

Artigo de Revisão

INIBIDOR DE CORROSÃO DE ORIGEM VEGETAL: REVISÃO EM ARTIGOS PUBLICADOS NO BRASIL

Corrosion inhibitor of vegetable origin: review on articles published in Brazil

Maria Clara Nascimento Dantas¹; Sheila Pressentin Cardoso^{1*}

¹Curso de Bacharelado em Química, Instituto Federal do Rio de Janeiro. Rua Coronel Délio Menezes Porto, 1045. Centro. CEP: 26530060. Nilópolis, RJ. Brasil.

Submetido em: 27.07.2022; Aceito em: 10.10.2022; Publicado em: 28.10.2022.

***Autor para correspondência:** shepressentin@gmail.com

Resumo: A pesquisa teve o objetivo de avaliar artigos publicados em revistas brasileiras com o tema inibidores de corrosão de origem vegetal. A corrosão é um processo espontâneo nos metais, intensificado pelo meio corrosivo onde se encontram e as condições nas quais irão operar, trazendo prejuízos para vários setores industriais e a sociedade. Dentre os métodos de proteção da corrosão destacam-se os inibidores, que além de eficientes na proteção dos metais podem ser adicionados ou retirados de processos industrial conforme a necessidade de uso. Contudo, o caráter tóxico de substâncias presentes em inibidores comerciais levou a busca por produtos ambientalmente seguros, de modo que extratos de vegetais passaram a ser testados como potencial matéria ativa na formulação de inibidores de corrosão. De caráter exploratório e bibliográfico, a avaliação dos artigos envolveu quatro categorias de análise: aspectos gerais; natureza dos materiais; técnicas experimentais, conclusões e eficiência dos extratos. Dos quatorze artigos identificados seis abordaram o uso de vegetais nativos do Brasil, várias partes dos vegetais foram testadas, com destaque para as folhas, havendo um uso diversificado de técnicas de extração. O aço carbono foi o metal mais usado, assim como o meio ácido, com os ensaios de corrosão envolvendo técnicas clássicas. Ficou evidente a relação direta entre a eficiência de determinado extrato às condições experimentais usadas, como natureza do extrato, o tipo de aço, o meio corrosivo e a temperatura de teste, de modo que essas informações precisavam ser claramente apresentadas. Em dez artigos o extrato do vegetal apresentou eficiência de inibição da corrosão entorno de 90%, valores que indicaram o potencial desses vegetais como método de proteção, sendo pesquisas iniciais que necessitam de outros estudos para que tenham uso comercial. Dentro do universo pesquisado, os trabalhos sobre o tema desenvolvidos no país acompanharam o que vem sendo realizado internacionalmente.

Abstract: The research aimed to evaluate articles published in Brazilian journals with the theme corrosion inhibitors of plant origin. Corrosion is a spontaneous process in metals, intensified by the corrosive environment in which they are found and the conditions in which they will operate, causing damage to various industrial sectors and society. Among the corrosion protection methods, inhibitors stand out, which, in addition to being efficient in protecting metals, can be added or removed from industrial processes as needed. However, the toxic character of substances present in commercial inhibitors led to the search for environmentally safe products, so that plant extracts began to be tested as a potential active material in the formulation of corrosion inhibitors.

Exploratory and bibliographical in nature, the evaluation of the articles involved four categories of analysis: general aspects; nature of materials; experimental techniques, and conclusions and efficiency of extracts. Of the fourteen articles identified, six addressed the use of native vegetables in Brazil, several parts of the vegetables were tested, especially the leaves, with a diversified use of extraction techniques. Carbon steel was the most used metal, as well as the acidic medium, with corrosion tests involving classical techniques. The direct relationship between the efficiency of a given extract and the experimental conditions used, such as the nature of the extract, the type of steel, the corrosive medium and the test temperature, was evident, so this information needed to be clearly presented. In ten articles, the plant extract showed corrosion inhibition efficiency around 90%, values that indicated the potential of these plants as a protection method, being initial researches that need other studies to have commercial use. Within the researched universe, the works on the subject developed in the country followed what has been done internationally.

Palavras-chave: Inibidores de adsorção; Produtos naturais; Métodos de proteção.

Keywords: Adsorption inhibitors; Natural products; Protection method.

INTRODUÇÃO

A corrosão é definida como um processo em que ocorre a deterioração de um material a partir de interações eletroquímicas, químicas ou mecânicas na presença de um meio que seja propício a tal fenômeno (RAMANATHAN, 1988), levando a problemas para as indústrias e a sociedade em geral. Na indústria a corrosão é algo desvantajoso que pode gerar prejuízos pela contaminação e perda de produção, mal funcionamento de máquinas e alto risco de acidentes, enquanto na sociedade esse processo pode acarretar a paralização de serviços de transporte, a necessidade de manutenção contínua em veículos de telecomunicação, assim como dano a bens duráveis como eletrodomésticos, pontes, monumentos artísticos, dentre outros (GENTIL, 2011).

O estudo da corrosão é de interesse econômico, principalmente na indústria petrolífera e naval, pois o custo de equipamentos para extração de petróleo e a manutenção de navios é alto, além da mão de obra necessária para a execução dos serviços (GENTIL, 2011). Em termos geoeconômicos, avaliando o custo anual dos processos corrosivos, foi identificado que os países perdem cerca de 1% a 5% de seu Produto Interno Bruto (PIB) devido às atividades de deterioração, manutenção e prevenção associadas a corrosão (PORTAL FATOR BRASIL, 2016).

Para minimizar esses gastos foram desenvolvidos métodos de proteção, que visam evitar ou reduzir o processo corrosivo. Atualmente são disponibilizados diversos métodos de proteção, que devem ser selecionados levando em conta a natureza do material que sofrerá corrosão, sua condição e tempo de uso, sua importância, e o quanto se deseja gastar no processo de proteção. Como exemplo de métodos de proteção temos: os revestimentos protetores envolvendo tintas, polímeros ou metalização; a proteção anódica; a proteção catódica; os inibidores de corrosão, dentre outros (GENTIL, 2011).

Ao longo dos anos os inibidores de corrosão se tornaram um método de proteção de uso vantajoso, por conta de seu bom rendimento e baixo custo, quando comparado a outros métodos, e pelo fato de poderem ser adicionados ou retirados a qualquer momento do sistema que se deseja proteger. No caso específico da proteção de peças metálicas em ambientes ácidos, os inibidores de corrosão demonstram alta eficiência, tornando-se uma opção bastante utilizada nas indústrias (SILVA, 1981).

Contudo, o uso de alguns inibidores envolve um alto custo pelo seu valor ou quantidade usada, além do fato de que parte deles apresenta considerável grau de toxicidade. Esses fatos levaram a busca por produtos que sejam mais baratos, mais eficientes, e que apresentem pouca ou nenhuma agressão ao meio ambiente.

Uma das opções encontradas foi o uso de extratos vegetais como matéria ativa na formulação de inibidores de corrosão, cujos resultados revelaram ser esta uma opção interessante e viável (FELIPE *et al.*, 2013). Segundo o autor, o uso de extrato de vegetais é vantajoso pelo fato de ser proveniente de um recurso renovável, biodegradável e com pouca ou nenhuma toxicidade ao ambiente, minimizando custos econômicos e ambientais, geralmente observados nos inibidores comerciais. Os inibidores vegetais, também conhecidos como naturais, verdes ou ecológicos, são provenientes de extratos obtidos de diferentes partes das plantas (folhas, flores, cascas do caule ou frutos), que apresentam um conjunto de compostos orgânicos com característica inibidora da corrosão que incluem: taninos; flavonoides; saponinas, alcaloides, ácidos orgânicos, aminoácidos, dentre outros (NNANNA *et al.*, 2016).

Muitos extratos vegetais foram testados obtendo ótimos resultados de inibição da corrosão, tanto para meio ácido quanto para o meio alcalino (RANI & BASU, 2012). Com base nos estudos realizados é possível apontar que a eficiência dos extratos vegetais está associada ao efeito cooperativo (sinérgico) proveniente da variada composição de metabólitos presentes nos extratos, com potencial de se adsorverem sobre a superfície metálica formando uma eficiente camada de proteção contra corrosão. Algumas das substâncias normalmente encontradas em extratos de plantas apresentam potencial antioxidante (RAJA & SEYHURAMAN, 2008 e WANG *et al.*, 2008), que por definição são aquelas capazes de retardar ou inibir a oxidação de substratos oxidáveis para evitar o início ou a propagação das reações contínuas de oxidação (DEGÁSPARI & WASZCZYNSKYJ, 2004). O efeito antioxidante das plantas tem sido relacionado a presença de grupos hidroxilas nos compostos fenólicos, e têm como classes químicas terpenos, ácidos fenólicos, flavonoides e taninos (MORAIS *et al.*, 2009)

Segundo Pinto *et al.* (2002), o Brasil não pode ignorar o estudo dos produtos naturais, por conta de sua flora e biodiversidade, o que incentiva e favorece a realização de pesquisas sobre o uso de extratos de vegetais na formulação de inibidores de corrosão. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi analisar o perfil de pesquisas desenvolvidas no Brasil envolvendo o uso de vegetais na composição de inibidores de corrosão para metais, a partir de artigos científicos publicados em revistas nacionais entre os anos de 2010 e 2020. Torna-se importante acompanhar e analisar essas pesquisas, tendo em vista a necessidade do constante estudo para otimizar os processos de proteção contra a corrosão, e com isso ajustar as demandas da sociedade com a riqueza da flora brasileira.

