

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA  
*CAMPUS CAJAZEIRAS*

GEORDANNE ELOAN SILVA DE ABREU

**BIOINIBIDORES DE CORROSÃO NO AÇO DO CONCRETO ARMADO: UMA  
REVISÃO**

Cajazeiras-PB  
2025

GEORDANNE ELOAN SILVA DE ABREU

**BIOINIBIDORES DE CORROSÃO NO AÇO DO CONCRETO ARMADO: UMA  
REVISÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba-*Campus* Cajazeiras, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil, sob Orientação do Prof. Dr. Robson Arruda dos Santos.

Cajazeiras-PB  
2025

IFPB / Campus Cajazeiras  
Coordenação de Biblioteca  
Biblioteca Prof. Ribamar da Silva  
Catalogação na fonte: Cícero Luciano Félix CRB-15/750

A162b Abreu, Geordanne Eloan Silva de.

Bioinibidores de corrosão no aço do concreto armado : uma revisão  
/ Geordanne Eloan Silva de Abreu. – Cajazeiras, 2025.

13f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia  
Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da  
Paraíba, Cajazeiras, 2025.

Orientador: Prof. Dr. Robson Arruda dos Santos.

1. Construção civil. 2. Concreto armado. 3. Corrosão de aço. 4.  
Inibidor biológico. I. Instituto Federal da Paraíba. II. Título.

IFPB/CZ

CDU: 624.05(043.2)

**GEORDANNE ELOAN SILVA DE ABREU**

**BIOINIBIDORES DE CORROSÃO NO AÇO DO CONCRETO ARMADO: UMA REVISÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso, sob forma de artigo, submetido à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, *Campus* Cajazeiras, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em 19 de março de 2025.

**BANCA EXAMINADORA**

Documento assinado digitalmente  
 **ROBSON ARRUDA DOS SANTOS**  
Data: 01/04/2025 08:26:54-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Dr. Robson Arruda dos Santos – IFPB-*Campus* Cajazeiras  
Orientador

Documento assinado digitalmente  
 **SUELIO FERNANDES CAROLINO**  
Data: 31/03/2025 19:58:46-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Suelio Fernandes Carolino – IFPB-*Campus* Cajazeiras  
Examinador 1

Documento assinado digitalmente  
 **MARINA CARTAXO BRAGA MORAIS DE OLIVEIRA**  
Data: 31/03/2025 18:13:48-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Marina Cartaxo Braga Moraes de Oliveira  
Examinador 2

## CURSO SUPERIOR DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

Artigo apresentado à coordenação do curso como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil

### BIOINIBIDORES DE CORROSÃO NO AÇO DO CONCRETO ARMADO: UMA REVISÃO

**Geordanne Eloan Silva de Abreu**  
geordanneab@hotmail.com  
**ROBSON ARRUDA DOS SANTOS**  
robson.santos@ifpb.edu.br

#### RESUMO

Os bioinibidores são substâncias sustentáveis e biodegradáveis extraídas da natureza, de forma que o seu extrato possa inibir ou retardar a corrosão do aço sem causar nenhum impacto ambiental. Para encontrar possíveis inibidores verdes é preciso compreender a passivação da armadura devido à alta alcalinidade do concreto que forma uma película protetora sobre o aço, essa camada pode ser rompida devido a diversos fatores mecânicos, químicos e eletrolíticos, permitindo a ação de agentes agressivos como carbonatação e ataque de cloretos. Este artigo discute como ocorre a corrosão do aço e os potenciais compostos orgânicos a serem uma alternativa análoga aos inibidores de corrosão tradicionais, principalmente os comumente usados com base em nitritos. Os inibidores verdes serão mostrados por meio da seleção e análise bibliográfica de artigos, revistas, dissertações e dentre outros encontrados, sendo comparados com relação a suas eficácias de proteção do aço, de maneira a sintetizar potenciais inibidores naturais de corrosão, levando em consideração a eficiência de inibição.

**Palavras-Chave:** bioinibidores; plantas; corrosão; concreto armado; sustentabilidade.

#### ABSTRACT

Bioinhibitors are sustainable and biodegradable substances extracted from nature, so that their extract can inhibit or delay steel corrosion without causing any environmental impact. To find possible green inhibitors, it is necessary to understand the passivation of the reinforcement due to the high alkalinity of the concrete that forms a protective film on the steel. This layer can be broken due to mechanical, chemical and electrolytic factors, allowing the action of aggressive agents such as carbonation and chloride attack. This manuscript discusses potential organic compounds to be an analogous alternative to traditional corrosion inhibitors, mainly those commonly used based on nitrites. Green inhibitors will be shown through the selection and bibliographic analysis of articles, journals, dissertations and others found, being compared in relation to their steel protection efficacies, in order to synthesize potential natural corrosion inhibitors, taking into account the inhibition efficiency.

**Keywords:** bioinhibitors; plants; corrosion; reinforced concrete; sustainability.

## 1 INTRODUÇÃO

A utilização do concreto armado como parte estrutural na construção civil é uma prática consolidada, entretanto, um dos maiores desafios enfrentados é a corrosão do aço presente na estrutura, pois além de ser a mais recorrente, pode acarretar a ruptura parcial ou total da estrutura de acordo com Schmoeller e Lima (2021).

A deterioração do aço presente em estruturas de concreto representa um desafio considerável na engenharia civil, afetando a durabilidade e a segurança das edificações, que de acordo com Silva (2006) é principalmente um processo eletroquímico que se desencadeia na presença de água, íons e oxigênio. Além disso, vários fatores internos, como a espessura da camada de proteção, a capacidade do concreto

de deixar passar substâncias, sua resistência elétrica, o ambiente onde a estrutura está localizada, o tipo de materiais utilizados na construção, até mesmo os essencialmente implementados de cimento, areia e pedra britada, desempenham papéis cruciais na rapidez desse desgaste corrosivo, exercendo uma influência significativa no desenvolvimento desse processo. A compreensão e o combate a esses processos corrosivos são alvo de investigações extensas, sendo definidos vários parâmetros de proteções aplicáveis, entre elas a forma da incorporação de agentes artificiais para inibir a corrosão, entretanto, debates compõem as principais buscas por soluções que sejam mais sustentáveis ao meio ambiente e que não ofereçam um risco socioambiental futuro.

