

ESCOLA TÉCNICA ESTADUAL PROF. ARMANDO JOSÉ FARINAZZO
CENTRO PAULA SOUZA

João Lucas Nasio Marques
João Pedro Medrado Pacheco
Nicolas Longuinho Faitas
Vítor Manuel da Costa Maia

PRODUÇÃO DE BIOPOLÍMERO À BASE DE QUITOSANA E ÓLEO
ESSENCIAL DE CRAVO DA ÍNDIA COM AÇÃO REPELENTE CONTRA
O CARUNCHO

Fernandópolis
2025

João Lucas Nasio Marques
João Pedro Medrado Pacheco
Nicolas Longuinho Faitas
Vítor Manuel da Costa Maia

PRODUÇÃO DE BIOPOLÍMERO À BASE DE QUITOSANA E ÓLEO ESSENCIAL DE CRAVO DA ÍNDIA COM AÇÃO REPELENTE CONTRA O CARUNCHO

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como exigência parcial para
obtenção da Habilitação Profissional Técnica
de Nível Médio de Técnico em Química, no
Eixo Tecnológico de **Produção Industrial**, à
Escola Técnica Estadual Professor Armando
José Farinazzo, sob orientação da Professora
Flavia Meira Cotrim.

Examinadores:

Flavia Meira Cotrim

Estela Aparecida Merino Zanon

Tais Batista Marino

Fernandópolis
2025

PRODUÇÃO DE BIOPOLÍMERO À BASE DE QUITOSANA E ÓLEO ESSENCIAL DE CRAVO DA ÍNDIA COM AÇÃO REPELENTE CONTRA O CARUNCHO

João Lucas Nasio Marques
João Pedro Medrado Pacheco
Nicolas Longuinho Faitas
Vítor Manuel da Costa Maia

RESUMO: O presente trabalho tem como principal finalidade desenvolver um biopolímero à base de quitosana, incorporado ao óleo essencial de cravo-da-índia, visando a aplicação em embalagens com o objetivo de repelir o caruncho, que afeta a atividade agrícola do país, além de serem possíveis transmissores de microrganismos. Assim, utilizando-se de uma embalagem que tenha propriedades antissépticas e repelentes, além de ser biodegradável, não afetando o meio ambiente. Para isso, foram feitas pesquisas bibliográficas em artigos científicos e testes experimentais de diferentes formulações do biofilme, todas essas atividades foram desenvolvidas no laboratório de química e microbiologia da Escola Técnica Professor Armando José Farinazzo. Além disso, os testes qualitativos foram fundamentais para o trabalho permitindo avaliar e caracterizar diversas formulações de bioplásticos, em que ao utilizar em determinada formulação os compostos amido e glicerol, conseguimos atingir um biofilme com características mecânicas similares às de um plástico convencional, ademais, possibilitando também a realização de testes com o caruncho, promovendo uma maior confiabilidade no biofilme desenvolvido, desse modo, reforçando a eficácia maior do bioplástico à base de quitosana juntamente ao óleo essencial do cravo-da-índia.

Palavras-chave: Biopolímero; Caruncho; Embalagens; Quitosana; Repelente

ABSTRACT: The main purpose of this work is to develop a biopolymer based on chitosan, incorporated into the essential oil of cravo-da-India, aiming at application in packaging with the objective of repelling the caruncho, which affects the agricultural activity of the country, in addition to being possible transmitters of microorganisms. Thus, using a packaging that has antiseptic and repellent properties, in addition to being biodegradable, does not affect the environment. To this end, foram bibliographic research in scientific articles and experimental tests of different biofilm formulations, all these activities are carried out in the chemistry and microbiology laboratory of the Professor Armando José Farinazzo Technical School. Furthermore, the qualitative tests are fundamental for the work allowing to evaluate and characterize various formulations of bioplastics, in that by using in a certain formulation the composts amido and glycerol, we manage to achieve a biofilm with mechanical characteristics similar to those of a conventional plastic, in addition, also enabling the realization of Tests like the cartridge, promoting greater reliability in the developed biofilm, in this way,

reinforcing the greater effectiveness of chitosan-based bioplastic together with the essential oil of cravo-da-índia.

Keywords: Biopolymer; Chitosan; Packaging; Repellent Weevil;

RESUMEN: El objetivo principal de este trabajo es desarrollar un biopolímero a base de quitosano, con aceite esencial de clavo, para su aplicación en envases y repeler gorgojos, que afectan la actividad agrícola del país y son potenciales transmisores de microorganismos. De esta forma, se busca utilizar envases con propiedades antisépticas y repelentes, además de biodegradables y respetuosos con el medio ambiente. Para ello, se realizó una investigación bibliográfica con artículos científicos y pruebas experimentales de diferentes formulaciones de biopelículas. Todas estas actividades se llevaron a cabo en el laboratorio de química y microbiología de la Escuela Técnica Profesor Armando José Farinazzo. Asimismo, las pruebas cualitativas fueron fundamentales para el trabajo, permitiendo la evaluación y caracterización de diversas formulaciones de bioplásticos. Mediante el uso de compuestos de almidón y glicerol en una formulación específica, se logró una biopelícula con características mecánicas similares a las de un plástico convencional. Esto también permitió realizar pruebas con gorgojos, lo que aumentó la fiabilidad de la biopelícula desarrollada y reforzó la mayor eficacia del bioplástico a base de quitosano combinado con aceite esencial de clavo.