DESENVOLVIMENTO

Quanto aos procedimentos metodológicos, o estudo foi classificado como de objetivo exploratório envolvendo a pesquisa bibliográfica como forma de coleta de dados. O que caracteriza a pesquisa bibliográfica é o fato de ser desenvolvida a partir de um material já manipulado e elaborado, constituído principalmente por livros e artigos científicos. O que diferencia uma pesquisa bibliográfica da revisão bibliográfica, que é feita em toda atividade de pesquisa, é que nela a pesquisa é desenvolvida exclusivamente a partir de fontes bibliográficas (GIL, 2002).

Os dados para análise foram coletados a partir de artigos científicos publicados em revistas nacionais, entre os anos 2010 e 2020, que estavam em língua portuguesa e não apresentam um texto de revisão. Todos os artigos envolvem a temática corrosão e o uso de inibidores de origem vegetal. Como não existe no Brasil uma revista específica para corrosão, os artigos sobre o tema costumam ser publicados em revistas interdisciplinares, de química, engenharia ou materiais, dentre outras. A identificação dos textos ocorreu através do google acadêmico com o uso dos seguintes descritores: corrosão; inibidores; extrato; plantas; vegetal; produtos naturais; inibidor verde, inibidor orgânico e bioinibidor.

A análise dos artigos envolveu quatro categorias de análise: 1) Aspectos Gerais; 2) Natureza dos Materiais; 3) Técnicas Experimentais, e 4) Conclusões e eficiência dos extratos. Nesse processo optou-se por seguir as orientações indicadas por Gil (2002), efetuando as seguintes fases: leitura exploratória dos textos, de modo a ter uma visão global do documento; leitura seletiva dos textos, para determinar as partes de interesse para a pesquisa; leitura analítica dos textos, visando ordenar e resumir as informações para se obter aquelas referentes aos objetivos da pesquisa; leitura interpretativa dos textos, procurando dar um significado mais amplo as informações coletadas, relacionando-as a conhecimentos ou dados já obtidos.

Na categoria de análise Aspectos Gerais formam relacionados alguns dados bibliográficos dos artigos, como as revistas onde foram publicados, o número de artigos encontrados, a edição e o ano da publicação, e a região de origem dos autores. Segundo Soares e Garcez (2017), essas informações podem permitir uma avaliação do crescimento de uma área ou temática. Já na segunda categoria de análise, Natureza dos Materiais, houve o mapeamento e a identificação dos vegetais e as condições nas quais foram usados, assim como para qual metal, meio corrosivo e temperatura foram testados como potenciais inibidores de corrosão. Enquanto na terceira categoria de análise, Técnicas Experimentais, o foco foi avaliar a forma de obtenção do extrato do vegetal, sua identificação fitoquímica e os ensaios de corrosão. Na quarta categoria de análise, Conclusões e eficiência dos extratos, buscou-se a eficiência de inibição dos extratos e as principais conclusões apresentadas pelos autores.

A pesquisa iniciou com a busca pelos artigos de interesse, o que resultou na identificação de dezoito artigos, que foram avaliados de modo a verificar se atendiam aos critérios estabelecidos. Desses, quatorze artigos foram considerados válidos para análise, enquanto quatro foram descartados, sendo dois por apresentarem texto de revisão (FELIPE *et al.*, 2013; ALBUQUERQUE *et al.*, 2015) e dois por possuírem texto em inglês (BARRETO *et al.*, 2017; JESUS *et al.*, 2020).

Vale destacar que durante a análise dos artigos houve foco na natureza dos vegetais testados e nas condições dos ensaios e técnicas empregadas, avaliando até que ponto havia preferência para o uso de vegetais nativos da flora brasileira, e se os ensaios e técnicas estavam em consonância com o que vinha sendo realizado em outros países. Para tal, realizamos uma busca no Google Acadêmico a procura de textos em inglês publicados em revistas internacionais entre 2010 e 2020, empregando os descritores previamente definidos. Foram identificados dezesseis artigos envolvendo inibidores vegetais, sendo dez deles artigos de revisão. O elevado percentual de artigos de revisão indicou que o interesse sobre o tema ainda se mantém atual, assim como a existência de um considerável número de pesquisas envolvendo variados vegetais e materiais metálicos. Quando pertinente, dados desses artigos serão apresentados ao longo do texto.

Na categoria de análise, aspectos gerais, buscou-se dados bibliográficos dos artigos selecionados envolvendo as revistas onde foram publicados, a edição e o ano da publicação, e a região de origem dos autores, com o Quadro 1 apresentando uma síntese das informações obtidas.

Como mencionado, o Brasil não apresenta revista específica para publicação de artigos de corrosão, com os trabalhos selecionados sendo publicados em revistas da área de química (Química Nova, Revista Virtual de Química e Química: ciência, tecnologia e sociedade), revistas da área de engenharia (Revista Matéria e Exatamente Newton), Revistas de ciências biológicas e ambientais (Acta Brasiliensis) e em revistas multidisciplinares (Destques Acadêmicos, Perspectiva da Ciência e Tecnologia e Research, Society and Development). Aparentemente a ausência de revistas específicas para temas associados a corrosão não é um empecilho para a publicação de artigos, apenas tornar mais dispersa a procura por tais pesquisas.

Quanto ao período das publicações, pelo critério de busca usado, não houve a identificação de artigos publicados entre 2010 e 2013. A frequência de publicação iniciou em 2014, com o artigo de Oliveira e Cardoso (2014), havendo em 2015 a publicação dos artigos de Assis *et al.* (2015), Teixeira *et al.* (2015) e Andrade Neto (2015), enquanto em 2016 não encontramos publicação sobre o tema. No ano de 2017 houve duas publicações, de Dias *et al.* (2017) e Rocha e Gomes, (2017), seguido do artigo de Oliveira *et al.* (2018), em 2018. O ano de 2019 se destacou com o maior número de artigos, um total de seis: Peres *et al.* (2019); Oliveira e Cardoso (2019); Fernandes *et al.* (2019); Santos e Cardoso (2019); Valbon *et al.* (2019) e Silva *et al.* (2019), fechando, em 2020, com o trabalho de Carvalho (2020).

Analisando os autores e seus vínculos, percebeu-se que são alunos e/ou professores de Institutos Federais, Universidades ou Faculdades. Dos quatorze artigos, dez foram desenvolvidos por grupos de pesquisa do Rio de Janeiro, sendo os demais de grupos de São Paulo, Minas Gerais, Ceará e Maranhão (um artigo por estado). Podemos supor que o fato de existir no Rio de Janeiro um polo petrolífero, e que este setor é um grande consumidor de inibidores de corrosão, existe um estímulo para a realização de pesquisas envolvendo corrosão e métodos de proteção, o que explicaria esse maior percentual.

Destacamos que os artigos publicados no Brasil sobre inibidores vegetais, uma temática pontual dentro do universo de pesquisas envolvendo corrosão, apontaram que o tema se mantém atual, e que o ritmo de publicação no país foi similar a identificada em periódicos internacionais. No Brasil, 71% dos artigos dataram dos últimos cinco anos (2016-2020), enquanto internacionalmente esse percentual foi de 56%, no mesmo período.

Na segunda categoria de análise, natureza dos materiais, foram identificados os vegetais usados e as condições de teste como inibidores de corrosão. Iniciando com os vegetais, o Quadro 2 apresenta seus nomes, substâncias presente nas espécies, a parte do vegetal e a forma como foi testada. Um total de dezesseis vegetais foram encontrados, sendo sete deles espécies nativas do Brasil, envolvendo o uso de fruta, fruto, flor e árvore. Neste caso identificamos o maracujá, o murici-da-praia, o caju, o coco-babaçu, o botão-de-ouro, a erva-mate e o ipê-roxo. Nove vegetais não eram nativos do Brasil, mas se adaptaram ao clima brasileiro e são encontrados em vários locais do país, e envolveram o uso de fruta, fruto, flor e árvore. De origem asiática tem-se a laranja, a manga, a uva, a pimenta-negra e o chás branco, preto e verde. Já o mamão é oriundo da América Central, o cafeeiro da África, o hibisco da América do Sul e Central, e o boldo-brasileiro da África e Índia.

