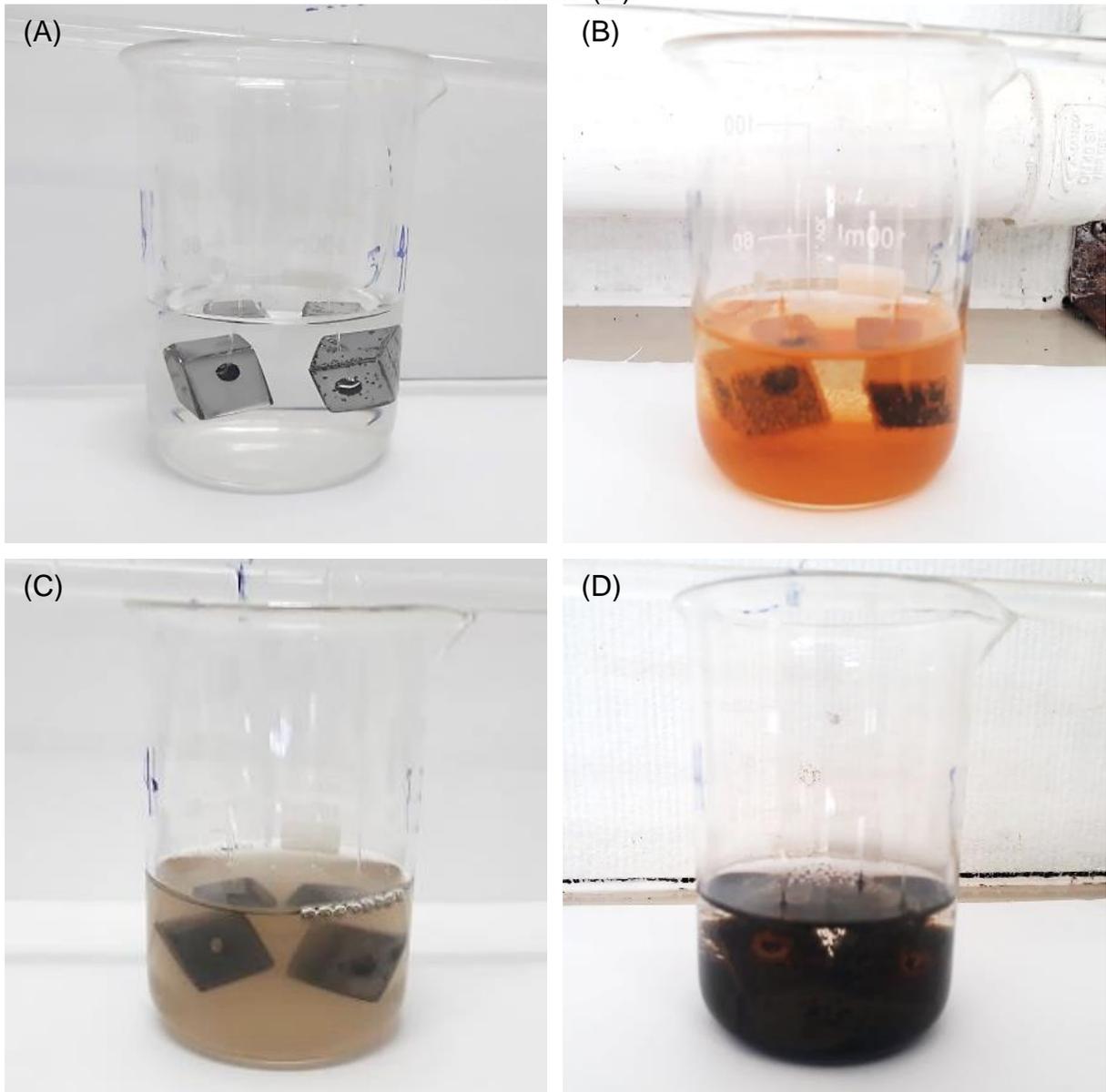
Pode ser observado na Figura 11B a formação de uma camada de cor alaranjada sobre a superfície do aço carbono na ausência de extrato, após 72 horas de imersão. Como afirma Gentil (2011) essa camada é proveniente do processo de corrosão em meio neutro. As semi-reações de oxidação do ferro (equação 8) e redução do oxigênio (equação 9) são as mesmas que ocorrem no meio básico, que culminam na formação de hidróxido de ferro II (equação 11). Porém, em meio neutro o O₂ reage rapidamente com o Fe(OH)₂ formado, produzindo óxido de ferro III hidratado (Fe₂O₃.H₂O) de cor alaranjada, que é comumente conhecido como ferrugem (GENTIL, 2011). A reação de formação do óxido de ferro III hidratado em meio neutro está representada na equação 12:



Pode ser notado na Figura 11D, que decorridas as 72 horas de imersão, a camada formada sobre a superfície metálica assume uma coloração escura. Segundo

Rocha (2013) a mudança de cor pode ser atribuída as características protetoras da camada formada na presença de extrato.

Figura 11 – Ensaio de perda de massa para o aço carbono 1020 em meio neutro, na ausência de extrato no início (A) e ao final das 72 h de imersão (B), na presença de 600 µg/mL de extrato da *Combretum leprosum* no início (C) e ao final das 72 h de imersão (D)



Fonte: Próprio autor (2022)

Os valores calculados para as taxas de corrosão na ausência e na presença de extrato em meio neutro, bem como os percentuais de eficiência de inibição do extrato nas concentrações 400, 600 e 1000 µg/mL, nos tempos de imersão de 24 e 72 horas estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Dados de perda de massa para o aço carbono 1020 em solução neutra de NaCl 3,5% m/v, na ausência (branco) e na presença do extrato nas concentrações 400, 600 e 1000 µg/mL, depois de 24 e 72 horas de imersão

Tempo de imersão (horas)	Meio	W _{corr} (mm/ano)	Eficiência de inibição (%)
24	Branco	1,25	-
	400 µg/mL	0,532	57
	600 µg/mL	0,611	51
	1000 µg/mL	0,379	79
72	Branco	0,523	-
	400 µg/mL	0,369	29
	600 µg/mL	0,159	69
	1000 µg/mL	0,237	54

Fonte: Próprio autor (2022)

Pode ser averiguado na Tabela 4 que o extrato no meio neutro atua como inibidor, diminuindo a taxa de corrosão, assim como nos outros meios estudados. A inibição de corrosão por estar relacionada à adsorção das moléculas do extrato e à camada protetora formada na superfície metálica (LIMA, 2015; GENTIL, 2011).

A partir dos resultados listados na Tabela 4 é possível identificar que houve eficiência de inibição em todas as concentrações de extrato investigadas no meio neutro, assim como foi observado nos demais meios estudados. Os melhores resultados de inibição de corrosão em meio neutro, foram encontrados para a concentração de 1000 µg/mL, após o tempo de 24 horas de imersão, que apresentou eficiência de 79% e para a concentração de 600 µg/mL, após o tempo de 72 horas de imersão, com eficiência de 69%.

Em todos os meios avaliados pode ser observado que o melhor resultado de eficiência de inibição foi obtido para a concentração 600 µg/mL de extrato após o tempo de imersão de 72 horas. Com 24 horas de imersão, o melhor resultado de eficiência de inibição aconteceu para a concentração 400 µg/mL, apenas no meio ácido e básico, enquanto no meio neutro foi em 1000 µg/mL.

Diante desses resultados, o extrato etanólico dos galhos finos da *Combretum leprosum* se mostrou eficiente como inibidor de corrosão em todos os meios

estudados, com destaque para os maiores percentuais de eficiência de inibição que ocorreram em meio ácido, sem demandar uso de grande quantidade de inibidor.