Palabras clave: Biopolímero; Envase; Gorgojo; Quitosano; Repelente

1. INTRODUÇÃO

O aumento da produção de grãos no Brasil, derivado da crescente demanda global por alimentos, tem revelado desafios significativos no armazenamento e conservação desses produtos, principalmente devido à ação de insetos que provocam perdas econômicas consideráveis. Essa realidade impulsiona também a demanda por embalagens mais eficazes e sustentáveis, que possam proteger os grãos tanto em ambiente industrial quanto doméstico (Tada; De Nardi, 2021).

Materiais alternativos aos plásticos convencionais têm ganhado força por serem menos agressivos ao meio ambiente e oferecerem soluções inovadoras para o setor agrícola sendo amplamente utilizados na fabricação de embalagens mais sustentáveis (Valle; Guarnieri; Filippi, 2023). Segundo o Ministério da Agricultura e Abastecimento, as perdas previstas de grãos podem chegar a 10% do total produzido

anualmente no Brasil, resultando em perdas quantitativas (perda de peso pela abertura de galerias) e qualitativas (redução do valor nutritivo e da higiene) (Lorini, 2015).

A perda do grão ocorre quando suas características intrínsecas são alteradas, especialmente pela ação de insetos durante o armazenamento. As embalagens utilizadas para armazenar esses grãos estão diretamente ligadas ao surgimento desses danos; embalagens defeituosas ou ineficazes comprometem a integridade do produto (Montes; Santana; Cruz, 2013). De acordo com Lorini (2015), um pequeno número de insetos pode provocar uma infestação significativa, pois uma única fêmea pode depositar até 400 ovos, resultando em ciclos reprodutivos rápidos e sucessivos.

Dentre esses insetos, o caruncho destaca-se como uma das principais pragas primárias capazes de gerar grandes destruições durante o armazenamento, acarretando prejuízos econômicos e sociais expressivos (Tada; De Nardi, 2021). Metade dessas perdas ocorre durante a colheita e o armazenamento, enfatizando a necessidade de medidas eficazes de controle.

A quitosana, um polissacarídeo catiônico de origem natural, se destaca por excelente capacidade de formar filmes, além de apresentar propriedades antimicrobianas e não toxicidade (Sánchez-González et al., 2010). Essas características a tornam uma boa alternativa para a produção de embalagens biodegradáveis com um promissor potencial para prevenir a infestação de pragas, como o caruncho.

Além da quitosana, o óleo essencial de cravo-da-índia tem se destacado como um agente natural eficaz no controle de pragas em grãos armazenados, incluindo o caruncho (*Curculionoidea*). Rico em compostos bioativos, como o eugenol, este óleo apresenta propriedades inseticidas e repelentes, além de ação antimicrobiana, o que o torna promissor para uso em embalagens alimentícias. A incorporação do óleo essencial de cravo-da-índia em bioplásticos de quitosana pode potencializar a funcionalidade da embalagem, aliando barreira física, controle de pragas e preservação da qualidade microbiológica dos alimentos, sem comprometer a biodegradabilidade do material.

A elaboração do trabalho em evidência visa garantir uma sustentabilidade maior para o meio ambiente através de plásticos produzidos a partir de polímeros naturais e biodegradáveis, a principal relevância deste estudo está na

criação de estratégias eficientes para o controle de pragas, evidenciando a segurança alimentar e a sustentabilidade ambiental, além de garantir que a substância inseticida inserida no bioplástico não impeça a propriedade biodegradável do produto e assegure que não haverá um contato do besouro caruncho com o alimento, impedindo a transmissão de microrganismos.

Ademais, o desenvolvimento de embalagens deve-se aliar com boas propriedades e ter um valor adequado, pois de nada vale desenvolver uma embalagem com ótimas características, e com custo elevado (Luchese, 2018). Já que bioplásticos possuem um valor de produção mais elevado, depende-se da tecnologia que vem avançando cada vez mais e garantindo a diminuição do custo de produção.

Desse modo, busca-se minimizar a transmissão de microrganismos em alimentos através das embalagens produzidas, impedindo a entrada dos insetos. Para isso, o projeto visa avaliar e testar a ação da quitosana e do óleo essencial de cravo da Índia na repelência e mortalidade do caruncho, verificando a possibilidade dessa aplicação em embalagens de grãos, como arroz ou feijão. O objetivo do presente trabalho é produzir o biopolímero e elaborar protótipos de embalagens com propriedades funcionais. Esses filmes serão testados com incorporação do óleo essencial de cravo-da-Índia como componente ativo e sem a adição do referido óleo, por meio da aplicação do embrulho em grãos já contaminados. Assim, avaliando a ação da embalagem sobre o comportamento reprodutivo do *Curculionoidea*.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. BIOPOLÍMERO

Os polímeros são macromoléculas compostas por unidades de repetição, os monômeros, moléculas que possuem baixa massa molecular, ligadas entre si em sua maioria por ligações covalentes (Junior, 1998). Eles podem ser classificados por polímeros naturais e sintéticos, os polímeros naturais, como lã, couro e borracha natural foram primordiais para o desenvolvimento humano ao longo da história, com a finalidade de elaborar materiais úteis ao cotidiano (De Farias, 2016).