Quadro 1. Dados bibliográficos dos artigos selecionados

N	Revista	Edição	Título	Ano
1	Destaques Acadêmicos	v. 9, n. 4	Avaliação de produto natural como inibidor de corrosão para aço carbono em meio ácido em ensaios de tração	2017
2	Exatamente Newton	n.1	Extrato da casca da laranja como inibidor de corrosão	2020
3	Revista Matéria	v. 24, n. 1	Avaliação do chá-branco como potencial inibidor de corrosão	2019
4		v. 24, n. 3	Estudo da eficiência do <i>Orbignya oleifera</i> como inibidor verde de corrosão para aço com baixo teor de carbono comparado com inibidor comercial em solução HCl 1M	2019
5		Suplemento	Inibidores de corrosão naturais - Proposta de obtenção de produtos ecológicos de baixo custo a partir de resíduos industriais	2017
6	Perspectivas da Ciência e Tecnologia	v. 6, n. 1/2	Extrato de <i>Camellia sinensis</i> (L.) Kuntze (THEACEAE) como inibidor de corrosão de origem vegetal	2014
7	Química: ciência, tecnologia e sociedade	v. 4, n. 2	Extrato da folha do “murici” como inibidor da corrosão do aço carbono em meio ácido	2015
8	Química Nova	v. 42, n. 7	Extrato de hibisco-colibri como inibidor verde de corrosão do aço-carbono em ácido sulfúrico	2019
9	Research, society and development	v. 7, n. 12	Inibidor de corrosão ambientalmente seguro: avaliando extratos de <i>Plectranthus barbatus</i> Andrews	2018
10		v. 8, n. 1	Extratos de folhas e flores como inibidores de corrosão de origem vegetal	2019
11		v. 8, n. 2	Extrato do ipê-roxo como inibidor de corrosão para aços em meio ácido	2019
12	Revista Virtual de Química	v. 7, n. 5	Efeito Inibitório do Extrato de <i>Piper nigrum</i> L. sobre a Corrosão do Aço Carbono em Meio Ácido	2015
13		v. 7, n. 25	Estudo da Ação Inibidora do Extrato de <i>Camellia sinensis</i> na Corrosão do Aço-carbono 1020 em HCl 1 mol L ⁻¹	2015
14	Acta Brasiliensis	v.3, n. 1	Uso de extratos naturais como inibidores de corrosão para aço AISI 304	2019

Fonte: Autores.

Quadro 2. Informações sobre os vegetais testados

N	Vegetal	Substâncias destacadas	Parte	Forma de uso
1	Cafeeiro	Cafeína, ácido cafeico e o ácido clorogênico	Folhas	Extrato aquoso
2	Laranjeira	Flavonoides, carotenoides, vitamina C, β -caroteno e limonoides	Casca da fruta	Extrato aquoso
3	Chá-branco	Flavonoides, cafeína, ácido gálico e cumárico	Folhas e galhos	Extrato alcoólico com retirada de solvente por liofilização
4	Coco babaçu	Ácidos graxos	Fruto	Óleo
5	Laranja, Manga, Maracujá, Caju, Mamão e Uva	Não informado	Cascas, bagaço ou semente	Extrato alcoólico ou hidro-alcoólico com retirada de solvente por liofilização
6	Chá-branco	Flavonoides e cafeína	Folhas e galhos	Extrato alcoólico
7	Murici-da-praia	Taninos	Folhas	Extrato alcoólico com retirada do solvente por rotaevaporador
8	Hibisco-colibri	Não informado	Folhas	Extrato hidro-alcoólico com retirada do solvente por rotaevaporador
9	Boldo-brasileiro	Flavonoides, taninos, antraquinonas, saponinas e alcaloides	Folhas	Extrato alcoólico e aquoso
10	Botão-de-ouro	Taninos, saponinas, esteroides, triterpenoides e ácidos orgânicos	Folhas e flores	Extrato alcoólico e aquoso
11	Ipê-roxo	Flavonoides, saponinas, cumarinas, ácidos orgânicos, naftoquinonas, antraquinonas e quinonas	Cascas do caule	Extrato aquoso com retirada de solvente por liofilização
12	Pimenta-negra	Piperidina, piperetina e piperanina	Fruto	Extrato alcoólico com retirada do solvente por rotaevaporador
13	Chá-branco	Polifenóis monoméricos, ácidos gálico e cumárico e cafeína	Folhas	Extrato aquoso com retirada de solvente por liofilização
14	Erva-mate e Chá-preto e Chá-verde	Fenólicos e polifenóis monoméricos, Ácidos gálico e cumárico e cafeína	Folhas	Extrato aquoso e Extrato alcoólico

Fonte: Autores.

O vegetal mais usado foi a *Camellia sinensis*, sendo testada em quatro artigos (3, 6, 13 e 14). É uma planta oriunda das florestas da Índia e do sul da China, sendo responsável pela segunda bebida mais consumida no mundo, o Chá-verde. Seu maior consumo é no oriente, onde residem milhares de hectares de plantação dessa erva (ARAÚJO, 2008). Por mudança no beneficiamento de suas folhas dá origem a oito tipos diferentes de chás, sendo eles: o chá-branco, o chá-verde, o chá-amarelo, o chá-vermelho, o chá-preto, o chá-oolong, o chá-matcha e o chá-banchá. Esses chás dão origem a extratos que podem apresentar compostos orgânicos diferentes e/ou em variadas concentrações. No caso o chá-branco foi o mais testado, em três artigos (3, 6 e 13), com os autores destacando a presença de flavonoides e cafeína em sua composição, com a extração ocorrendo a partir das folhas e galhos. Uma mistura de chá-preto e chá-verde foi testada no artigo (14), sendo indicada a presença de compostos fenólicos e cafeína, com o uso das folhas na extração.

Apesar de utilizarem o mesmo vegetal, os quatro trabalhos apresentaram diferenças que estão na forma de obtenção dos extratos, nos açós testados, nas temperaturas empregadas ou na concentração da solução ácida usada como meio corrosivo.

A laranja foi o segundo vegetal mais estudado, em dois artigos (2 e 5), visando determinar a eficiência dos ativos presentes em sua casca, com a extração feita a partir de infusão para a extração de Flavonoides, carotenoides, vitamina C, β -caroteno e limonoides. De origem chinesa, a laranja é cultivada desde 2500 AC e permaneceu durante muito tempo restrita ao oriente, mas com o passar dos séculos seu fruto foi sendo disseminado para outros locais (BEM ESTAR, 2021). Atualmente, o Brasil é líder mundial na produção de laranjas, o que possibilita o uso dos seus resíduos para inúmeros estudos.

No artigo 5 outros vegetais também foram testados, além da laranja, sendo eles a manga, o maracujá, o caju, o mamão e a uva. Todos são comuns no território brasileiro, e sua proposta foi utilizar partes descartadas dos vegetais como a casca, o bagaço e a semente. Por serem frutos muito diferentes, os autores tiveram que executar metodologias específicas para a extração em cada um deles. Para a uva houve extração hidroalcóolica a partir de refluxo com o bagaço. Nos demais, a extração foi feita por infusão com posterior liofilização, sendo também executada extração por gradiente de polaridade para a manga e a laranja. Apesar de todos os quatorze trabalhos apontarem as vantagens econômicas e ambientais dos inibidores vegetais, somente no artigo 5 os autores incluíram o reaproveitamento de resíduos industriais ao testarem cascas, bagaços e sementes de frutas que são normalmente descartados. Nos demais artigos, as partes usadas das plantas foram diretamente coletadas da natureza, ou adquiridas em lojas e empresas específicas.

No artigo 1, os autores não indicaram qual espécie de cafeeiro foi usada, com a extração sendo feita por decocção em água com o uso das folhas secas. As substâncias destacadas foram: cafeína, ácido cafeico e o ácido clorogênico. Já no artigo 4, os autores fizeram uso do coco-babaçu como inibidor de corrosão para o aço carbono, a partir o uso de seu óleo. Fruto proveniente da palmeira babaçu, nativa da região norte do Brasil e de áreas de cerrado, essa palmeira fornece os cocos-babaçu que são usados, em grande parte, para a extração de seu óleo que possui grande concentração de ácidos graxos.

Muito comum na área litorânea do Brasil e nas áreas de caatinga, o Murici-da-praia é um vegetal de porte pequeno, sendo rico em substâncias antioxidantes como taninos. No artigo 7 esse vegetal foi testado, a partir do extrato obtido de folhas secas imersas em álcool etílico 70%, com posterior retirada do solvente com o auxílio de um rotaevaporador.

Proveniente das Américas do Sul e Central, o Hibisco-colibri é utilizado para ornamentações e para fins nutricionais, por possuir uma grande gama de substâncias benéficas ao corpo humano (ABDELHAFEZ *et al.*, 2018). Foi utilizado como objeto de pesquisa no artigo 8, para a inibição de corrosão em ácido sulfúrico. Na preparação do extrato foram maceradas as folhas do vegetal na presença de etanol e água, em proporção 9:1 v/v, com retirada do solvente a partir do uso do rotavaporador.