5.5 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DE EFICIÊNCIA DE INIBIÇÃO DE PRODUTOS NATURAIS ESTUDADOS NA LITERATURA COM O EXTRATO ETANÓLICO DA *Combretum leprosum*

A fim de verificar a relevância do extrato etanólico da *Combretum leprosum* como inibidor de corrosão natural foi realizada uma comparação entre os resultados obtidos neste trabalho com os de outros autores que também testaram diferentes produtos naturais para a mesma aplicação.

Alguns trabalhos que aplicaram produtos naturais como inibidores de corrosão em meio ácido estão listados na Tabela 5. Foram relacionados dados como a referência do trabalho na literatura, o inibidor, a concentração, o tempo de imersão e a eficiência de inibição, incluindo o melhor resultado obtido para a *Combretum leprosum*.

Tabela 5 – Comparação entre os resultados dos produtos naturais estudados na literatura com os obtidos para a *Combretum leprosum* para o aço carbono 1020 em solução ácida

Referência	Inibidor	Concentração do extrato	Tempo de imersão	Eficiência de inibição
Este Trabalho	<i>Combretum leprosum</i>	400 µg/mL	24 horas	83%
FERREIRA et al., 2018	Sementes de mamão formosa	400 µg/mL	48 horas	87%
ROCHA; GOMES, 2017	Cascas de laranja	400 µg/mL	24 horas	95%
TEIXEIRA et al., 2015	<i>Camellia sinensis</i> (Chá branco)	400 µg/mL	2 horas	73%
ALBUQUERQUE; OLIVEIRA; ECHEVARRIA, 2015	<i>Talinum triangulare</i>	200 µg/mL	4 horas	69%

Fonte: Próprio autor (2022)

Diante dos dados apresentados na Tabela 5, as cascas de laranja, estudadas por Rocha e Gomes (2017), apresentaram o melhor resultado para inibição de corrosão em meio ácido encontrado na literatura, com eficiência de inibição de 95%, utilizando a mesma concentração e tempo de imersão investigados no presente trabalho, embora a concentração da solução de HCl utilizada pelos autores era de 1,0 mol/L, superior a utilizada neste trabalho (0,5 mol/L).

Pode ser observado na Tabela 5 que as sementes de mamão formosa, pesquisadas por Ferreira e colaboradores (2018), demonstraram eficiência de inibição de 87%, superior à obtida para o extrato etanólico dos galhos finos da *Combretum leprosum* (83%). Porém este resultado foi obtido para o dobro do tempo de imersão estudado no presente trabalho.

A *Camellia sinensis*, utilizada para fazer o chá branco, analisada por Teixeira e colaboradores (2015), e a *Talinum triangulare*, avaliada por Albuquerque e colaboradores (2015), são ambas plantas testadas para inibição de corrosão em meio ácido, citadas na Tabela 5, que apresentaram eficiências de inibição de 73 e 69%, respectivamente, resultados menores ao encontrado para a *Combretum leprosum*, embora tenham sido investigadas em tempos de imersão inferiores.

Os dados de algumas pesquisas que estudaram a inibição de corrosão em meio neutro por produtos naturais estão apresentados na Tabela 6, incluindo os resultados obtidos para o extrato etanólico da *Combretum leprosum*.

Tabela 6 – Comparação dos resultados de alguns trabalhos da literatura que empregaram produtos naturais como inibidores de corrosão para o aço carbono 1020 em meio neutro com os obtidos para a *Combretum leprosum*

Referência	Inibidor	Concentração do extrato	Tempo de imersão	Eficiência de inibição
Este trabalho	<i>Combretum leprosum</i>	1000 µg/mL	24 horas	79%
Este trabalho	<i>Combretum leprosum</i>	600 µg/mL	72 horas	69%
CARVALHO et al., 2010	Repolho roxo	20000 µg/mL	31 dias	80%
ROCHA, 2013	Casca de laranja	1000 µg/mL	72 horas	60%
ROCHA; GOMES, 2017	Bagaço de uva concentrado	20000 µg/mL	72 horas	74%

Fonte: Próprio autor (2022)

Em comparação com o meio ácido existem menos estudos de inibição de corrosão em meio neutro disponíveis na literatura. De acordo com o levantamento realizado por Noronha e Cunha (2020), apenas cerca de 16% dos ensaios de inibição de corrosão são realizados em meio neutro.