Polímeros que são formados durante o ciclo de crescimento de organismos vivos são chamados de polímeros naturais, em que para sua síntese ocorrem reações catalisadas por enzimas e reações de crescimento, que acontecem

a partir de monômeros ativados, que se formam dentro da célula por processos metabólicos complexos (Franchetti; Marconato, 2006).

De acordo com Brito e colaboradores (2011) polímeros que são obtidos por meio de matéria-prima de fonte renovável, ao invés de fontes fósseis, são reconhecidos como polímeros verdes. Como exemplo desses polímeros, são o polietileno verde e o policloreto de vinila verde, os polímeros citados mantêm as mesmas características dos que são derivados dos combustíveis fósseis. Ambos os polímeros citados são produzidos no Brasil e derivados da cana-de-açúcar.

2.1.1. Características dos biopolímeros

Os biopolímeros podem ser sintetizados a partir de matérias-primas renováveis como o etanol, que nesse caso é obtido de cereais, do açúcar da cana ou mesmo da biomassa lignocelulósica, no qual consiste em um arranjo de origem biológica, abundante na natureza; é constituída principalmente por lignina, hemicelulose e celulose. Constituem exemplos de biopolímeros naturais o amido, as proteínas e os peptídeos, além dos ácidos nucleicos (DNA e RNA), cujos monômeros são os açúcares, os aminoácidos e os ácidos nucleicos. Classificados estruturalmente como polissacarídeos, poliésteres ou poliamidas (Bastos, 2007).

Como propriedade de alguns polímeros, pode-se citar os polímeros biodegradáveis que quando entram em contato com diversos tipos de microrganismos se degradam rapidamente. O amido, segundo Brito et al., (2011), é a maior reserva de carboidratos em plantas, representa uma das principais fontes de energia que sustenta a vida. O amido possui grande potencial de aplicação em embalagens biodegradáveis, pois ele é renovável e obtido a partir de diversas fontes de baixo custo (Rodrigues, 2019).

O Brasil, sendo um país de grande diversidade em sua fauna e flora, demonstra-se um lugar propício para estudos e aplicações que envolvem polímeros, principalmente os de origem natural, a fim de que possamos usufruir de produtos de matrizes poliméricas de baixo impacto ambiental para o planeta. A crescente demanda por biopolímeros está ligada aos grandes impactos causados pelo processo de síntese dos polímeros sintéticos derivados do petróleo, além da contribuição para o acúmulo de lixo plástico sem destino apropriado que como consequência configura dezenas a centenas de anos para ser degradado (Brito et al., 2011).

A aplicabilidade dos polímeros se estende desde materiais mais simples até grandes componentes para o uso na medicina, alimentação, aviação, cosméticos, dentre outros. Isso torna extremamente relevante o conhecimento desses materiais para a elaboração deles em larga escala, a partir de fontes naturais (De Farias, 2016).

2.1.2. Importância dos polímeros biodegradáveis como alternativa aos polímeros sintéticos

Os polímeros sintéticos deram origem aos plásticos, que com o passar do tempo se mostraram agravantes, implicados nessa produção, dessa forma, os polímeros provenientes de fontes renováveis e, conseqüentemente, menos prejudiciais, se tornam cada vez mais atrativos, com o objetivo de diminuir os impactos ambientais causados pelos sintéticos (De Farias, 2016).

Polímeros biodegradáveis são polímeros nos quais a degradação ocorre por meio da ação de microrganismos de forma natural, eles podem ser provenientes de fontes naturais renováveis como milho, celulose, batata, cana-de-açúcar, ou serem sintetizados por bactérias em moléculas menores (Brito et al, 2011).

Dentre esses polímeros citados, existem os que são à base de amido, que são polissacarídeos e podem ser modificados quimicamente ou não. Eles são produzidos a partir da extração de algumas matérias-primas, como milho, batata, mandioca ou trigo. Uma de suas principais aplicações é na fabricação de embalagens e itens de descarte rápido (Barbirato, 2010).

2.1.3. Biopolímeros à base de quitosana

A quitosana é o biopolímero natural derivado da desacetilação da quitina; a quitina é encontrada no exoesqueleto de crustáceos, insetos e na parede celular de fungos. Segundo Costa (2018), a quitosana é o segundo biopolímero mais abundante na natureza, perdendo apenas para a celulose. Devido à sua biocompatibilidade, biodegradabilidade, atoxicidade, propriedades antimicrobianas e mucoadesivas, a quitosana atualmente é utilizada em diversas aplicações, impactando positivamente a indústria de alimentos.