Os inibidores naturais são substâncias obtidas a partir de extratos vegetais ou de rejeitos biodegradáveis, sendo formados por moléculas antioxidantes capazes de reduzir os processos corrosivos. Devido a esses fatores, diversas pesquisas vêm sendo realizadas nos últimos anos com o intuito de verificar a eficácia desses extratos ecologicamente adequados como uma alternativa viável na minimização dos impactos ambientais e econômicos que os inibidores sintéticos vêm causando devido a sua alta toxicidade e custos (Bezerra, 2022).

O estudo dos bioinibidores de corrosão no aço permite analisar seus mecanismos de ação, suas características, potencial aplicabilidade na preservação e manutenção de estruturas de concreto, além de que segundo Dantas (2018), os inibidores sustentáveis têm adquirido uma importância significativa tanto no âmbito acadêmico, impulsionando pesquisas, quanto na esfera industrial, onde encontram aplicações práticas. Esses bioinibidores, também conhecidos como inibidores verdes, caracterizam-se por substâncias que se harmonizam com o meio ambiente, podendo ser categorizados como orgânicos, sendo retirados a partir de extratos naturais que possuem princípios ativos que oferecem uma gama diversificada de possibilidades para estudo, o que aponta para um vasto campo de investigação na área que deve ser ainda explorado.

Diante desse contexto, este estudo busca responder as seguintes questões: como ocorre a corrosão do aço no concreto armado? Há diferenças dos inibidores artificiais e naturais? como atuam os bioinibidores? São eficientes?

Esta pesquisa se justifica pela necessidade de encontrar alternativas sustentáveis aos inibidores sintéticos, que apresentam alta toxicidade e custo elevado. Os bioinibidores despontam como uma solução promissora, conciliando eficácia e menor impacto ambiental.

## **2 MÉTODO DA PESQUISA**

Este estudo teve uma abordagem qualitativa, buscando compreender como ocorre a corrosão da armadura do concreto armado, ao passo que apresenta bioinibidores como uma solução sustentável de inibição de corrosão.

Quanto a natureza, foi realizada uma pesquisa básica fundamentada em uma revisão bibliográfica baseada a partir de livros, revistas, artigos, monografias, dissertações e teses. O objetivo foi identificar e analisar os fundamentos dos bioinibidores de corrosão no concreto armado, selecionando substâncias naturais com potencial inibitório.

Além disso, realizou-se uma pesquisa de caráter exploratório, visando proporcionar uma maior familiaridade com os problemas na corrosão em estruturas de concreto e os problemas ambientais acarretados da utilização dos principais inibidores vendidos comercialmente. O conhecimento dos princípios ativos das plantas também se demonstrou essencial, pois compreende diretamente na formação dos extratos constituinte dos bioinibidores.

Quanto aos procedimentos metodológicos, utilizou-se de base de dados da Scopus e *Wef of Science* que foram acessados pelo Portal de Periódicos da CAPES. Para garantir a relevância dos estudos, aplicaram-se filtros com palavras-chave específicas ao tema (green corrosion inhibitor, reinforced concrete, rebars corrosion, ...) possibilitando a seleção de artigos científicos alinhados aos bioinibidores. Com as pesquisas bibliográficas de trabalhos já publicados, será possível combinar dados encontrados da parte teórica com ensaios experimentais realizados por uma solução simulada de poros de concreto e diretamente no concreto, permitindo avaliar quais bioinibidores apresentaram uma maior proteção do aço.

### 3 RESULTADOS DA PESQUISA

#### 3.1 BIOINIBIDORES NA PREVENÇÃO DA CORROSÃO NO AÇO DO CONCRETO ARMADO

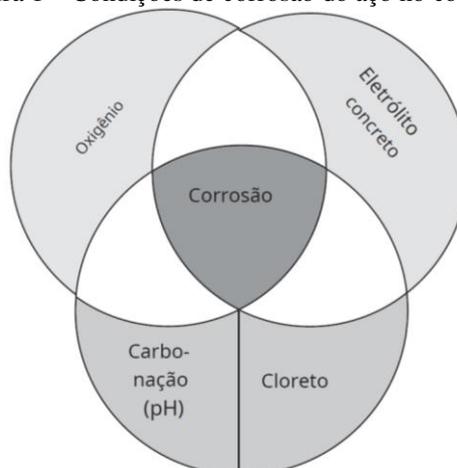
Os bioinibidores tem a concepção de serem sustentáveis e abundantes na natureza, de forma que não causem nenhum impacto ambiental ao serem extraídos ou descartados, afinal são produtos biodegradáveis. De acordo com Casanova *et al.* (2023) eles geralmente são feitos de plantas naturais ou resíduos que são abundantemente encontrados em vários países, os bioinibidores são classificados de acordo com a sua natureza e o mecanismo de inibição. É essencial compreender como ocorre a despassivação da armadura no concreto para assim haver a corrosão do aço, com estas informações será possível a discutir como os inibidores verdes mencionados na revisão atuam na prevenção ou retardamento da corrosão.

A passivação da armadura do concreto é essencial para evitar a corrosão do aço. Ela consiste em uma película protetora que impede a deterioração da armadura, contudo ela é criada segundo Silva (2006, p. 75) de uma forma natural pela mistura do concreto com o aço, isolando a superfície do aço com um filme passivo e muito aderente que protege contra agentes agressivos que venham futuramente a causar ou desencadear a corrosão. O ambiente configurado pela mistura de cimento, agregado inerte e água de acordo com Casanova *et al.* (2023) apresenta um sistema alcalino de alto pH que traz vantagens para o aço carbono na armadura, favorecendo a passivação da armadura espontaneamente com uma camada de hematita e magnetita que são caracterizadas por proteger o metal do contato de agentes agressivos e por ataques localizados.