Diante do exposto na Tabela 6, um dos estudos encontrados para esse meio foi o realizado por Carvalho e colaboradores (2010) que analisaram o repolho roxo como inibidor de corrosão para o aço carbono, obtendo uma eficiência de 80%, percentual bastante semelhante ao melhor resultado encontrado para a *Combretum leprosum*, que foi 79%, porém os autores utilizaram nos testes uma concentração maior de inibidor, de 20000 µg/mL, e um maior tempo de imersão, 31 dias.

Pode ser verificada na Tabela 6, a eficiência de inibição de 74% apresentada pelo bagaço de uva concentrado, estudado por Rocha e Gomes (2017), em concentração elevada de inibidor (20000 µg/mL) e com 72 horas de imersão. Vale destacar, que para o tempo de imersão de 24 horas, a eficiência da *Combretum leprosum* foi superior (79%) e para o mesmo tempo de imersão foi levemente inferior (69%), porém em ambos os tempos investigados foram utilizadas menores concentrações de extrato etanólico, 1000 e 600 µg/mL, respectivamente.

Rocha (2013) empregou as cascas de laranja como inibidor de corrosão em meio neutro, em condições semelhantes as utilizadas neste trabalho e obteve uma eficiência de inibição de 60%, inferior a apresentada pela *Combretum leprosum*.

Dessa forma, em meio neutro, este trabalho destaca-se pelas baixas concentrações de extrato utilizadas, enquanto apresenta eficiências de inibição semelhantes às dos demais trabalhos encontrados na literatura.

Os dados de concentração, tempo de imersão e eficiência de inibição para as cascas de laranja e para a *Combretum leprosum* em meio básico estão listados na Tabela 7.

Tabela 7 – Comparação dos resultados de eficiência de inibição das cascas de laranja com a *Combretum leprosum* para o aço carbono 1020 em solução básica

Referência	Inibidor	Concentração do extrato	Tempo de imersão	Eficiência de inibição
Este Trabalho	<i>Combretum leprosum</i>	600 µg/mL	72 horas	72%
BEZERRA, 2022	Cascas de laranja	20000 µg/mL	31 dias	28%

Fonte: Próprio autor (2022)

O meio básico é o menos estudado, quando comparado ao número de trabalhos encontrados para o meio ácido e neutro. De acordo com o levantamento feito por Noronha e Cunha (2020), apenas 8% dos ensaios de inibição de corrosão são realizados em meio básico, e a maior parte deles não utiliza ensaios de perda de massa.

Pode ser constatado na Tabela 7, que Bezerra (2022) realizou ensaios de perda de massa para o aço carbono utilizando o extrato de cascas de laranja como inibidor para o meio básico, obtendo uma eficiência de inibição de apenas 28%, valor bastante inferior ao obtido para a *Combretum leprosum*, que foi de 72%. Vale ressaltar que no presente trabalho a concentração de extrato e o tempo de imersão investigados foram bem menores que os utilizados pela autora.

Assim, o extrato etanólico dos galhos finos da *Combretum leprosum* demonstrou potencial para a aplicação como inibidor de corrosão do aço carbono em todos os meios estudados, pois apresentou eficiência de inibição significativa em meio básico, e semelhantes em meio ácido e neutro, utilizando baixas concentrações de extrato quando comparado com estudos similares disponíveis na literatura.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse trabalho, foram realizadas a coleta e identificação dos galhos finos da *Combretum leprosum*, e o preparo do extrato etanólico.

A avaliação da atividade antioxidante foi estudada por meio da captura do radical livre DPPH, dispondo como controles positivos: Rutina e BHT. O extrato apresentou percentuais de atividade antioxidante superiores aos do BHT e próximos aos da Rutina. A relevante capacidade antioxidante apresentada pelo extrato etanólico dos galhos finos da *Combretum leprosum* pode ser atribuída à presença de compostos fenólicos e flavonoides, como a (-)-epicatequina.