Com possível origem na África, o *Plectranthus barbatus* Andrews é vulgarmente conhecido como Boldo-brasileiro, com amplo cultivo no Brasil. Sendo um vegetal bastante utilizado para tratar distúrbios no sistema digestivo e em doenças hepáticas, possui como ativos substâncias como flavonoides, taninos, antraquinonas, saponinas, alcaloides, dentre outros (SCHNEIDER *et al.*, 2010), substâncias que apresentam atividade antioxidante (ARAÚJO, 2008). No artigo 9 foram testados extratos aquoso e etanoico do boldo-brasileiro obtidos, respectivamente, a partir de extração por decocção com posterior liofilização e a maceração. A *Unxia kubitzkii* H. Rob, conhecida popularmente como botão-de-ouro, é uma espécie nativa da flora brasileira (NAKAJIMA, 2015), sendo usada no artigo 10 a partir de extração com o emprego de folhas frescas em etanol e flores secas na presença de água. Ao avaliar o perfil fitoquímico do extrato alcoólico da *Unxia kubitzkii* H. Rob, Pereira e Castro (2007) identificaram a presença de esteroides, triterpenoides e ácidos orgânicos.

No artigo 11 os autores testaram o ipê-roxo, a partir de extrato aquoso obtido pela decocção de cascas do caule com posterior liofilização para a retirada de solvente. O ipê-roxo é facilmente encontrado por toda América latina, sendo comum de norte a sul do Brasil (LORENZI & MATOS, 2002). É rico em naftoquinonas, substâncias com grande potencial farmacêutico (PIRES, 2014), além flavonoides, saponinas, cumarinas, ácidos orgânicos, naftoquinonas, dentre outros, todos presentes na casca do tronco do vegetal (ODAIDA *et al.*, 2009). A pimenta negra ou *Piper nigrum*, testada no artigo 12, possui piperina que é uma amida natural presente em diversas espécies do gênero *Piper*. Além da piperina, a pimenta negra possui grande concentração de alcalóides (ASSIS *et al.*, 2015). Para a extração foi utilizado um sistema de extração via Soxhlet em álcool etílico sob aquecimento.

O Ilex paraguariensis, mais conhecido como erva-mate, é um vegetal de pequeno porte proveniente da mata atlântica, que foi testado no artigo 14, em conjunto com o chá-preto e o chá-verde. A erva-mate possui extração e comércio em escala industrial, sendo usada em diversas áreas como a farmacêutica, cosmética e alimentícia, apresentando boa capacidade de regeneração, o que impediu a diminuição da população vegetal com o início da exploração em escala industrial, sendo ótima candidata a pesquisas para alternativas sustentáveis (CNCFLORA, 2012).

Quanto a parte dos vegetais testadas, em seis artigos houve o uso das folhas (1, 7, 8, 9, 13 e 14), dois empregaram uma mistura de folhas e galhos (3 e 6), um analisou as folhas e as flores separadamente (10), dois usaram o fruto (4 e 12), um avaliou cascas do caule (11), um a casca da fruta (2) e um testou separadamente casca, bagaço ou semente (5). No caso das folhas, e nas misturas folhas e galhos, algumas foram usadas frescas (7, 8, 9 e 10) e outras secas (1, 3, 6 e 14), assim como ocorreu com as flores (10), a casca de caule (11) e os frutos (12), que também estavam secos. O artigo 2 fez uso de cascas recém cortadas, e o artigo 5 de partes descartadas das frutas. Para o coco de babaçu (4) houve a aquisição de óleo produzido industrialmente, enquanto o artigo 13 não deixou claro a forma de uso das folhas testadas.

Percebeu-se um variado uso de partes dos vegetais, sendo importante recordar que as partes de uma planta podem apresentar composições diferentes de compostos orgânicos. A maneira como foram testadas, frescas ou secas, também pode interferir na composição dos extratos, que sofrerá influência direta da natureza do solvente empregado. Neste caso, somente em três pesquisas houve a preocupação de avaliar a influência da natureza do solvente na eficiência dos extratos, sendo testados os extratos aquoso e alcoólico do vegetal. No artigo 14, tanto para as folhas da erva-mate quanto para a mistura chá-preto e verde, o extrato alcoólico apresentou maior eficiência de inibição. Já no artigo 10, o extrato aquoso das flores do botão-de-ouro apresentou maior eficiência de inibição, contudo, os extratos aquoso e alcoólico das folhas apresentaram eficiências bem próximas, com um valor levemente maior para o extrato alcoólico.

Um fato interessante foi observado no artigo 9, no qual foi identificada uma maior eficiência do extrato aquoso do boldo-brasileiro na proteção do aço na presença de HCl, mas esse comportamento foi alterado quando do uso do H₂SO₄ como meio corrosivo, com o extrato alcoólico passando a ser mais eficiente que o aquoso. Nos demais artigos ocorreu o uso de somente um solvente (aquoso, hidro-alcoólico ou alcoólico), sem uma clara informação sobre o motivo da escolha feita. Marzorati *et al.* (2019) destacam que essa dependência da eficiência dos inibidores vegetais na forma como o extrato é obtido, considerando a parte da planta usada e o solvente empregado na extração, é um fato que interfere na replicação de resultados, o que dificulta seu estudo e seu potencial uso comercial.

Ainda sobre os extratos testados, em algumas pesquisas houve a opção pela retirada do solvente, de modo a trabalhar somente com o material extraído do vegetal, fazendo uso de rotaevaporação ou liofilização. Os três artigos que obtiveram os extratos aquoso e alcoólico (9, 10 e 14) não realizaram processo de retirada do solvente. Já dos quatro artigos que usaram apenas o extrato aquoso (1, 2, 11 e 13), dois fizeram uso do liofilizador, enquanto dos seis trabalhos que testaram apenas o extrato alcoólico (3, 5 a 8, e 12), somente um não fez a retirada do solvente, com os demais fazendo uso das duas técnicas (3 por rotaevaporação e 2 por liofilização). Pelo observado, a forma de uso dos extratos, com ou sem solvente, a princípio não interferiu na eficiência de inibição dos vegetais, estando mais relacionada a natureza dos ensaios de corrosão que serão feitos e o tipo de informação que se deseja obter, já que em alguns casos a presença do solvente pode dificultar a realização do ensaio ou interferir nos resultados.

Seguindo na análise das condições nas quais os extratos dos vegetais foram testados, o Quadro 3 apresenta o metal usado, o meio corrosivo e a temperatura empregada, lembrando que o processo corrosivo está intimamente ligado a essas três informações, e que a eficiência do inibidor identificada só se aplica a essas condições de teste.

Quanto ao material metálico, o aço carbono foi o mais testado, em doze artigos, sendo o único material presente em dez deles (1, 3 a 8, 10, 12 e 13), além de dois artigos onde foi estudado junto com um aço inoxidável (9 e 11), sendo observadas variações nos tipos de aço carbono e aço inoxidável usado. Um artigo analisa somente um aço inoxidável (14) e um artigo apresenta o uso de prego (2).

Quadro 3. Informações sobre o material metálico, meio corrosivo e temperatura usada nos artigos

N	Material Metálico	Meio Corrosivo	Temperatura
1	Aço carbono 1020	HCl 1,0 mol.L ⁻¹	25°C
2	Pregos de ferro	H ₂ SO ₄ 1,0 mol.L ⁻¹ , NaCl 1,0 mol.L ⁻¹ e NaOH 1,0 mol.L ⁻¹	20°C a 25°C
3	Aço carbono P110	HCl 1,0 mol.L ⁻¹	25°C
4	Aço carbono ABNT 1020	HCl 1,0 mol.L ⁻¹	30°C
5	Aço carbono SAE 1020	HCl 1,0 mol.L ⁻¹ e neutro	25°C
6	Aço carbono P110	HCl 1,0 mol.L ⁻¹	25°C
7	Aço carbono 1040	HCl 1,0 mol.L ⁻¹	25°C
8	Aço carbono AISI 1020	H ₂ SO ₄ 1,0 mol.L ⁻¹	35°C, 45°C, 55°C e 65°C
9	Aço carbono P110 e Inoxidável duplex 22% Cr	HCl 1,0 mol.L ⁻¹ e H ₂ SO ₄ 0,5 mol.L ⁻¹	25°C
10	Aço carbono P110	HCl 1,0 mol.L ⁻¹	25°C
11	Aço carbono P110 e Inoxidável duplex 22% Cr	HCl 1,0 mol.L ⁻¹	25°C
12	Aço carbono ASTM 1020	HCl 1,0 mol.L ⁻¹	25°C
13	Aço carbono ASTM 1020	HCl 1,0 mol.L ⁻¹	25°C, 35°C, 45°C e 55°C
14	Aço inoxidável AISI 304	HCl 0,1 mol.L ⁻¹	ambiente

Fonte: Autores.