A corrosão se inicia com a degradação da camada passiva do aço, esse processo é chamado de despassivação do aço, que segundo Silva (2006, p. 77) é ocasionado com a ruptura da película protetora por diversos fatores, dentro os quais se destaca os químicos, mecânicos e eletrolíticos, que acabam deixando o aço exposto a corrosão a medida que retiram ou prejudicam a camada passiva, favorecendo a progressão de ações nocivas, sendo principalmente de carbonatação e o ataque de cloretos que fazem a despassivação da camada protetora do aço presente no concreto.

Os processos corrosivos do aço são complexos, pois a despassivação da armadura do concreto pode ocorrer por diversos motivos, sejam elas por interações ambientais, mão de obra, materiais utilizados, métodos de execução, dentre outros, então cabe uma análise detalhada a fim de apontar as principais causas da corrosão, considerando que elas geralmente estão combinadas. Levando em conta apenas o processo corrosivo, de acordo com Böhni (2005) existem quatro condições essenciais que devem ser cumpridas para ocorrer e manter o processo corrosivo do aço no concreto, é dito que: esteja presente o oxigênio como força motriz da reação, o concreto deve ser um meio a favorecer eletrólitos, haja a quebra da camada passiva (acarretada pela carbonatação e/ou ação de cloretos) e por fim é necessário a conexão da estrutura metálica entre diferentes locais de forma a favorecer as reações anódicas e catódicas. De forma a ser mostrada de maneira didática, Böhni (2005) desenvolveu uma configuração em aspecto de conjunto mostrando as quatro referidas condições apresentadas de maneira simplificada na Figura 1.

Figura 1 – Condições de corrosão do aço no concreto



Fonte: Adaptado de Böhni (2005, p. 4).

Observando a Figura 1, é notório os três círculos sendo as três primeiras condições ressaltadas de corrosão, entretanto há a falta da última condição pelo motivo que as estruturas de concreto armado são formadas por blocos monolíticos e interligados pela armadura, então esta condição é amplamente atendida na maioria das estruturas de concreto armado.

O risco da corrosão é aumentado se for perdida a alta alcalinidade do concreto, que ao contato com a água e o oxigênio (Böhni, 2005 p. 15) favorece as reações químicas dos componentes do concreto, que são consequentemente formadores da carbonatação e o ataque por cloretos. A carbonatação do concreto ocorre devido a componentes alcalinos do cimento (NaOH, KOH, CaOH<sub>2</sub>, ...) reagirem com o dióxido de carbono atmosférico (CO<sub>2</sub>), causando como exemplo a ferrugem (hidróxido de ferro) que ocupa um volume maior que original, tendo um aumento da pressão interna e favorecendo o aparecimento de pequenas fissuras e até mesmo a descamação do concreto, levando a corrosão generalizada. Já o ataque por cloretos acontece pela penetração de água contendo cloreto como exemplo água do mar, agregados que contenham CaCl<sub>2</sub>, degelo, solo salino, revestimentos de pisos, dentre outros, vindo a acarretar a despassivação do aço mesmo em condições de alta alcalinidade e causando um ataque localizado da armadura do aço também conhecida como corrosão por pite (Böhni, 2005).

Com o devido entendimento dos processos corrosivos do aço no concreto, finalmente será possível compreender como alguns bioinibidores atuam e até mesmo definir se algum extrato de origem natural poderá ser um possível candidato a inibidor verde, além disso, os bioinibidores devem ter propriedades semelhantes aos inibidores tradicionais, por isso é essencial ter um conhecimento dos mecanismos de proteção do aço e as principais referências do mercado. Para Venkatesh, Mohiddin e Ruben (2019) é ressaltado a compreensão dos mecanismos de proteção que os inibidores favorecem, os quais podem ser divididos em três: os anódicos, catódicos e mistos. Os inibidores anódicos atuam reprimindo a ocorrência do ânodo, criando um filme protetor na superfície da barra de aço e aumentando a polaridade anódica, são considerados os mais perigosos pois se usado em quantidades erradas, podem resultar uma corrosão localizada que agrava os problemas já existentes e causando danos superiores ao aço sem qualquer inibidor, neste os principais inibidores anódicos utilizados no mercado são os nitratos, molibdatos, cromatos ortofosfatos e benzoatos. Já os inibidores catódicos, por outro lado, reprimem a ocorrência dos catodos ao formar compostos insolúveis que bloqueiam a difusão do oxigênio bem como a condução dos elétrons, mas existe um problema, já que os inibidores catódicos geralmente são considerados menos eficazes que os anódicos, entretanto são mais seguros em sua utilização pois mesmo com dosagem pequenas reduzem a taxa de corrosão, são comumente usados nos mercados os silicatos, carbonatos, fosfatos, poli fosfatos e óxido de zinco. Nos inibidores mistos, como o nome já sugere, é a união de ambos expostos anteriormente, os anódicos e catódicos em uma reação que reduz o processo corrosivo sem haver alterações significativas dos potenciais de corrosão (Venkatesh; Mohiddin; Ruben, 2019).