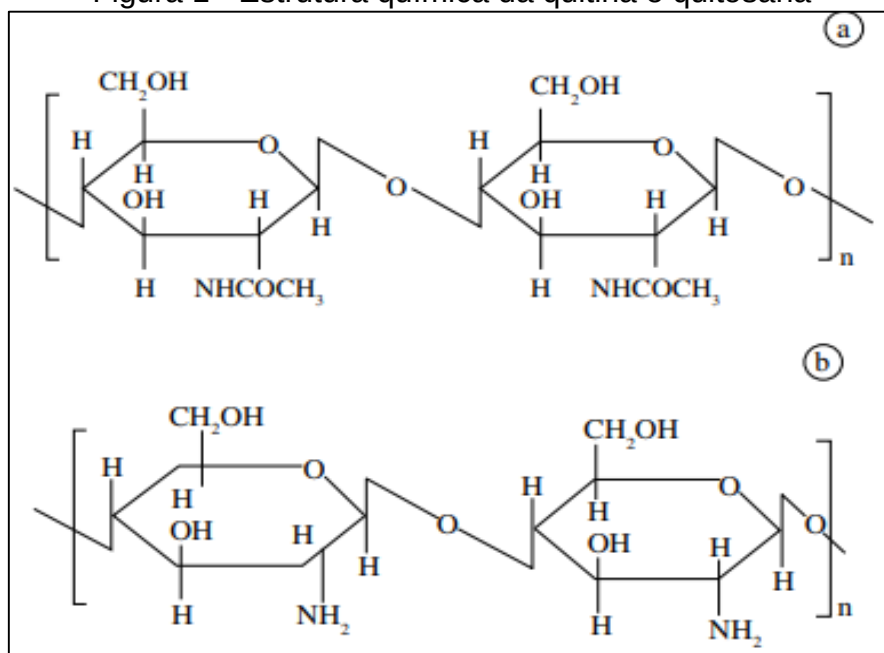
A quitosana possui características físico-químicas e biológicas que tornam apropriadas diversas modificações em sua estrutura, assim facilitando as suas

aplicações em diversas áreas e atribuindo novas funções biológicas à quitosana. Além disso, a quitosana é considerada um biopolímero versátil por suas características filmogênicas, custo baixo, alta disponibilidade e facilidade de modificação química e também por permitir a aplicação em produtos funcionais (Costa, 2018).

2.2. QUITOSANA

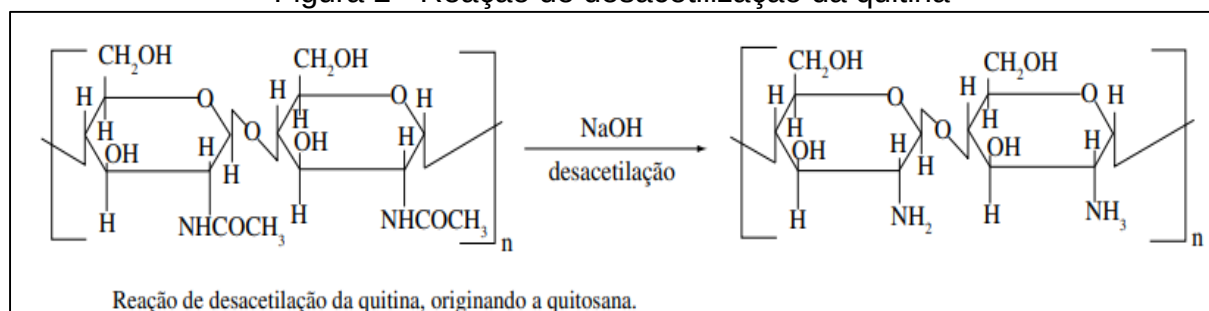
A quitosana é um biopolímero derivado da quitina que pode ser encontrada nas cascas de crustáceos, parede celular de fungos do gênero *Mycelia*, estando associada à indústria alimentícia que descarta esses materiais (SPIN-Neto, et al., 2008). Partindo da matéria-prima bruta, após a lavagem, banhos ácidos retiram todo o conteúdo mineral das cascas de crustáceos, e banhos básicos promovem sua desproteínização, aliada a uma leve desacetilação. A quitosana, então, é o produto da desacetilação da quitina, com isso, a literatura só valida materiais obtidos a partir da quitina, com grau de desacetilação superior a 75% e solúveis em ácidos como o acético e o fórmico, como sendo quitosana (SPIN-Neto, et al., 2008). As Figuras 1 e 2 exemplificam a estrutura química da quitina e quitosana e a reação de desacetilização da quitina, respectivamente.

Figura 1 - Estrutura química da quitina e quitosana



Fonte: (SPIN-Neto, et al., 2008)

Figura 2 - Reação de desacetilização da quitina



Fonte: (SPIN-Neto, et al., 2008)

A quitosana, cujo peso molecular varia entre 1×10^5 e 5×10^5 kDa, é obtida por meio da desacetilação parcial da quitina, um dos polissacarídeos mais abundantes na natureza, presente predominantemente nas carapaças de crustáceos, mas também encontrada em insetos, moluscos e na parede celular de fungos. Esse biopolímero apresenta propriedades antifúngicas, antivirais e antimicrobianas, além de ser biocompatível, biodegradável, atóxico e atuar como agente emulsificante (SPIN-Neto, et al., 2008).

A quitina é um material embranquecido, duro e inelástico, cujo peso molecular varia entre 1×10^6 e $2,5 \times 10^6$ kDa. A solubilidade é um fator que depende principalmente da sua massa molar aparente e do grau de desacetilação. A quitosana contém diversas propriedades físico-químicas, como solubilidade em meios ácidos devido a protonação dos seus grupos amina ($-\text{NH}_3^+$) quanto maiores esses grupos, maior o número de interações eletrostáticas repulsivas entre as cadeias e também maior sua solvatação em água, normalmente é insolúvel em soluções aquosas com o pH superior a 7, desse modo, ter um conhecimento preciso do teor de grupos de $-\text{NH}_2$ é fundamental para ter uma melhor utilização da quitosana em suas diferentes áreas e aplicações (SPIN-Neto, et al., 2008).