Ensaio de perda de massa na ausência e na presença do extrato foram realizados, utilizando como corpos de prova de aço carbono AISI 1020, a fim de avaliar a capacidade inibidora de corrosão em meio ácido, básico e neutro. A *Combretum leprosum* apresentou potencial de inibição de corrosão para o aço carbono nos três meios corrosivos.

As análises realizadas em meio ácido na presença do inibidor na concentração de 400 µg/mL alcançou os melhores resultados em comparação com a solução sem o extrato, tendo uma diminuição da taxa de corrosão de 5,90 mm/ano na ausência do extrato, para 0,976 mm/ano na presença de 400 µg/mL de extrato, no tempo de imersão de 24 horas, atingindo 83% de eficiência de inibição. Essa eficiência assemelha-se às observadas em demais trabalhos disponíveis na literatura.

Em meio básico, a taxa de corrosão na ausência de extrato foi de 1,18 mm/ano enquanto, com 600 µg/mL do extrato, no tempo de imersão de 72 horas, foi de 0,0904 mm/ano, obtendo dessa forma uma eficiência de 72%, percentual bastante superior se comparado ao encontrado na literatura, para esse meio corrosivo.

As eficiências de inibição em meio neutro, em ambos os tempos de imersão investigados, são relevantes quando comparadas às de pesquisas semelhantes, com destaque para o uso de concentrações baixas de extrato de *Combretum leprosum*.

Conclui-se que o extrato etanólico dos galhos finos da *Combretum leprosum* demonstrou boa capacidade antioxidante e anticorrosiva, apresentando potencial para ser usado como inibidor de corrosão natural para materiais de aço carbono em meios ácidos, básicos e neutros. Por se tratar de um produto natural, destaca-se quanto aos benefícios econômicos e ecológicos que apresenta quando comparado aos inibidores sintéticos utilizados atualmente, estando de acordo com a Química Verde.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

É importante ressaltar que os ensaios de perda de massa foram os únicos realizados para a análise da capacidade inibidora de corrosão, devido à infraestrutura disponível no laboratório de Química do campus Serra da Capivara – UNIVASF. Entretanto, faz-se necessário um estudo mais aprofundado, empregando técnicas eletroquímicas e de imagem, tais como a PP, EIE e MEV, para a validação das eficiências de inibição e publicação dos resultados em revistas de alto impacto.

Estudos de estabilidade térmica em diferentes temperaturas, tempo de armazenagem (estabilidade de prateleira) são também interessantes para garantir o potencial comercial do inibidor.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, M. A.; OLIVEIRA, M. C. C.; ECHEVARRIA, A. Avaliação da Atividade Anticorrosiva de Formulações com Extrato Vegetal por Técnicas Eletroquímicas e Gravimétrica. **Revista Virtual de Química**, 7(5), 1841-1853, 2015.

ALMEIDA, M. de A. **Investigação da resistência à corrosão do aço AISI 1020 em meio ácido na presença de tiossemicarbonos, extratos vegetais e suas formulações**. 2017. 154 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Ciências Exatas, 2017.

ALVES, C. Q. et al. Métodos para determinação de atividade antioxidante *in vitro* em substratos orgânicos. **Química Nova**, v. 33, n. 10, p. 2202-2210, 2010.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM G31-72**. Standard practice for laboratory immersion corrosion testing of metals. West Conshohocken, PA, 1999.

AYRES, M. C. C. **Isolamento e monitoramento de substâncias antioxidantes de *Terminalia fagifolia* e *Combretum leprosum* (Combretaceae)**. 2008. 150 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Piauí, Centro de Ciências da Natureza, Teresina. 2008.

BEZERRA, S. R. N. **Estudo e avaliação da casca da laranja como inibidor verde no combate à corrosão em estruturas metálicas de aço carbono**. 2022. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia) - Universidade Federal do Semi-Árido, Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros, Pau dos Ferros - RN, 2022.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity. **Lebensm.-Wiss. u.-Technol**, v, 28, n. 1, p. 25-30, 1995.