Os inibidores tradicionais são amplamente utilizados no mercado, porém as preocupações com a segurança e a sustentabilidade tem se tornado cada vez mais presente na sociedade, sendo essencial o desenvolvimento de novas substâncias que possam substituir os inibidores comerciais convencionais. Segundo Casanova *et al.* (2023), esses inibidores são poluentes tanto para o ambiente humano quanto para o aquático, como exemplo o nitrito que pode ser absorvido por algas nocivas, entrando na cadeia alimentar dos peixes e consequentemente do consumo dos seres vivos, podendo realizar reações cancerígenas e tóxicas nos humanos. Portanto, existe a necessidade de realizar pesquisas de novos inibidores que sejam sustentáveis, de tal forma, ofereça estratégias que possam reduzir o ônus ambiental oferecido pelos tradicionais agentes utilizados contra a corrosão, como solução há o estudo de bioinibidores ou inibidores verdes que segundo Galleguillos Madrid *et al.* (2024) são substâncias obtidas naturalmente, que apresentem um desempenho inibitório de corrosão duradouro, de forma que, alie a práticas ecologicamente corretas com princípios de: sustentabilidade, gestão responsável de recursos, processo biodegradável e não ofereçam nenhum risco aos seres vivos em todas as suas etapas.

Segundo Casanova *et al.* (2023 p, 3), os inibidores verdes podem se ligar na superfície da barra de aço do concreto por meio de interações químicas ou físicas, dependendo da sua composição específica, além de que as moléculas desses inibidores contém principalmente heteroátomos, anéis aromáticos e múltiplas ligações que tendem a serem transferidos para os orbitais livres do ferro, ainda de acordo com Casanova *et al.* (2023), os heteroátomos podem participar da fisissorção, conjuntamente com grupos funcionais polares que podem interagir eletrostaticamente com a superfície do aço, isso

pode fazer com que as cadeias hidrofóbicas das moléculas de alinhem, criando uma barreira que impede a entrada de oxigênio e água, juntamente pela formação de uma fina camada de moléculas garantindo um filme passivo do aço estabilizado.

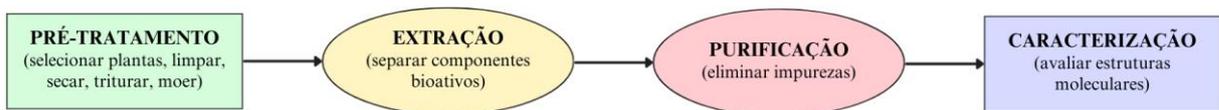
É importante ressaltar os inibidores de corrosão atualmente pesquisados não são apenas obtidos de extratos de plantas, mas também oriundos de algumas espécies de animais, como exemplo o mexilhão comum (*Mytilus edulis*), que de acordo com Zhang *et al.* (2019) possui propriedades adesivas que formam um filme protetor contra a corrosão do aço, além de apresentar uma auto cura contra corrosão localizada por pite (ataque de cloretos). Os inibidores verdes em investigação, observou-se que as principais formas de utilizações foram a serem adicionados como aditivo no concreto ou passados na sua parte externa, como também a ser desenvolvidos de maneiras a serem incluídos na constituição de tintas a darem cobertura nas barras do concreto armado.

### 3.2 BIOINIBIDORES A BASE DE PLANTAS

O consumo excessivo de recursos não renováveis tem gerado crescente preocupação ambiental, impulsionando a busca por medidas que reduzem a degradação causada pela poluição. Para adotar práticas mais sustentáveis, Casanova *et al.* (2023) destacam a importância da atenção a síntese de inibidores verdes a partir de recursos naturais renováveis, sendo em sua grande maioria oriundos dos extratos vegetais de plantas, pois contém os componentes chamados de fitoquímicos (Saponinas, taninos, alcaloides, flavonoides, ésteres, anéis aromáticos, proteínas, aminoácidos, etc.) que segundo Ahmed e Ganesh (2022) contém substâncias com princípios ativos que são capazes de interagir com os íons metálicos, formando uma película protetora ligada fortemente na superfície do metal que dificulta as reações anódicas e/ou catódicas, impedindo a sua corrosão.

A seleção dos materiais para inibidores verdes de corrosão pode ser realizada a partir de diferentes partes das plantas pode ser feita de diferentes métodos a partir de diversas partes das plantas, sejam elas das raízes, caules, folhas, flores, frutos, sementes e até mesmo dos resíduos agrícolas ou industriais, mas são utilizados com mais frequência as extraídas das folhas, pois segundo Sheydaei (2024, p. 381) as folhas possuem propriedades particulares por apresentar a maior abundância de fitoquímicos, ainda que não seja um caso presente em todas as plantas. Na seleção é feita diversas preparações até a obtenção do bioinibidor desejado como mostrado na figura 2.

Figura 2 – Etapas de obtenção de fitoquímicos



Fonte: Adaptado de Miralrio e Espinoza (2020, p. 3).

A atividade de extração utilizada influencia expressivamente nas características finais dos fitoquímicos obtidos, sendo abordada por Miralrio e Espinoza (2020), como a primeira parte da determinação da classe dos princípios ativos nos compostos naturais a inibirem a corrosão, além da essencial importância da utilização de solventes adequados de acordo com as particularidades de cada parte da planta extraída, ou seja, a eficiência da extração depende da polaridade do solvente utilizado, que deve ser de acordo com a polaridade extraída do soluto fitoquímico e do método ou técnica aplicada.

Ao ser escolhida a parte da planta com os compostos ativos de interesse é feita a concentração do extrato (solução composta pelos princípios ativos) por diversos métodos como os de aquecimento, resfriamento e separação dos compostos ativos na presença do solvente, sendo expostos que os solventes mais comumente empregados são a água, acetona, acetato de etila, hexano, diclorometano e o metanol (Miralrio; Espinoza, 2020).

Os métodos tradicionalmente utilizados na extração é a maceração, infusão, decocção, digestão e percolação (Malini; Saranya; Parameswari, 2023). De forma sucinta: na maceração é feita em materiais triturados ou cortados quando são imersos em solvente por pelo menos três dias, com agitação constante para solubilizar os compostos ativos, filtrando os sólidos. Na infusão é uma maceração rápida com água fervente, extraindo os constituintes solúveis. A decocção envolve ferver a matéria prima na água em um

determinado tempo. A digestão utiliza solventes levemente aquecidos a fim de melhorar a solubilidade, preservando os compostos ativos. A percolação é uma filtragem a temperatura ambiente, onde a matéria prima é umedecida e colocada em um percolador que retira o extrato gota a gota com alta eficiência e menor tempo (Miralrio; Espinoza, 2020).