Os aços carbono, quando comparados aos demais aços, geralmente apresentam um custo mais baixo, possuem excelentes propriedades mecânicas, não necessitam de tratamentos elaborados para sua produção (PANOSSIAN, 1993), e possuem boa resistência a corrosão em determinadas condições do dia a dia sendo, por esse motivo, muito empregado na construção civil e nas indústrias. Os aços inoxidáveis também foram alvo de estudos, já que costumam ser usados em processos industriais onde são necessários materiais com maior resistência a formas específicas de corrosão, ou com maior dureza ou melhor soldabilidade, dentre outras (SOUZA, 2001).

Essa tendência estava em consonância com as pesquisas publicadas em revistas internacionais, como destacado no trabalho de Karthiga *et al.* (2015). Contudo, os autores identificaram o alumínio e suas ligas como o segundo material mais usado, ficando os aços inoxidáveis em terceiro lugar. Rani e Basu (2012) também destacaram o grande número de pesquisas analisando o uso de inibidores de origem vegetal na proteção do Al e suas ligas, havendo ainda trabalhos com o uso de zinco e estanho. Ainda sobre o uso de Al, Xhanari *et al.* (2017) apresentaram um estudo de revisão onde o foco são as pesquisas destinadas a proteção do Al e suas ligas, ficando evidente o grande interesse internacional sobre esse metal.

Em relação ao meio corrosivo, o ácido clorídrico foi o mais empregado estando presente em doze artigos, sendo em dez deles (1, 3, 4, 6, 7, 10 a 14) como o único meio testado, e em outros dois artigos foi usado junto com outro meio corrosivo (5 e 9), um deles o meio neutro e em outro o ácido sulfúrico. O ácido sulfúrico foi empregado em mais dois trabalhos (2 e 8), sendo em um deles em conjunto com mais dois meios corrosivos (NaCl e NaOH), e no outro como o único meio testado.

Desta forma, todos os quatorze artigos apresentaram extratos vegetais como inibidores de corrosão para ambientes ácidos, visto serem os inibidores de adsorção de natureza orgânica os mais indicados nessa condição (SCHMITT, 1994). Houve também o teste em um meio salino, um básico e outro neutro. Quanto as concentrações, exceto no artigo 9, onde o H_2SO_4 foi usado na concentração de $0,5 \text{ mol.L}^{-1}$, e no artigo 14 no qual o HCl esteve na concentração de $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$, em todos os demais trabalhos as soluções empregadas estavam na concentração de $1,0 \text{ mol.L}^{-1}$.

A opção por meios ácidos, principalmente HCl e H_2SO_4 se justifica, tendo em vista o grande uso dessas substâncias nas indústrias (RAYNER-CANHAM & OVERTON, 2006). Essas pesquisas seguiram o mesmo padrão do que vinha sendo desenvolvido internacionalmente, como indicado por Karthiga *et al.* (2015), que apontaram para alguns trabalhos envolvendo o uso de meio básico ou neutro. Vale destacar a pesquisa de Asmara *et al.* (2018), que apresentou o uso de inibidores vegetais na proteção de vergalhões de aço em concreto, uma possibilidade não identificada nas pesquisas no Brasil.

Quanto a temperatura de teste, em onze artigos os ensaios foram realizados a 25°C (1 a 3, 5 a 7, 9 a 13). Em três trabalhos (2, 8 e 13) os testes foram realizados com variação na temperatura, para identificar seu efeito na eficiência dos extratos (dois deles incluindo os 25°C). No artigo 4 o ensaio ocorreu a 30°C , e no artigo 14 os autores indicaram que eles foram feitos a temperatura ambiente. Os trabalhos não apresentaram uma clara explicação para a temperatura escolhida, contudo se observa uma tendência no uso da temperatura de 25°C , já que esta é usada como padrão em alguns ensaios e testes. Sangeetha *et al.* (2011) apontaram, em seu artigo de revisão, que a maioria dos trabalhos internacionais sobre o tema tiveram ensaios feitos a temperatura ambiente, com alguns ampliando para altas temperaturas, mesma observação feita por Karthiga *et al.* (2015). Miralrio e Vázquez (2020) trouxeram em seu artigo as temperaturas usadas em alguns trabalhos, sendo identificado que a dita temperatura ambiente varia, ficando nessas pesquisas entorno dos 25°C .

Na terceira categoria de análise, técnicas experimentais, o objetivo foi identificar as técnicas empregadas na obtenção e uso dos extratos, se houve identificação fitoquímica e quais ensaios de corrosão foram realizados, com o Quadro 4 apresentando uma síntese das informações obtidas.

Quanto a forma de obtenção dos extratos dos vegetais, os artigos apresentaram técnicas comumente usadas em laboratório, envolvendo a maceração, infusão ou refluxo, havendo em alguns casos a retirada do solvente a partir de rotaevaporador ou liofilização. No artigo 4 o óleo usado não foi obtido pelos próprios autores, sendo produzido industrialmente pela técnica de prensa a frio, assim como ocorreu com o extrato do bagaço de uva, usado no artigo 5, que foi produzido pela EMBRAPA. Já nos demais trabalhos todos os extratos foram obtidos pelos autores.

Quadro 4. Técnicas experimentais empregadas nos artigos

N	Obtenção do inibidor	Identificação fitoquímica	Ensaio realizado
1	Extração por decocção	Não houve	Gravimétrico e tração
2	Extração por infusão	Não houve	Gravimétrico
3	Extração via Soxhlet e Liofilização	Flavonoides	Gravimétrico, Impedância eletroquímica e polarização
4	Prensa a frio	Não houve	Polarização e Impedância Eletroquímica
5	Extração via Soxhlet, e por infusão com liofilização	Não houve	Gravimétrico, Microscopia eletrônica de varredura
6	Extração via Soxhlet	Flavonoides	Gravimétrico
7	Extração por maceração e rotaevaporador	Não houve	Gravimétrico, Polarização, Espectrofotometria de absorção atômica, Microscopia eletrônica de varredura e Espectroscopia de raios X por dispersão em energia
8	Extração por maceração e rotaevaporador	Porfirinas	Gravimétrico e Microscopia eletrônica de varredura
9	Extração por maceração e extração por decocção	Flavonoides, compostos fenólicos e taninos	Gravimétrico
10	Extração por maceração e refluxo	Não houve	Gravimétrico
11	Extração por decocção e liofilização	Não houve	Gravimétrico
12	Extração via Soxhlet e rotaevaporador	Taninos e material fenólico	Gravimétrico
13	Extração por infusão e liofilização	Flavonoides, cafeína, fenóis e epicatequina	Gravimétrico, polarização, impedância eletroquímica e microscopia eletrônica de varredura
14	Extração por maceração e decocção	Não houve	Potencial de circuito aberto

Fonte: Autores.

Dos nove artigos envolvendo o uso de folhas, mesmo que misturadas aos galhos, cinco deles obtiveram um extrato aquoso, com a técnica de decocção sendo usada em três trabalhos (1, 9 e 14), um artigo empregando refluxo (10) e outro a infusão seguida de liofilização do extrato (13). Em todos a extração envolveu aquecimento do solvente, havendo sua retirada em apenas um dos trabalhos. Já em sete artigos a extração foi alcoólica ou hidro-alcoólica, sendo empregada a técnica de maceração em cinco deles (7 a 10, e 14), com posterior retirada do solvente por rotaevaporação em dois deles. Houve o uso de refluxo com Soxhlet em dois artigos (3 e 6), com um deles retirando o solvente por liofilização. Nesses trabalhos a técnica mais usada foi a maceração a temperatura ambiente, enquanto dois optaram por técnica com aquecimento envolvendo refluxo, com a retirada do solvente ocorrendo em três deles.

No caso do uso da casca de fruta, os artigos 2 e 5 obtiveram extrato aquoso por infusão, havendo posterior processo de liofilização no artigo 5. Já para as cascas de caule (artigo 11) o extrato aquoso foi obtido por decocção com posterior liofilização, enquanto o extrato alcoólico do fruto, obtido no artigo 12, empregou refluxo com Soxhlet e posterior retirada do solvente por rotaevaporação. Para as flores (artigo 10), os extratos aquoso e alcoólico foram obtidos por refluxo com o uso de Soxhlet. Nesses trabalhos também se observou a preferência pelo emprego de técnicas de extração com aquecimento para extrato aquoso, e o uso de Soxhlet em extrato alcoólico.

Foi possível observar, em artigos internacionais, um comportamento similar ao identificado nessa pesquisa. Contudo, Karthiga *et al.* (2015) apontaram trabalhos onde a extração foi realizada a partir de solventes ácidos, o que não foi observado nos artigos selecionados nesse estudo, parecendo não ser uma tendência nas pesquisas no Brasil. Vale destacar que nos artigos internacionais não foi observado um cuidado em detalhar a forma de obtenção do extrato vegetal, muitas vezes se limitando a informar a natureza do solvente usado. Dentre os poucos que apresentaram essas informações, Suleiman *et al.* (2019) e Ogunleye *et al.* (2020) apontaram a obtenção de extrato alcoólico com refluxo utilizando Soxhlet, enquanto Al-Senani *et al.* (2015) relataram o emprego de extração por refluxo com o uso de uma solução de HCl como solvente.