2.2.1. Mecanismos de ação da quitosana sobre pragas

A aplicação da quitosana em embalagens biodegradáveis se dá por sua alta capacidade de formar filmes e suas propriedades antimicrobianas, antifúngicas e antivirais, sendo tóxica para alguns vetores de doenças, deixando as embalagens mais seguras e preventivas contra doenças e vetores. A quitosana é um material natural e biocompatível, não sendo tóxica para humanos (SPIN-Neto, et al., 2008).

Bertrand, Simonin e Bach (2024) afirmam que, na agricultura, a quitosana pode ser aplicada como um produto fitossanitário, atuando por diferentes vias, incluindo a ativação dos mecanismos naturais de defesa das plantas. Seus modos de ação sobre os microrganismos são variados e complexos, porém concentram-se principalmente na desestabilização das paredes e membranas celulares, o que leva ao vazamento do conteúdo interno das células. Apesar de seu uso ainda ser limitado, a quitosana desponta como uma alternativa promissora e ambientalmente sustentável em substituição aos praguicidas sintéticos e aos materiais derivados de plástico.

2.2.2. Perspectivas de uso do biopolímero à base de quitosana na indústria agrícola

Na indústria agrícola, pode-se usar derivados da quitosana para atividade inseticida que se destaca sua eficácia, incluindo genotoxicidade, mecanismo de defesa e ruptura do exoesqueleto do inseto em diferentes concentrações contra diversas pragas. Da mesma forma, os efeitos sinérgicos da quitosana em combinação com extratos naturais, óleos essenciais e compostos derivados de plantas aumentam a ação inseticida contra várias pragas (Mohan Kannan. et. al., 2024).

Em um estudo realizado, o óleo essencial de *Piper nigrum* foi encapsulado com sucesso em nanopartículas de quitosana por meio do método de gelificação iônica com tripolifosfato de sódio (TPP). As nanopartículas de quitosana contendo o óleo essencial demonstraram forte atividade inseticida contra as pragas *Sitophilus oryzae* e *Tribolium castaneum*, comuns em grãos armazenados. Além disso, a formulação aumentou a toxicidade por fumigação e interferiu no neurotransmissor acetilcolina dos insetos, indicando um possível mecanismo de ação neurotóxico (Rajkumar Vallavan. et. al, 2020). De forma geral, os resultados mostraram que essa nanoformulação à base de quitosana tem potencial para ser utilizada como uma alternativa natural no manejo integrado de pragas, especialmente no controle de *T. castaneum* e *S. oryzae*.

2.3. ÓLEO ESSENCIAL DE CRAVO DA ÍNDIA

2.3.1. Óleos essenciais

Os óleos essenciais são líquidos voláteis e límpidos, extraídos a partir de uma planta ou uma parte específica dela, como o caule, flores, brotos, sementes, folhas, galhos, cascas, madeira e raízes. Os óleos são obtidos por meio de hidrodestilação, destilação ou destilação a seco, ou ainda por algum processo mecânico sem a utilização de aquecimento. Ademais, esses óleos são solúveis em lipídios e em solventes orgânicos, contendo uma densidade menor do que a da água, e possuindo um odor forte e característico, sendo formados por cerca de 20 a 60 componentes, em diferentes concentrações (Andrade et al.,2022).

Além do mais, a forma de extração do óleo pode afetar diretamente sua qualidade, quantidade e sua composição, com sua qualidade sendo diretamente afetada pelo clima, idade da planta, ciclo da planta, composição do solo etc. Esses óleos são constituídos por dois grupos de compostos, um primeiro grupo que é formado por terpenos e terpenóides (compostos orgânicos com aromas distintos e com potencial de benefícios à saúde), e o segundo grupo é formado por compostos de baixa massa molar, que são os aromáticos e alifáticos, como os álcoois, aldeídos, fenóis e outros (Andrade et al.,2022).

2.3.2. Aplicação como agente antimicrobiano

De acordo com Andrade (2022), a possibilidade de um óleo essencial atuar como um agente antimicrobiano depende da capacidade de seus componentes hidrofóbicos interagirem ou não com a membrana das células. Além que, podem ocorrer alterações na síntese proteica, secreção enzimática, conversão de energia e nutrição e processos vitais para o estabelecimento dos microrganismos. Logo, o que determina a eficiência de um óleo essencial como um agente antimicrobiano é a sua capacidade de penetrar na membrana das células, portanto, a utilização de grandes quantidades de óleos essenciais para a preservação de alimentos pode causar um comprometimento organoléptico do alimento, devido ao forte odor característico dos óleos.