BRAZ FILHO, R. Contribuição da fitoquímica para o desenvolvimento de um país emergente. **Química Nova**, v.33, n.1, p.229-239, 2010.

CARVALHO, A. A. et al. Phenolic derivatives and antioxidante activity of polar extracts from *Bauhinia pulchella*. **Química Nova**, v. 41, n. 4, p. 405-411, 2018.

CARVALHO, L. J. et al. Uso de extrato de repolho roxo como inibidor de corrosão para aço carbono. **Intercorr**, Fortaleza, Intercorr2010_364, maio. 2010.

CASTRO, A. A. J. F. et al. Cerrados Marginais do Nordeste e Ecótonos Associados. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, supl.1, p. 273-275, jul. 2007.

CHAVES, E. M. F.; BARROS, R. F. M.; ARAÚJO, F.S. Flora Apícola do Carrasco no Município de Cocal, Piauí, Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, supl. 1, p. 555-557, jul. 2007.

EVARISTO, F. F. V. et al. Antimicrobial Effect of the Triterpene $3\beta,6\beta,16\beta$ Trihydroxylup-20(29)-ene on Planktonic Cells and Biofilms from Gram Positive and Gram Negative Bacteria. **Bio. Med. Research International**. Article ID 729358, June. 2014.

EVARISTO, F. F. V. et al. Antibacterial effect on mature biofilms of oral streptococci and antioxidant activity of $3\beta,6\beta,16\beta$ -trihydroxylup-20(29)-ene from *Combretum leprosum*. **Medicinal Chemistry Research**, v. 1, p. 1, Aug. 2017.

FACUNDO, V. A. et al. Arjunolic acid in the ethanolic extract of *Combretum leprosum* root and its use as a potential multi-functional phytomedicine and drug for neurodegenerative disorders: anti-inflammatory and anticholinesterasic activities. **Journal of Brazilian Chemical Society**, v.16, n.6b, pp. 1309-1312, 2005.

FARIAS, R. R. S. et al. Botânica (aspectos morfológicos) e distribuição geográfica de três espécies de *Combretaceae* nos cerrados do Piauí, nordeste do Brasil. **Publicações Avulsas em Conservação de Ecossistemas**, n. 31, p. 1-23, nov. 2014.

FERREIRA, B. P. et al. Inibição da corrosão do aço carbono empregando extrato de semente de mamão formosa. **Intercorr**, São Paulo, Intercorr2018_093, maio. 2018.

FYHRQUIST, P. **Traditional medicinal uses and biological activities of some plant extracts of African *Combretum* L., *Terminalia* L. and *Pteleopsis* Engl. Species (*Combretaceae*)**. 2007. 183 f. Dissertação (Mestrado em Biociências) - Universidade de Helsinki, Helsinki, 2007.

GENTIL, V. **Corrosão**. 6 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

KODAMA, L. A.; HOTSUMI, N. T. **Investigação e caracterização de produtos naturais como inibidores de corrosão atóxicos para aço carbono em meio de ácido clorídrico**. 2011. 68 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Universidade São Paulo, Escola Politécnica, São Paulo, 2011.

LIMA, E. G. A. **Avaliação da capacidade inibidora da corrosão de amins a partir do aspecto molecular**. 2015. 89 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal de São Carlos, Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, São Carlos, 2015.

MACHADO, R. B. et al. **Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro**. Relatório técnico não publicado. Conservação Internacional, Brasília, 2004. Disponível em:

<https://jbb.ibict.br/bitstream/1/357/1/2004_%20Conservacao%20Internacional_%20estimativa_desmatamento_cerrado.pdf>. Acesso em: 13 ago. 2022.

MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. **Técnicas de pesquisas**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

MARINHO, I. V. et al. Espécies vegetais da caatinga utilizadas pelas abelhas indígenas sem ferrão como fonte de recursos e local de nidificação. **I Congresso Brasileiro de Extensão Universitária**. João Pessoa, 2002.