Sobre a realização de análise para a identificação de compostos orgânicos presentes nos extratos, em seis artigos essa etapa foi realizada. Dentre as técnicas usadas, os artigos 3, 6, e 9 fizeram prospecção fitoquímica envolvendo reações específicas com alteração de coloração ou precipitação, enquanto os artigos 9 e 13 empregaram a técnica de cromatografia em camada delgada. Nos artigos 8, 12 e 13 houve o uso de técnicas mais complexas, envolvendo espectroscopia de infravermelho e espectroscopia de ressonância magnética nuclear (RMN). Vale destacar que apesar de nem todos os trabalhos apresentarem a análise do extrato, a quantidade dos que fizeram é relevante, e mostra ser uma preocupação entre os pesquisadores brasileiros, em oposição aos artigos internacionais onde não se observou esta tendência, com Marzorati, Verotta e Trasitti (2019) chamando a atenção para esse fato. Dentre as substâncias identificadas destacaram-se os flavonoides, os compostos fenólicos, porfirinas, taninos e cafeína, todas já previstas, confirmando a eficácia da extração realizada.

Quanto aos ensaios de corrosão realizados, pelo Quadro 4 é possível observar que os ensaios gravimétricos formam os mais usados, estando presentes em doze trabalhos (1 a 3, 5 a 13), sendo o único ensaio realizado em seis deles. Este fato já era esperado e está em consonância com as pesquisas internacionais, como destacado por Karthiga *et al.* (2015), já que os ensaios gravimétricos permitem o cálculo da eficiência de inibição dos extratos sem a necessidade de equipamentos ou aparelhagem sofisticada, podendo ser realizado em bancadas de laboratórios. São ensaios rápidos, que se realizados seguindo norma ASTM G1-03 (ASTM, 2017) apresentam resultados confiáveis, sendo ideais para pesquisas iniciais onde o objetivo é verificar o grau de eficiência de um inibidor.

Em quatro artigos (3, 4, 7 e 13) foram realizados ensaios eletroquímicos, polarização ou impedância, que além de permitirem o cálculo da eficiência de inibição dos extratos também podem trazer informações quanto a dissolução do metal, a identificação de algumas formas de corrosão, o comportamento do inibidor (anódico, catódico ou misto), a formação e o comportamento do filme protetor, dentre outras. Essas informações auxiliam em estudos que visam analisar ou propor um mecanismo para o processo corrosivo e/ou de proteção. Marzorati, Verotta e Trasitti (2019) apontaram, em seu trabalho de revisão, que as pesquisas envolvendo inibidores vegetais se mantêm realizando testes convencionais, como os gravimétricos e os eletroquímicos, apresentando análises fenomenológicas do problema e raramente partindo para questões teóricas envolvendo o mecanismo de adsorção, fato também observado nos artigos analisados nesta pesquisa. Sob esse aspecto, Rani e

Basu (2012) apontaram a modelagem molecular como uma técnica que vem sendo utilizada em alguns trabalhos internacionais, que pode auxiliar no entendimento do mecanismo de proteção envolvendo inibidores vegetais.

Vale destacar que os artigos 5, 7, 8 e 13 empregaram a microscopia eletrônica de varredura (MEV), com o artigo 7 também fazendo uso da espectroscopia de raios X por dispersão em energia (EDX), como forma de analisar a superfície metálica e o filme protetor formado, buscando um melhor entendimento sobre a forma de atuação dos extratos. No artigo 7, a espectrofotometria de absorção atômica foi empregada para calcular a concentração de íons ferro no meio corrosivo, como forma de calcular a eficiência dos extratos. O artigo 14 fez uso do cálculo da variação do potencial em circuito dos eletrodos metálicos para o cálculo da eficiência de inibição dos extratos, podendo ser considerado o ensaio mais simples de todos.

Na quarta categoria de análise, conclusões e eficiência dos extratos, foram analisadas as principais conclusões apresentadas nos artigos selecionados, assim como a eficiência dos extratos vegetais, como indicado no Quadro 5.

Quanto aos valores de eficiência de inibição, ficou evidente a dependência do comportamento dos extratos às condições dos ensaios realizados. Em alguns artigos houve o uso de mais de um extrato (aquoso e alcoólico), com os ensaios ocorrendo com variação na concentração do inibidor, envolvendo metais diferentes em distintos meios corrosivos, e/ou com variação de temperatura, gerando diversas condições de ensaios e sendo calculado, para cada uma delas, a eficiência do extrato.

Citamos como exemplo o artigo 8, no qual a eficiência do extrato vegetal sofreu drástica redução com o aumento do tempo do ensaio. Contudo, esse comportamento foi modificado, e a eficiência permaneceu alta e constante quando os ensaios foram realizados com uma maior concentração do inibidor, ou seja, quando se obteve a concentração ideal de inibição. Já no artigo 9 houve o uso de extrato aquoso e alcoólico do vegetal, que foi testado para aço carbono e inoxidável, na presença de HCl ou H₂SO₄, com as eficiências de inibição apresentando drástica mudança conforme o conjunto usado, sendo obtidos valores que variam de 96,80% a 14,93%. Sendo assim, nos casos em que houve múltiplas condições de ensaios, somente o maior e o menor valor de eficiência de inibição foram apresentados no Quadro 5.

Não existe na literatura uma definição clara a partir de qual valor de eficiência de inibição uma substância pode ser considerada como potencialmente interessante. Existem casos nos quais o meio é tão agressivo que até para valores de eficiência acima de 90% o processo corrosivo ainda se mantém alto. Nestes casos se observa a queda na velocidade do processo corrosivo, e se utiliza o inibidor para reduzir a corrosão, o que já é uma vantagem. Sendo assim, consideramos que inibidores que apresentam eficiência de inibição abaixo de 90% podem não ser potencialmente interessantes para uso comercial, principalmente em meios ácidos que são bem agressivos.

Como todos os artigos selecionados envolveram o uso de ambiente ácido, partimos do princípio de que os melhores resultados, e com potencial uso comercial, foram aqueles com eficiência de inibição próxima de 90%. Nesse caso, os artigos 3, 5, 6, 8, 9, 10 e 12 se destacaram, apresentando extratos com eficiência de inibição acima de 90%, em alguns deles sendo bem próximas de 100%. Também apontamos os artigos 1, 11 e 13, que apresentaram extratos com eficiência de 89%.

Quadro 4. Eficiência de inibição e conclusões presentes nos artigos

N	Eficiência de inibição	Conclusões
1	89,43%	O extrato da folha do cafeeiro apresentou comportamento satisfatório na inibição da corrosão do aço carbono em solução ácida, atenuando na redução de suas propriedades mecânicas e fragilização nos processos de fratura sob corrosão.
2	70,89% a 55,42%	O extrato da laranja reduziu o processo de corrosão, apresentando maior eficiência de inibição no meio salino, seguido pelo meio ácido. No meio básico não houve um processo acentuado de corrosão, de modo que não foi possível verificar a eficiência do extrato.
3	90,20%	O extrato do chá-branco apresentou-se como potencial inibidor de corrosão, causando redução nos valores de densidade de corrente, com a curva de polarização catódica apresentando redução mais acentuada.
4	56,45%	O óleo <i>Orbignya oleifera</i> reduziu as densidades de corrente em determinadas concentrações, com o processo de adsorção ocorrendo nas reações catódicas e anódicas da superfície metálica.
5	97,00% a 20,00%	Os extratos testados foram mais eficientes em meio ácido, com o extrato de bagaço de uva sendo o de maior eficiência nos meios ácido e neutro. Os resultados indicaram o potencial uso de resíduos da indústria alimentícia como inibidores de corrosão, para o meio ácido e neutro.
6	92,51%	O extrato alcoólico do chá-branco mostrou-se uma opção para a formulação de inibidores, com a necessidade de ensaios adicionais para determinar a concentração ideal de uso.
7	49,00%	O extrato das folhas do murici foi um razoável inibidor de corrosão em meio ácido. As imagens micrográficas revelaram menor formação de produtos de corrosão sobre a superfície metálica na presença do extrato, sendo verificada a sua influência na reação catódica.
8	97,50% a 26,10%	O extrato do hibisco-colibri apresentou boa eficiência de inibição em meio ácido, com redução na eficiência com o aumento do tempo e em baixa concentração, sendo estável em alta concentração. O extrato foi considerado eficiente e estável na variação de tempo e temperatura.
9	96,80% a 14,93%	Os extratos do boldo-brasileiro mostraram-se viáveis como inibidores de corrosão do aço carbono em ácido clorídrico e sulfúrico, contudo não apresentaram resultados que justifiquem seu uso para o aço inoxidável.
10	93,67% a 72,13%	O extrato aquoso das folhas do botão-de-ouro apresentou valor de eficiência de inibição superior a 90%, indicando seu potencial como inibidor, enquanto o extrato alcoólico das flores apresentou eficiência na faixa de 70%, o que, a princípio, não justificou seu uso.
11	89,26% a 54,93%	O extrato do ipê-roxo se apresentou como um potencial inibidor de corrosão para o aço carbono em meio ácido, contudo para o aço inoxidável o extrato obteve pior desempenho, o que, a princípio, não justifica o investimento para seu uso comercial.
12	97%	Houve alta eficiência de inibição do extrato bruto de pimenta-negra em todas as concentrações usadas. O método de extração usado foi simples e apresentou bons rendimentos.
13	89%	O extrato aquoso do chá-branco se mostrou eficiente como inibidor de corrosão do aço carbono na maior concentração testada, com a diminuição ocorrendo pela adsorção das moléculas presentes no extrato sobre a superfície do aço.
14	-	O extrato etanoico da erva-mate apresentou resultado melhor que o extrato aquoso nas condições de ensaio. Já os extratos aquoso e alcoólico dos chás preto e verde, assim como o extrato aquoso da erva-mate, acarretaram pequena alteração no valor do potencial de corrosão.