Os extratos podem ser isolados e purificados utilizando vários tipos de solventes (sílica gel, alumina, nitrato de prata, celulose e poliamida), assim separam-se as propriedades bioativas a fim de obter vários fitoquímicos e então purificados por vários métodos em laboratório, como o cromatografia em coluna, TLC, cromatografia laminar gasosa, cromatografia em papel e cromatografia líquida/sólida (Donkor *et al.*, 2022).

A caracterização da composição de estruturas moleculares específicas encontradas, pode ser realizada por diversas técnicas em laboratório, como exemplo técnicas de espectroscópicas que analisam a composição das moléculas a fim de determinar os fitoquímicos chaves em um extrato vegetal, finalmente encontrando a classificação dos inibidores verdes de base vegetal com os seus bioativos, além de definir e classificar como os bioinibidores controlam a corrosão (Donkor *et al.*, 2022).

Os fitoquímicos conforme Donkor *et al.* (2022) possuem uma interação com o metal que pode ser física ou química, na física geralmente o efeito inibitório da corrosão é menor, pois possui uma ligação fraca por fisissorção, nesse caso não há nenhuma alteração molecular das substâncias envolvidas no processo. Já na relação química ocorre uma forte interação de quimissorção, que realiza uma alteração molecular das substâncias, como exemplo nas ligações do hidrogênio que formam uma proteção mais apurada do metal.

### 3.3 ENSAIOS DE BIOINIBIDORES DE CORROSÃO DO AÇO EM SOLUÇÃO

Diversos ensaios acelerados são utilizados para representar a multiplicidade das condições reais de corrosão, os pesquisadores se utilizam de diferentes abordagens em ambientes de laboratório a fim de realizar as simulações das condições reais de exposição, desta forma há uma variedade nos tipos e procedimentos dos ensaios acelerados de indução de corrosão (Meira; Ferreira, 2019). Os métodos e soluções dos ensaios são levados em conta diversas circunstâncias, anuente a tal informação Casanova *et al.* (2023) e dentre outros artigos internacionais desta revisão se refere principalmente ao método de teste realizado com a *Simulated Concrete pore Solution* (SCP), no qual de maneira sucinta é realizado um filme passivo na armadura e adicionado em uma solução simulada de poros de concreto, feito para encontrar a eficiência da inibição de corrosão (*inhibition efficiency*, IE%), que de acordo com Sheydaei (2024), em geral, o resultado do uso de plantas com uma eficiência acima de 80% pode ser considerado um bom inibidor.

Diversas soluções dos textos analisados, apresentaram um melhor efeito de inibição de corrosão quando maior for a concentração do extrato das folhas, pois formam uma película protetora no aço, além de que outros fatores também devem ser levados em consideração, como o analisado por Zhang (2021) nas folhas da árvore do lenço (*Davidia involucrata*) que elevou a temperatura do extrato e obteve uma melhor absorção fitoquímica na superfície do aço, ou o realizado em extrato da folha de oliveira (*Olea europae*) que se altera conforme a polaridade do solvente de extração (Harb *et al.*, 2020).

A *Rosa damascensa* apresentou proteção da armadura do aço em uma solução de SCP com cloretos, nesse estudo foram identificados fitoquímicos que apresentaram grupos orgânicos que bloquearam o fluxo de elétrons contra íons agressivos, funcionando como uma barreira protetora a agentes corrosivos (Anitha *et al.*, 2019).

A adição do extrato da folha de algaroba (*Prosopis juliflora*) reduziu a corrosão do aço embutido em concreto exposto a solução de NaCl, mostrando gerar uma camada protetora sobre o aço e modificações nas reações catódicas e anódicas (Palanisamy *et al.*, 2016).

O extrato de manga (*Mangifera indica*) forneceu uma inibição mista, a corrosão também diminuiu pela introdução de 2% em peso do extrato de manga, com a eficiência de inibição subindo para 98% na corrosão controlada durante 48 horas de exposição ao agente corrosivo (Rahmani *et al.*, 2024).

### 3.4 ENSAIOS DE BIOINIBIDORES DE CORROSÃO NO CONCRETO

Os compostos inibidores de corrosão analisados nesta revisão podem ser aplicados diretamente na amostra do concreto, sendo elas: por meio de adição do extrato no traço do concreto/argamassa,

cobrimento do extrato inibidor no aço da armadura ou até mesmo passado na parte externa do concreto. É interessante mencionar que alguns extratos possuem efeitos hidrofóbicos, como foi no caso da *Bambusa Arundinacea* (espécie de bambu), devido ao fato de alguns inibidores verdes de corrosão produzirem uma reação química ao contato com o concreto, formando sais hidrofóbicos que bloqueiam os poros do revestimento do aço, impedindo assim a sua despassivação (Asipita *et al.*, 2014).

A mamona (*Ricinus communis*), apresentou uma inibição de corrosão mista, tanto física como química, pois o composto ativo atraiu o excesso dos cloretos e conseqüentemente formou ligações químicas que produziram uma camada isolante na superfície do aço, além disso houve um aumento na resistência à compressão e tração do concreto (Palanisamy *et al.*, 2018).

É de grande relevância o estudo de Argiz *et al.* (2022), pois houve a utilização do uso de ácido ascórbico como inibidor de corrosão, assim, obteve com o desenvolvimento dos seus estudos semelhante eficiência de inibição oferecida pelos nitritos que são os inibidores comumente utilizados, foi constatado que o ácido ascórbico possui um efeito inibidor em argamassas com efeito duradouro de 8 meses, no entanto em concentrações altas podem intensificar a corrosão (Argiz *et al.*, 2022). O ácido ascórbico está presente em diferentes níveis nas frutas cítricas, o que indica que essas frutas possuem um grande potencial inibidor de corrosão.