Contudo, para uma correta aplicação dos óleos essenciais como um agente antimicrobiano, torna-se necessário obter informações minuciosas sobre

diversas características que podem afetar a qualidade tanto do produto quanto da aplicação do óleo essencial, como a sua concentração inibitória mínima (CIM), os tipos de organismos que serão inibidos, a forma como o agente antimicrobiano será aplicado e qual é o efeito do alimento nas propriedades do agente antimicrobiano e vice-versa. (Andrade, 2022)

2.3.3 Óleo essencial de cravo da Índia como agente inseticida

De acordo com Maciel (2016), o cravo da Índia é uma planta da classe *Magnoliopsida*, ordem *Myrtales*, família *Myrtaceae*, gênero *Syzygium*, e da espécie *Syzygium aromaticum*. É cultivada nos países tropicais assim como o Brasil, onde seu plantio é mais comum no sul da Bahia, a planta é explorada habitualmente justamente para a extração de seu óleo essencial, que é extraído por meio dos botões florais, folhas e outras partes da planta. Após uma investigação sobre a composição fitoquímica do óleo essencial de cravo da Índia, é identificado o eugenol como o seu componente majoritário, representando cerca de 90% da composição total do óleo essencial de cravo da Índia. Em sua composição também são encontradas substâncias como a eugenila, α -humuleno, acetato de eugenol, betacariofileno, ácido oleânico, compostos que pertencem à classe dos triterpenos, ceras vegetais, cetonas, resinas, taninos e esteróis. A Figura 3 representa a taxonomia do cravo-da-Índia.

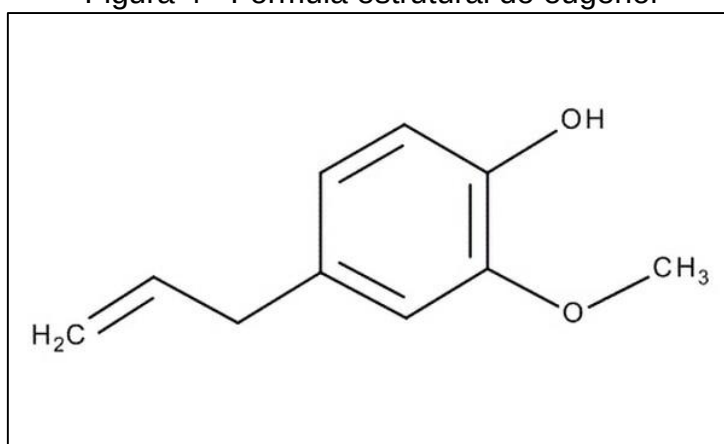
Figura 3 - Taxonomia dos botões florais do cravo-da-Índia



Fonte: (Maciel, 2016)

Ademais, a prática de extrair substâncias de plantas que tenham alguma propriedade que possa ser usada no combate a insetos, é uma técnica utilizada desde a Idade Antiga e está presente até hoje. Alguns estudos realizados com o óleo essencial do cravo-da-índia, que possui propriedades bioinseticidas, demonstram eficácia no controle de insetos e pragas. Relacionando com compostos bioativos, o eugenol, uma substância que confere ao óleo suas propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias, antimicrobianas, inseticidas e analgésicas, a Figura 4 representa a fórmula estrutural do composto eugenol (Aparecida. et al., 2009).

Figura 4 - Fórmula estrutural do eugenol



Fonte: (Aparecida. et al., 2009)

Algumas plantas apresentam compostos químicos que são metabólitos primários, esses metabólitos podem ser encontrados em células vegetais e possuem grande importância em seu desenvolvimento. No entanto, há os metabólitos secundários que têm uma ação diferente sobre os insetos, como agentes para repelir, atrair predadores naturais, ou obter metabólitos para pulverização. Porém, o nível de toxicidade dos óleos essenciais das plantas sobre os insetos é devido à composição química, a qual depende do recurso vegetal, estação do ano, condições ecológicas, métodos de extração, tempo de extração e a parte da planta utilizada (Maciel, 2016).

2.4. CARUNCHO

2.4.1. Como afeta indústria de grãos no Brasil

O Brasil é um dos grandes produtores de grãos entre os maiores do mundo. De acordo com a CONAB (2022), a estimativa é que o crescimento, no ano

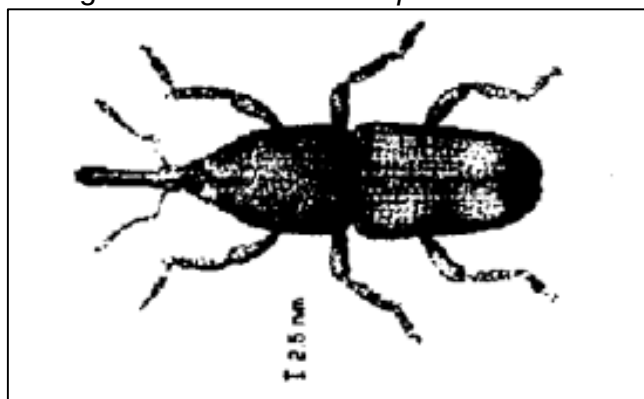
de 2021, fosse de 14,2%, o que indica um acréscimo de mais de 35 milhões de toneladas em comparação com ciclo de 2020, e, ao que tudo indica, o crescimento deve aumentar ainda mais nos próximos anos. A falta de espaço do setor já é realidade no país, e esse déficit aumenta conforme os anos passam.

Essa dificuldade de armazenamento faz com que a infestação de pragas seja crescente, já que os grãos não podem ser armazenados de forma eficiente e adequada. Com isso, nota-se a presença da praga do inseto caruncho, um besouro pertencente à superfamília *Curculionoidea*, que afeta diretamente a indústria com sua facilidade de proliferação e sobrevivência em ambientes pouco favoráveis, se espalhando e dificultando ou impedindo a comercialização desses produtos que foram infestados, fazendo com que grande parte seja desperdiçada.