Fonte: Autores.

Desses dez artigos, três analisaram extratos do chá-branco (aquoso e alcoólico), apontando esse chá da *Camellia sinensis* como um vegetal que merece estudos complementares visando seu uso comercial, com os demais artigos apresentando sua melhor eficiência para o uso da uva, hibisco-colibri, boldo-brasileiro, cafeeiro, botão-de-ouro, pimenta e ipê-roxo. Vale destacar que no artigo 5 foram testados outros vegetais além da uva, no caso a manga, o caju, o maracujá e a laranja, cujos extratos também apresentaram eficiência de inibição acima de 90%. Sendo assim, nesse conjunto de vegetais tivemos o botão-de-ouro, o ipê-roxo, o maracujá e o caju como vegetais nativos do Brasil.

Os artigos 2, 4 e 7, nos quais foram analisados extratos da casca da laranja, óleo de coco babaçu e murici-da-praia, que apresentaram valores de eficiências de inibição de, respectivamente, 70,80%, 56,45% e 49,00%, apesar de apresentarem redução na inibição do processo corrosivo, e sob esse ponto de vista serem eficientes, a princípio não justificariam os custos relativos aos testes e procedimentos que seriam necessários para melhorar a eficiência, somados aqueles necessários para torná-los aptos para uso comercial. O artigo 14 foi o único a não apresentar valores da eficiência de inibição dos extratos da erva-mate e do chá preto e verde, por conta do tipo de ensaio realizado, o que compromete a análise dos resultados. Contudo, houve pouca variação no potencial medido, sugerindo que não ocorreu significativa redução no processo corrosivo, principalmente com o uso dos chás preto e verde.

CONCLUSÃO

A pesquisa avaliou artigos científicos publicados em revistas brasileiras, entre os anos de 2010 e 2020, tendo como temática o uso de inibidores de corrosão de origem vegetal. No recorte realizado foram identificados quatorze artigos, quantitativo considerado bom, tendo em vista o universo de temas que são estudados envolvendo processos corrosivos e métodos de proteção, o que sugere que a temática se mantém interessante e com potencial de crescimento. Dentre os dezesseis vegetais testados nos artigos, sete eram nativos do Brasil, com os extratos de quatro deles, o botão-de-ouro, o ipê-roxo, o maracujá e o caju, apresentando eficiência de inibição acima de 90%.

Na obtenção dos extratos foram usadas diversas técnicas de extração, havendo em alguns casos a retirada do solvente por rotaevaporação ou liofilização. Na obtenção de extrato aquoso houve preferência pelo uso de técnicas com aquecimento (decoção e infusão), enquanto para o extrato alcoólico ou hidro-alcoólico a técnica mais usada foi a maceração realizada a temperatura ambiente, seguida pela técnica de refluxo com uso de aparelho de soxhlet. As folhas foram a parte dos vegetais mais usadas, assim como o metal mais testado foi o aço carbono, tendo como principal meio corrosivo uma solução de HCl 1mol.L⁻¹, com os ensaios ocorrendo, preferencialmente, a temperatura de 25°C. Os ensaios de corrosão envolveram técnicas clássicas (ensaios gravimétricos, polarização e impedância eletroquímica), muito embora alguns artigos tenham apresentado condições um pouco diferentes envolvendo, por exemplo, microscopia eletrônica de varredura e espectroscopia de raios-X por dispersão em energia.

Comparando os trabalhos selecionados com artigos internacionais publicados no mesmo período, identificamos que as pesquisas nacionais seguiram um padrão semelhante às desenvolvidas internacionalmente, muito embora essas últimas tenham apresentado uma maior variedade de metais testados, enquanto nas pesquisas nacionais existiu uma predominância dos aços carbono e inoxidável. Em contrapartida, nas pesquisas nacionais houve uma tendência para a realização de ensaios visando a identificação de compostos orgânicos presentes nos extratos, o que não foi observado nas pesquisas internacionais.

Verificou-se o potencial dos extratos vegetais para uso como matéria ativa na formulação de inibidores de corrosão, tendo em vista os resultados de eficiência de inibição na faixa de 90% identificados em alguns trabalhos. Contudo, avaliamos a necessidade de que os resultados estejam acompanhados pelo maior número possível de informações sobre as etapas envolvidas na pesquisa. Essas informações são fundamentais para que possam ser replicados e corretamente analisados, tendo em vista a dependência da eficiência de inibição dos extratos às condições usadas nos ensaios, de modo a permitir seu uso comercial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDELHAFEZ OH; FAWZY MA; FAHIM JR; DESOUKEY SY; KRISCHKE M; MUELLER MJ; ADBELMOHSEN UR. Hepatoprotective potential of *Malvaviscus arboreus* against carbon tetrachloride-induced liver injury in rats. **Plos One** **13**(8), 1-18, 2018.
- ALBUQUERQUE MA; OLIVEIRA MCC; 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.
- AL-SENANI GM; AL-SAEEDI SI; ALMUFARIJ R. Green Corrosion Inhibitors for Carbon Steel by Green Leafy Vegetables Extracts in 1 M HCl. **Oriental Journal of Chemistry** **31**(4), 2077-2086 2015.
- ANDRADE-NETO, MF. Extrato da folha do “murici” como inibidor da corrosão do aço carbono em meio ácido. **Química: Ciência, Tecnologia e Sociedade** **2**(4), 1-13, 2015.
- ARAÚJO TAS. **Taninos e flavonoides em plantas medicinais da caatinga: um estudo de etnobotânica quantitativa** [dissertação]. [Recife (PE)]: Universidade Federal de Pernambuco; 2008. 71 p.
- ASSIS BVR; MEIRA FO; PINA VGSS; ANDRADE GF; COTRIM BA; RESENDE GO; D’ELIA E; SOUZA FC. Efeito Inibitório do Extrato de *Piper nigrum* L. sobre a Corrosão do Aço Carbono em Meio Ácido. **Revista Virtual de Química** **7**(5), 1-11, 2015.
- ASMARA YP; KURNIAWAN T; SUTJIPTO AGE; JAFAR J. Application of Plants Extracts as Green Corrosion Inhibitors for Steel in Concrete - A review. **Indonesian Journal of Science & Technology** **3**(2), 158-170, 2018.
- ASTM [Internet]. ASTM; 1996-2022. **ASTM G1-03-Standard practice for preparing, cleaning and evaluating corrosion test specimens**; [citado 2017 Dec 08]. Disponível em: <https://www.astm.org/g0001-03r17e01.html>.
- BARRETO LS; TOKUMOTO MS; GUEDES IC; MELO HG; AMADO FDR; CAPELOSSI VR. Evaluation of the anticorrosion performance of peel garlic extract as corrosion inhibitor for ASTM 1020 carbon steel in acidic solution. **Revista Matéria** **22**(3), e11852, 2017.
- Bem Estar [Internet]. Nutrição Prática & Saudável; 2011-2018. A origem da laranja e seus diversos tipos; [citado 2015 Mar 24]. Disponível em: <http://www.nutricaoopraticaesaudavel.com.br/bem-estar/origem-da-laranja-e-tipos/>.
- CARVALHO KG; LIMA LSSE; PEREIRA TG; LATADO OS. Extrato da casca da laranja como inibidor de corrosão. **Revista Exatamente Newton** **1**, 125-134, 2020.
- CNCFlora [Internet]. Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro. *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil.; [citado 2012 Out 10]. Disponível em: http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Ilex_paraguariensis.
- DEGÁSPARI CH; WASZCZYNSKYJ N. Propriedades antioxidantes de compostos fenólicos. **Visão Acadêmica** **5**(1), 33 - 40, 2004.
- DIAS CC; BATISTA KCF; BANDEIRA KKB; ABREU CV; MAGALHÃES MLM; PEREIRA SEB. Avaliação de produto natural como inibidor de corrosão para aço carbono em meio ácido em ensaios de tração. **Revista Destaques Acadêmicos** **9**(4), 1-11, 2017.
- FELIPE MBMC, MACIEL MAM, MEDEIROS SRB, SILVA DR. Aspectos gerais sobre corrosão e inibidores vegetais. **Revista Virtual de Química** **5**(4), 746-758, 2013.
- FERNANDES LD; RUAS LV; SILVA AA; CASTRO DL; CARDOSO SP. Extratos de folhas e flores como inibidores de corrosão de origem vegetal. **Research, Society And Development** **8**(1), 1-14, 2019.
- GENTIL V. **Corrosão**. 6 ed. Rio de Janeiro: LTC; 2011. 376 p.
- GIL AC. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4 ed. São Paulo: Atlas; 2002. 192 p.
- JESUS MES; SANTOS AM; TOKUMOTO MS; COTTING F; AQUINO IP; CAPELOSSI VR. Evaluation of Efficiency of avocado seed powder (*Persea Americana*) as a corrosion inhibitor in SAE 1008 carbon steel in acidic médium. **Brazilian Journal of Development** **6**(10), 77197-77215, 2020.