Extrato de farinha de milho foi utilizado em argamassa e obteve uma eficiência semelhante aos inibidores tradicionais como o de nitrito de cálcio e ofereceu uma retardação na corrosão por cloretos reduzindo a ação corrosiva dos íons do cloreto, não houve nenhum teste feito considerando a alteração da resistência final (Zhang *et al.*, 2022).

A reutilização de resíduos agrícolas e orgânicos como matéria prima para bioinibidores de corrosão é uma alternativa sustentável para minimizar o impacto ambiental da agroindústria e das atividades urbanas. Muitos materiais que seriam descartados, são um recurso valioso em abordagens sustentáveis que busquem mitigar parte dos impactos ambientais, podendo ser reutilizados como matéria prima na produção de bioinibidores, manufacturando produtos inofensivos ao meio ambiente pois não possuem restrições de segurança ao uso. Justamente com este pensamento Song *et al.* (2022), procurou uma forma de reutilizar as folhas caídas de *Platanus acerifolia* (árvore comum na Europa e em zonas temperadas), em Nanjing na província de Jiangsu, China. As folhas foram lavadas, retiradas impurezas, secas, moídas, peneiradas e no fim de todos os processos há retirada do extrato, o resultado foi encontrado com fitoquímicos com inibição mista semelhante aos encontrados nos mercados com alta eficiência de inibição de corrosão (Song *et al.*, 2022).

A tabela 1 apresenta a síntese dos bioinibidores testados, destacando o meio de aplicação, eficiência de inibição (IE%) e os agentes agressivos utilizados nos ensaios.

Tabela 1 – Lista de inibidores verdes (bioinibidores)

Substância	Teste	Modelo da mistura	IE (%)	Inibidor	Cl-
<i>Rosa Damascena</i>	SCP	-	82	12 v/v%	0,5 M de NaCl
<i>Morinda citrifolia</i> (Noni)	Argamassa	a/c = 0,45; cimento/areia/cascalho = 1:2:4	59	0,42 volume para % em peso de cimento	3% em peso de NaCl
Extrato de folha de oliveira	Solução de NaOH 0,1M	-	91,9	-	0,5 M de NaCl
<i>Davidian involucrata</i> (Árvore do lenço)	SCP	-	80,3	0.1 g·L <sup>-1</sup>	3,5% em peso de NaCl
<i>Prosopis juliflora</i> (Algaroba)	SCP	-	91	100 ppm	3,5% em peso de NaCl
<i>Fatsia japonica</i>	SCP	-	91,2	100 mg·L <sup>-1</sup>	35 g·L <sup>-1</sup> NaCl
Extrato de <i>Pinus resinosa</i>	SCP	-	80,64	1 g·L <sup>-1</sup>	30 g·L <sup>-1</sup> NaCl
Cones da conífera <i>Pinus resinosa</i>	SCP	-	80,64	1 g·L <sup>-1</sup>	30 g/L NaCl

Substância	Teste	Modelo da mistura	IE (%)	Inibidor	CI-
Extrato de gengibre	SCP	-	-	2% em peso	0,1 M NaCl
Extrato de manga	SCP	-	98	2% em peso	3,5% em peso de NaCl
Fitato de sódio	SCP	-	68,3	0,01 M	0,3 M NaCl
<i>Gossypol-indole</i>	SCP	-	96	100 mg·L <sup>-1</sup>	1 M NaCl
Mucilage de cacto	SCP	-	>90	0,5 w/v	16 g·L <sup>-1</sup> NaCl
<i>Bambusa Arundinacea</i> (Bambu)	Argamassa	a/c = 0,45; cimento/areia/agregados graúdos = 1:1,2:2	-	2% em peso de cimento	0,94% peso de cimento NaCl
<i>Ricinus communis</i> (Mamona)	Argamassa	a/c = 0,5; cimento/agregados finos/agregados grossos = 1:1,2:2	87	100 ppm	3,5% em peso de NaCl
Ácido carboxílico 1	Argamassa	a/c = 0,5; cimento/areia = 1:3	96	0,1 g·L <sup>-1</sup>	3% peso cimento NaCl
Ácido carboxílico 2	Argamassa	a/c = 0,5; cimento/areia = 1:3	94	0,1 g·L <sup>-1</sup>	3% peso cimento NaCl
Ácido carboxílico 3	Argamassa	a/c = 0,5; cimento/areia = 1:3	85	0,1 g·L <sup>-1</sup>	3% peso cimento NaCl
Extrato de <i>Urtica Dioica</i> (Urtiga)	SCP	-	77	0,075% em peso	1% em peso de NaCl
Ácido ascórbico	Argamassa	cimento/areia/água: 1/3/0,5	97,3	0,009% em peso de cimento	3,29% em peso de cimento NaCl
Extrato de farinha de glúten de milho	Argamassa	água/cimento/areia: 0,6/1/3	99,72	3% em peso de cimento	3% peso cimento NaCl
Extrato de goma guar	Argamassa	a/c = 0,45	71,1	1,4% em peso de cimento	3,5% em peso de NaCl
Folhas de junco	Argamassa	a/c = 0,55; cimento/areia = 1:3	76,98	0,5% em peso de cimento	3,5% em peso de NaCl
<i>Antioxidantes do chá verde</i>	Argamassa	a/c = 0,54; cimento/areia = 1:2,6	80	40 L·m <sup>-3</sup>	3,5% em peso de NaCl
<i>Cymbopogon citratus</i> (Capim santo)	Argamassa	a/c = 0,499; cimento/areia = 1:3	99,35	0,0833% em peso de cimento	3,5% em peso de NaCl
<i>Phyllanthus muellerianus</i>	Argamassa	-	97,58	0,333% em peso de cimento	3,5% em peso de NaCl
<i>Anthocleista djalensis</i>	Argamassa	-	97,43	0,417% em peso de cimento	3,5% em peso de NaCl