2.4.2. Espécies comuns, ciclo de vida e reprodução

O termo “caruncho” pode ser utilizado para abranger uma variedade de espécies de pragas de besouros, sendo os mais conhecidos e importantes o caruncho-do-arroz (*Sitophilus oryzae*), caruncho-do-milho (*Sitophilus zeamais*), apresentado na Figura 5, e o caruncho-do-feijão (*Callosobruchus maculatus*) (Almeida et al., 2005; Rezende, 1978).

Figura 5 - Adulto de *Sitophilus zeamais*

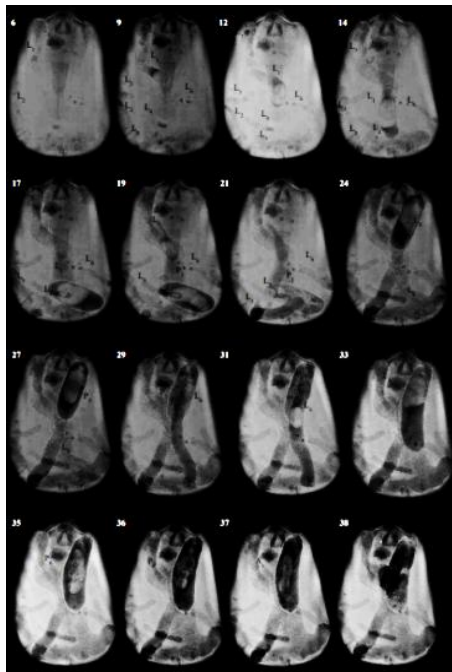


Fonte: (Santos, 2003)

Na reprodução, as diversas espécies também demonstram semelhança em alguns aspectos. O caruncho-do-arroz e o caruncho-do-milho são quase idênticos, diferentemente do caruncho-do-feijão, que é semelhante apenas em alguns aspectos

dos demais. Além disso, todos os três podem se desenvolver dentro dos grãos (Figura 6) (Silva; Andrés, 2016).

Figura 6 - Desenvolvimento do caruncho dentro do grão de milho



Fonte: (Silva; Andrés, 2016)

Enquanto o caruncho-do-feijão gera aproximadamente 87 ovos por fêmea e tem como duração da oviposição de 5 dias, o caruncho-do-milho e o caruncho-do-arroz gera 282 ovos por fêmea, sendo a oviposição com duração de aproximadamente 104 dias (Santos, 2003; Santos, 1972).

O ciclo de vida dos carunchos do milho e do arroz é quase idênticos se desconsiderarmos questões morfológicas, o ciclo de vida (oviposição até a fase adulta) dura cerca de 40 dias para esses, que é diferente do que acontece com o caruncho-do-feijão, que dura em torno de 20 dias da oviposição até a fase adulta (Santos, 2003; Santos, 1972).

2.4.3. Condições favoráveis para o desenvolvimento do caruncho

As condições climáticas ideais para o desenvolvimento do caruncho-do-milho, de acordo com Santos (2003), são de temperatura em torno de 24°C e grau de umidade entre 73 e 80%. Como já ressaltado, os carunchos do milho e do arroz são praticamente iguais, com apenas diferenças morfológicas. Com base nisso, pode-se

associar as condições climáticas ideais para o caruncho do milho ao caruncho do arroz.

Por outro lado, o caruncho-do-feijão se diferencia, tendo como condições climáticas ideais encontradas por Santos (1972) de temperatura e umidade relativa igual a 35°C e 90% respectivamente.

2.5. EMBALAGENS ATIVAS

De acordo com Silva, et al., (2009), as embalagens exercem um papel importante na proteção e conservação de alimentos, mas as embalagens tradicionais necessitam de melhorias para estender o tempo de vida de produtos alimentícios e atender à demanda de consumidores que buscam um produto seguro e saudável. As embalagens ativas são uma nova tecnologia que tem surgido visando melhorar e monitorar a qualidade dos produtos comestíveis, interagindo de forma intencional com os alimentos, com isso, as embalagens ativas vêm sendo utilizadas para aumentar a vida de prateleira, melhorar as características sensoriais, evitar degradações químicas e microbiológicas e garantir a segurança dos alimentos.

As embalagens ativas têm várias funções complementares em relação às embalagens passivas, que são limitadas a proteger o alimento somente do meio externo. Nos Estados Unidos, no Japão e na Austrália o conceito de embalagens ativas já está sendo aplicado com sucesso, tendo alguns sistemas de embalagens ativas aplicadas em produtos disponíveis no mercado. Porém, no Brasil o desenvolvimento dessas embalagens ainda está em nível laboratorial (Silva, et al., 2009).

De acordo com Souza (2025), as embalagens ativas são classificadas em dois tipos principais, sendo aquelas que emitem compostos benéficos (emissoras) e aquelas que absorvem elementos prejudiciais (absorvedoras). As emissoras liberam antioxidantes e antimicrobianos que ajudam a prevenir a degradação dos alimentos, enquanto as absorvedoras capturam compostos que aceleram o processo de deterioração dos alimentos, como o oxigênio, etileno e a umidade. Como exemplo, embalagens que liberam dióxido de carbono podem ajudar a retardar o amadurecimento de frutas frescas, e as embalagens absorvedoras de etileno podem ajudar a prolongar a vida útil de vegetais.