MENEZES FILHO, A. C. P. et al. Atividade Antioxidante, Conteúdo de Fenólicos Totais, Carotenoides e Provitamina A em Extratos Vegetais do Cerrado Goiano. **UNICIÊNCIAS**, v. 22, n. 1, p. 28, 2018.

NAKAO, M.; TAKIO, S.; ONO, K. Alkyl peroxil radical-scavenging activity of catechins. **Phytochemistry**, v. 49, n. 8, p. 2379-2382, 1998.

NORONHA, D. V. C. de.; CUNHA, J. D. da. **Inibidores de corrosão da linha verde: estado da arte**. 2020. 12 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Ciência e Tecnologia) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Centro de Ciências Exatas e Naturais, Rio Grande do Norte, 2020.

OLIVEIRA, G.L.S. Determinação da capacidade antioxidante de produtos naturais *in vitro* pelo método do DPPH•: estudo de revisão. **Rev. Bras. Pl. Med**, Campinas, v.17, n.1, p.36-44, 2015.

PIETROVSKI, E. F. et al. Antinociceptive properties of the ethanolic extract and of the triterpene 3 β ,6 β ,16 β -trihidroxilup-20(29) -ene obtained from the flowers of *Combretum leprosum* in mice. **Pharmacology Biochemistry and Behavior**, v. 83, p. 90-99, 2006.

QUADROS, G. P. **Análise da eficiência de extratos vegetais para aplicação como inibidores de corrosão**. 2019. 75 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Santa Maria - RS, 2019.

RIEDER, E. S. et al. Investigação dos principais processos de corrosão em estações de energia elétrica do Estado do RS. **Revista Matéria**, v. 14, n. 3, p. 1000-1014, 2009.

ROCHA, J.C. **Obtenção de inibidores de corrosão a partir de extratos de produtos naturais**. 2013. 106 f. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia, Rio de Janeiro, 2013.

ROCHA, J.C.; GOMES, J. A. C. P. Inibidores de corrosão naturais – Proposta de obtenção de produtos ecológicos de baixo custo a partir de resíduos industriais. **Revista Matéria**, v. 22, supl. 1, ago. 2017.

ROMUALDO, M.V. dos S. **Estudo de inibidores sintéticos de corrosão para o aço carbono 1020 em meios altamente corrosivos**. 2012. 90 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química com Atribuições Tecnológicas) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza, Rio de Janeiro, 2012.

RUFINO, M. do S. M. et al. **Metodologia Científica: Determinação da Atividade Antioxidante Total em Frutas pela Captura do Radical Livre DPPH**. Comunicado técnico online. Fortaleza, 2007.

Disponível em:

<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPAT/10224/1/Cot_127.pdf>.

Acesso em: 17 fev. 2023.

SILVA, M. V. L. da. **Uso do extrato aquoso das folhas de *Syzygium cumini* como potencial inibidor de corrosão para o aço carbono em meio ácido**. 2022. 46 f. Relatório apresentado ao Departamento de Química (Requisito parcial da disciplina de Estágio II) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Florianópolis, 2022.

SOUSA, C. M. M. et al. Fenóis totais e atividade antioxidante de cinco plantas medicinais. **Química Nova**, v. 30, n. 2, p. 351-355, 2007.

TEIXEIRA, V. M. et al. Estudo da Ação Inibidora do Extrato de *Camellia sinensis* na Corrosão do Aço carbono 1020 em HCl 1 mol L⁻¹. **Revista Virtual de Química**, 7(5), 1-15, jul. 2015.

VESPA, A. S. **Avaliação de inibidores de corrosão em meios agressivos que simulam os de produção de petróleo**. 2017. 159 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, São Paulo, 2017.

YILMAZ, Y. Novel uses of catechins in foods. **Trends Food Sci. Technol.**, v. 17, p. 64-71, 2006.