Substância	Teste	Modelo da mistura	IE (%)	Inibidor	CI-
<i>Rhizophora mangle</i> (Mangue-vermelho)	Argamassa	a/c = 0,499; cimento/areia/cascalho = 1:2,97:3,69	99,08	0,467% em peso de cimento	3,5% em peso de NaCl
<i>Opuntia ficus-indica</i> (Palma)	Argamassa	cimento/areia = 1:3	>60%	De 1,5 a 95 v.% de água	3,5% em peso de NaCl
Folhas das <i>Platanus acerifolia</i>	SCP	-	99	5% em peso	0,1 M NaCl
Folhas das <i>Platanus acerifolia</i>	SCP	-	84,25	3% em peso	0,5 M de NaCl
<i>Bacillus subtilis em bagaço de cana</i>	Argamassa	Cimento/agregados finos/agregados grossos = 1:2,2:2,4; Água/aglomerante = 0,4	97,5	-	5% em peso de NaCl
Biomoléculas de lipopeptídeos	SCP	-	58,6	1 g·L <sup>-1</sup>	29,25 g·L <sup>-1</sup> NaCl
Bactérias redutoras de NO <sub>3</sub>	Argamassa	Areia/cimento/água = 3:1:0,5	-	-	0,5 M NaCl
<i>Bacillus safensis, subtilis, pumilus, australimaris</i>	SCP	-	98,8	-	3,5% em peso de NaCl
Antioxidante <i>Penicillium citrinum</i>	Cloreto Solução neutra	-	58	10 v/v%	0,9% NaCl

Fonte: Adaptado de Casanova *et al.* (2023, p. 13-14).

#### 4 CONCLUSÃO

Os bioinibidores de corrosão representam uma alternativa promissora e sustentável para o aço em estruturas de concreto armado. Sua obtenção a partir de recursos naturais reduz os impactos ambientais em comparação aos inibidores tradicionais, que, apesar de eficazes podem representar riscos ambientais e a saúde humana, reforçando pesquisas voltadas para alternativas mais seguras.

Na Tabela 1, foi verificada a potencial gama de extratos vegetais a serem uma alternativa dos inibidores tradicionais que causam impactos ambientais, mas infelizmente existe a necessidade de que os resultados dos testes estejam acompanhados com o maior número de informações, sendo fundamentais para serem replicadas de maneira a permitir o uso comercial.

A revisão demonstrou que os bioinibidores, especialmente os derivados de plantas, são ricos em fitoquímicos que ao serem extraídos, podem atuar como inibidores de corrosão por meio das formações de filmes passivos e barreiras a agentes corrosivos.

Com base na revisão bibliográfica realizada, concluiu que poucos pesquisadores testaram a eficácia dos inibidores verdes diretamente em argamassas ou concreto, limitando-se a ensaios de corrosão. A ausência de testes de longa exposição, resistências e aderência torna sua aplicação prática imprevisível, exigindo experimentos complementares para uma comparação confiável.

A investigação e a síntese de bioinibidores ainda demandam de estudos aprofundados para garantir a sua viabilidade em larga escala e sua compatibilidade com os diferentes tipos de concreto nas diversas condições ambientais, no entanto, os avanços recentes demonstram um potencial significativo na substituição de compostos sintéticos por alternativas biodegradáveis eficientes.

Desta forma, novas pesquisas com bioinibidores devem ser desenvolvidas, a fim de garantir um avanço significativo da utilização na proteção contra a corrosão, além de promover a sustentabilidade ambiental. Com mais investimentos, os bioinibidores podem se tornar uma alternativa viável e amplamente utilizada na construção civil.

## REFERÊNCIAS

- AHMED, E S J.; GANESH, G. M. A comprehensive overview on corrosion in RCC and its prevention using various green corrosion inhibitors. **Buildings**, v. 12, n. 10, p. 1-48, 2022.
- ANITHA, R.; CHITRA, S.; VENKATESAN, H.; CHUNG, III-M.; KIM, S. Implications of eco-addition inhibitor to mitigate corrosion in reinforced steel embedded in concrete. **Construction and Building Materials**, v. 213, p. 246-256, 2019.
- ARGIZ, C.; ARROYO, C.; BRAVO, A.; MORAGUES, A.; ANDRADE, C.; BOLZONI, F. L-ascorbic acid as an efficient green corrosion inhibitor of steel rebars in chloride contaminated cement mortar. **Materials**, v. 15, n. 22, p. 1-19, 2022.
- ASIPITA, S. A.; ISMAIL, M.; MAJID, M. Z.; MAJID, Z. A.; ABDULLAH, C.; MIRZA, J. Green Bambusa Arundinacea leaves extract as a sustainable corrosion inhibitor in steel reinforced concrete. **Journal of Cleaner Production**, v. 67, p. 139-146, 2014.
- 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. 64 f. Monografia (Monografia em Ciência e Tecnologia) - Universidade Federal do Semi-Árido, Pau dos Ferros, 2022.
- BÖHNI, H. **Corrosion in reinforced concrete structures**. Cambridge, England: Woodhead Publishing Limited and CRC Press, 248p. 2005.
- CASANOVA, L.; CERIANI, F. MESSINESE, E. ; PATERLINI, L.; BERETTA, S.; BOLZONI, F. M.; BRENNI, A.; DIAMANTI, M.; ORMELLESE, M.; PEDEFERRI, M. Recent advances in the use of green corrosion inhibitors to prevent chloride-induced corrosion in reinforced concrete. **Materials**, v. 16, n. 23, p. 1-19, 2023.
- DANTAS, J. C. O.; DUPKE, A. V. A; BARRA, S. R. Bionibidores de corrosão: uma revisão. ENCONTRO DA REDE DE COOPERAÇÃO EM PESQUISA, DESENVOLVIMENTO E INOVAÇÃO EM MATERIAIS E EQUIPAMENTOS, VI. João Pessoa, 2018.
- DONKOR, S.; SONG, Z.; LINHUA, J.; HONQIANG, C. An overview of computational and theoretical studies on analyzing adsorption performance of phytochemicals as metal corrosion inhibitors. **Journal of Molecular Liquids**, v. 359, p. 1-19, 2022.
- GALLEGUILLOS, M.; SOLIZ, A.; CÁCERES, L.; BERGENDAHL, M.; LEIVA-GUAJARDO, S.; PORTILLO, C.; OLIVARES, D.; TORO, N.; JIMENEZ-AREVALO, V.; PÁEZ, M. Green Corrosion Inhibitors for Metal and Alloys Protection in Contact with Aqueous Saline. **Materials**, v. 17, n. 16, p. 1-41, 2024.
- HARB, M. B.; ABUBSHAIT, S.; ETTEYEB, N.; KAMOUN, M.; DHOUIB, A. Olive leaf extract as a green corrosion inhibitor of reinforced concrete contaminated with seawater. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 13, n. 3, p. 4846-4856, 2020.
- MALINI, G.; SARANYA, B.; PARAMESWARI, A. Review on extraction techniques for medicinal and aromatic plants. **International journal of pharmaceutical chemistry and analysis**, v. 10, n. 4, p. 253-256, 2023.
- MEIRA, G. R.; FERREIRA, P. R. R. Revisão sobre ensaios acelerados para indução da corrosão desencadeada por cloretos em concreto armado. **Ambiente Construído**, v. 19, n. 4, p. 223-248, 2019.