- KARTHIGA N; RAJENDRAN S; PRABHAKAR P; RATHISH RJ. Corrosion inhibition by plant extracts-An overview. **International Journal of Nano Corrosion Science and Engineering** 2(4), 31-49, 2015.
- LORENZI H, MATOS FJA. **Plantas Medicinais no Brasil: nativas e exóticas**. 2 ed. São Paulo: Instituto Plantarum; 2002. 416 p.
- MARZORATI S; VEROTTA L; TRASATTI SP. Green Corrosion Inhibitors from Natural Sources and Biomass Wastes. **Molecules** 48, 1-24, 2019.
- MIRALRIO A; VÁZQUEZ AE. Plant Extracts as Green Corrosion Inhibitors for Different Metal Surfaces and Corrosive Media: A Review. **Processes** 8, 2-27, 2020.
- MORAIS SM; CAVALCANTI ESB; COSTA SMO.; AGUIAR LA. Ação antioxidante de chás e condimentos de grande consumo no Brasil. **Revista Brasileira de Farmacognosia** 19(1), 315 - 320, 2009.
- NAKAJIMA JN. Refflora [Internet]. Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro. *Unxia kubitzkii* H.Rob.; [citado 2015]. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB80741>.
- NNANNA L; NNANNA G; NNAKAIFE J; EKEKWE N; ETI P. Aqueous Extracts of *Pentaclethra macrophylla* Bentham Roots as Eco-Friendly Corrosion Inhibition for Mild Steel in 0.5 M KOH Medium. **International Journal of Materials and Chemistry** 6(1), 12-18, 2016.
- ODAIDA C, OSAIDA CC, SILVA JR AA. **Plantas medicinais e plantas bioativas tóxicas utilizadas no Brasil** [CD-ROM], 2009.
- OGUNLEYE OO; ARINKOOLA AO; ELETTA OA; AGBEDE OO; OSHO YA; MORAKINYO AF; HAMED JO. Green corrosion inhibition and adsorption characteristics of *Luffa cylindrica* leaf extract on mild steel in hydrochloric acid environment. **Heliyon** 6, e03205, 2020.
- OLIVEIRA DF; SILVA CG; CARDOSO SP. Inibidor de corrosão ambientalmente seguro: avaliando extratos de *Plectranthus barbatus* Andrews. **Research, Society And Development** 7(12), 1-20, 2018.
- OLIVEIRA TM; CARDOSO SP. Extrato de *Camellia sinensis* (L.) Kuntze (THEACEAE) como inibidor de corrosão de origem vegetal. **Perspectivas da Ciência e Tecnologia** 1/2(6), 1-8, 2014.
- OLIVEIRA TM; CARDOSO SP. Avaliação do chá branco como potencial inibidor de corrosão. **Matéria** 24(1), 1-9, 2019.
- PANOSSIAN Z. **Corrosão e proteção contra corrosão em equipamentos e estruturas metálicas**. 1 ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas; 1993. 636 p. 2 Vol.
- PEREIRA AC.; CASTRO DL. Prospecção Fitoquímica e Potencial Citotóxico de *Unxia kubitzkii* H.Rob. (Asteraceae-Heliantheae). **Revista Brasileira de Biociências** 5(2), 231-233, 2007.
- PERES J; CONDE R; BEZERRA C; COSTA R; REIS G; SOUZA MEP; NASCIMENTO C. Estudo da eficiência do *Orbignya oleifera* como inibidor verde de corrosão para aço com baixo teor de carbono comparado com inibidor comercial em solução HCl 1M. **Matéria** 24(3), 1-13, 2019.
- PINTO AC; SILVA DHS; BOLZANI VS; LOPES NP; EPIFÂNIO RA. Produtos Naturais: atualidade desafios e perspectivas. **Química Nova** 25(1), 45-61, 2002.
- PIRES TCSP. **Comparação da Bioatividade do Entrecasco e Diferentes Formulações de Pau D'Arco (*Tabebuia impetiginosa* Martius ex DC)** [dissertação]. [Bragança]: Universidade de Salamanca; 2014. 47 p.
- PORTAL FATOR BRASIL [Intenet]. Fator Brasil; 2006-2022. Brasil perde 4% do PIB com corrosão; [citado 2016 Dez 22]. Disponível em: http://www.revistafatorbrasil.com.br/ver_noticia.php?not=334281#.
- RAJA PB, SEYHURAMAN MG. Natural products as corrosion for metals in corrosive media – A review. **Material Letters** 62, 113-116, 2008.
- RAMANATHAN LV. **Corrosão e Seu Controle**. São Paulo: Ed. Hemus; 1988. 344 p.
- RANI BEA; BASU BBJ. Green Inhibitors for Corrosion Protection of Metals and Alloys: an overview. **International Journal of Corrosion**, 2012, 1-15, 2012.
- RAYNER-CANHAM G, OVERTON T. **Descriptive Inorganic Chemistry**. 3 ed. New York: Editora W.H. Freeman; 2006. 768 p.
- ROCHA JC; GOMES JACP. Inibidores de corrosão naturais - Proposta de obtenção de produtos ecológicos de baixo custo a partir de resíduos industriais. **Revista Matéria** 22(1), 1-10, 2017.
- SANGEETHA M; RAJENDRAN S; MUTHUMEGALA TS; KRISHNAVENI A. Green corrosion inhibitors-An Overview. **Zaštita materijala** 52, 3-19, 2011.
- SANTOS DC; CARDOSO SP. Extrato do ipê-roxo como inibidor de corrosão para aços em meio ácido. **Research, Society And Development** 8(2), 1-22, 2019.

- SCHMITT G. **Inhibition in acid media.** *In:* A working party report on corrosion inhibitors, European Federation of Corrosion Publications n° 11, chapter 5, Published for The European Federation of Corrosion by The Institute of Materials, 1994.
- SCHNEIDER REG, TIETBOHL LAC, PEREIRA KB, DENARDIN ELG, FARIAS FM, MOREIRA CM. Estudo morfoanatômico e screening fitoquímico das folhas de *Plectranthus barbatus* Andrews (Lamiaceae). **Salão de iniciação científica; 2010**; Porto Alegre. Porto Alegre: UFRGS, 2010.
- SILVA JA; CAPO GS; RIBEIRO MMS; SILVA MMP. Uso de extratos naturais como inibidores de corrosão para o aço AISI 304. **Acta Brasiliensis** 3(1), 21-24, 2019.
- SILVA PF. **Introdução à corrosão e proteção das superfícies metálica.** Belo Horizonte: Imprensa Universitária da UFMG; 1981. 354 p.
- SOARES MHFB; GARCEZ ESC. Um estudo do estado da arte sobre a utilização do lúdico em ensino de química. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências** 17(1), 183-214, 2017.
- SULEIMAN IY; KASIM A; OCHU SR. Anti- corrosion Properties of Ethanol Extract of *Cardiospermum halicacabum* Leaf on Steel Pipelines in Acidic Environment. **Journal of Bio- and Tribo-Corrosion** 5(65), 1-13, 2019.
- SOUZA SA. **Composição Química dos Aços.** São Paulo, Editora Edgard Blücher LTDA; 2001. 144 p.
- TEIXEIRA VM; SANTOS EC; REZENDE MJC; D'ELIA E. 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, 2015.
- VALBON A; RIBEIRO BF; SOARES MAF; OLIVEIRA MCC; NEVES MA; ECHEVARRIA A. Extrato de hibisco-colibri como inibidor verde de corrosão do aço-carbono em ácido sulfúrico **Química Nova** 42(7), 797-802, 2019.
- XHANARI K; FINSGAR M; HRNCCICC MK; MAVER U; KNEZ Z; SEITI B. Green corrosion inhibitors for aluminium and its alloys: a review. **RSC Advances**,7, 7299–27330, 2017.
- WANG YC, CHUANG YC, HSU HW. The flavonoid and pectin content in peels of citrus cultivated in Taiwan. **Food Chemistry** 106, 277-284, 2008.