MIRALRIO, A.; ESPINOZA V. A. Plant extracts as green corrosion inhibitors for different metal surfaces and corrosive media: a review. **Processes**, v. 8, n. 8, p. 942, 2020.

PALANISAMY, S. P.; MAHESWARAN, G.; SELVARANI, A. G.; KAMAL, C.; VENKATESH, G. Ricinus communis—A green extract for the improvement of anti-corrosion and mechanical properties of reinforcing steel in concrete in chloride media. **Journal of Building Engineering**, v. 19, p. 376-383, 2018.

PALANISAMY, S. P.; MAHESWARAN, G.; KAMAL, C.; VENKATESH, G. Prosopis juliflora - A green corrosion inhibitor for reinforced steel in concrete. **Research on Chemical Intermediates**, v. 42, n. 12, p. 7823-7840, 2016.

RAHMANI, M. H.; DEGHANI, A.; SALAMATI, M. BAHLAKEN, G.; RAMEZANZADEH, B. Mango extract behavior as a potent corrosion inhibitor against simulated chloride-contaminated concrete pore solution; coupled experimental and computer modeling studies. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 130, p. 368-381, 2024.

SCHMOELLER, F.; LIMA, M. G. Inibidores de corrosão para estruturas de concreto armado: uma revisão. **Concreto e Construções**, ed. 103, Jul – Set, 2021

SHEYDAEI, M. The use of plant extracts as green corrosion inhibitors: A review. **Surfaces**, v. 7, n. 2, p. 380-403, 2024.

SILVA, D. R. **Estudo de inibidores de corrosão em concreto armado, visando a melhoria na sua durabilidade**. 2006. 194 f. Tese (Tese em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2006.

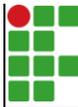
SONG, Z.; CAI, H.; LIU, Q.; JIANG, L.; CHU, H. Performance of corrosion inhibitor extracted from enzymatic hydrolysate of waste Platanus acerifolia leaves. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 111, p. 464-479, 2022.

VENKATESH, C.; MOHIDDIN, S. K.; RUBEN, N. Corrosion inhibitors behaviour on reinforced concrete - a review. **Sustainable Construction and Building Materials: Select Proceedings of ICSCBM 2018**, v. 25, p. 127-134, 2019.

ZHANG, F.; CHEN, C.; HOU, R.; LI, J.; CAO, Y.; DONG, S.; LIN, C.; PAN, J. Investigation and application of mussel adhesive protein nanocomposite film-forming inhibitor for reinforced concrete engineering. **Corrosion Science**, v. 153, p. 333-340, 2019.

ZHANG, M. Davidian involucrata Leaves Extract as Green Corrosion Inhibitor for low carbon Steel in concrete pore solution containing chloride ions. **International Journal of Electrochemical Science**, v. 16, n. 4, p. 1-19, 2021.

ZHANG, Z.; YANG, B.; TAI, B.; ZHU, Y. Effect of maize gluten meal extract as natural corrosion inhibitor on steel in mortar corroded by chloride. **Journal of Building Engineering**, v. 62, p. 1-11, 2022

	<b>INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA</b>
	Campus Cajazeiras - Código INEP: 25008978
	Rua José Antônio da Silva, 300, Jardim Oásis, CEP 58.900-000, Cajazeiras (PB)
	CNPJ: 10.783.898/0005-07 - Telefone: (83) 3532-4100

## Documento Digitalizado Restrito

### Entrega de TCC

<b>Assunto:</b>	Entrega de TCC
<b>Assinado por:</b>	Geordanne Eloan
<b>Tipo do Documento:</b>	Dissertação
<b>Situação:</b>	Finalizado
<b>Nível de Acesso:</b>	Restrito
<b>Hipótese Legal:</b>	Informação Pessoal (Art. 31 da Lei no 12.527/2011)
<b>Tipo da Conferência:</b>	Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- Geordanne Eloan Silva de Abreu, ALUNO (202022200007) DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL - CAJAZEIRAS, em 01/04/2025 08:47:23.

Este documento foi armazenado no SUAP em 01/04/2025. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 1442384

Código de Autenticação: d987c83095