Ainda segundo Souza (2025), nas absorvedoras de oxigênio a redução parcial da pressão do oxigênio em um sistema de embalagem de alimentos resulta em uma redução das taxas de metabolismo (no caso de frutas e hortaliças in natura), redução do crescimento de microrganismos aeróbios e de reações de oxidação, o que consequentemente aumenta a vida de prateleira dos alimentos. Dentre os absorvedores de oxigênio, destacam-se o ácido ascórbico, polímeros fotossensíveis, dentre outros. Vantagens que se destacam dos absorvedores de oxigênio são a sua fácil utilização, a capacidade de prevenir o crescimento de microrganismos aeróbios e o potencial de retardarem a oxidação de lipídios e de compostos com sabor.

Dentre as várias práticas de manejo empregadas para o controle de amadurecimento e o objetivo de prolongar a vida pós-colheita desses frutos, destacam-se as estratégias para manipulação da síntese e ação do etileno (o hormônio natural do amadurecimento, que marca a transição entre as fases de crescimento e envelhecimento do fruto). Neste sentido, alguns compostos são empregados em embalagens com o objetivo de prolongar a vida de prateleira da classe das frutas e hortaliças, nos quais empregam os absorvedores de etileno, como o permanganato de potássio e a sílica gel, que têm capacidade de absorver o etileno liberado pelos frutos ao longo da maturação, formando ácido acético como produto final após uma reação de oxidação. Com isso, o processo de amadurecimento é retardado, dando assim um prolongamento da vida de prateleira dos produtos. (Souza, 2025)

Ainda segundo Souza (2025), as embalagens absorvedoras de umidade com o objetivo de prevenir o transporte de umidade e estabelecer a umidade desejada no espaço livre da embalagem, novas tecnologias têm sido desenvolvidas, como a incorporação de substâncias com ação umectante entre duas camadas de um filme plástico, deixando o meio externo com baixa permeabilidade e o meio interno com alta permeabilidade à umidade. Ademais, outra possibilidade de controlar a umidade no interior de embalagens é por meio do uso de sachês que contenham compostos dessecantes (substâncias que removem ou reduzem a umidade de um ambiente ou material) como álcool, propilenoglicol e carboidratos.

2.5.1. Embalagens emissoras

De acordo com Barbosa e Korzenowski (2018), os sistemas de embalagens emissoras possuem substâncias na composição das embalagens e objetivam a liberação de compostos como dióxido de carbono, dióxido de enxofre, etanol, antioxidantes, compostos ativos antimicrobianos derivados de extratos vegetais ou óleos essenciais que são liberados gradualmente dentro da embalagem. Estes compostos visam reduzir, inibir, inativar ou interromper o desenvolvimento de microrganismos nos alimentos, por meio da migração dos compostos para a superfície do produto.

Esses sistemas possuem diversas formas de aplicação para a liberação dos agentes ativos, por exemplo a inclusão dos ativos voláteis em sachês ou no polímero por meio de incorporação, imobilização, revestimento ou filmes multicamadas. Na incorporação, o agente ativo é incorporado na matriz polimérica fazendo com que a liberação dos compostos seja realizada de forma lenta (Barbosa; Korzenowski, 2018).

Na imobilização, os compostos são fixados por ligações covalentes no polímero, o que permitirá a atuação dos ativos somente na interface produto/alimento. No revestimento, os compostos podem ser absorvidos fisicamente ou revestidos sobre a superfície do produto, mantendo as características como textura, cor e controle de microrganismos. No sistema de filme multicamadas, há o controle na liberação dos compostos, já que ele possui três camadas, a camada externa (primeira), que possui a função de barreira minimizando a perda de compostos, a camada intermediária (segunda), que consiste em uma fina camada elaborada com o composto desejado, e a camada interna (terceira), que é a camada que entra em contato com o alimento e permite a liberação controlada do ativo para o produto (Barbosa; Korzenowski, 2018).

Nas embalagens ativas antimicrobianas, são incorporados compostos antimicrobianos naturais que interagem com o alimento, evitando assim possíveis alterações na qualidade dos produtos, pois esses ativos podem ser provenientes de fontes naturais como extratos vegetais ou de óleos essenciais como o óleo essencial de orégano, tomilho, alecrim, gengibre, cravo-da-índia, dentre outros (Barbosa; Korzenowski, 2018).

Dióxido de carbono: A alta concentração do dióxido de carbono atribui efeitos inibitórios para diversos fungos e bactérias, utilizados para conservação de

carnes, peixes, queijos, frangos e morangos. No entanto, a ação do dióxido de carbono pode ter efeitos distintos sobre alguns tipos de microrganismos, inibindo a proliferação de pseudomonas e estimulando bactérias ácido-láticas, devendo desta forma ser estudado de maneira a minimizar os efeitos adversos de sua aplicação (Barbosa; Korzenowski, 2018).

Etanol: O etanol possibilita prolongar o tempo de prateleira de produtos de panificação, confeitaria e queijos que possuem prazo de validade curto devido à alta atividade da água, que possibilita o crescimento de bactérias deteriorantes, fungos e leveduras. Os sachês de etanol, ao absorverem a umidade do produto, liberam vapor de etanol para o espaço interno do produto, já que a água se liga mais fortemente à sílica em gel do que o etanol, inibindo desta forma o crescimento de microrganismos, sendo esses sachês comumente produzidos com etanol e sílica em gel (Barbosa; Korzenowski, 2018).

3. METODOLOGIA

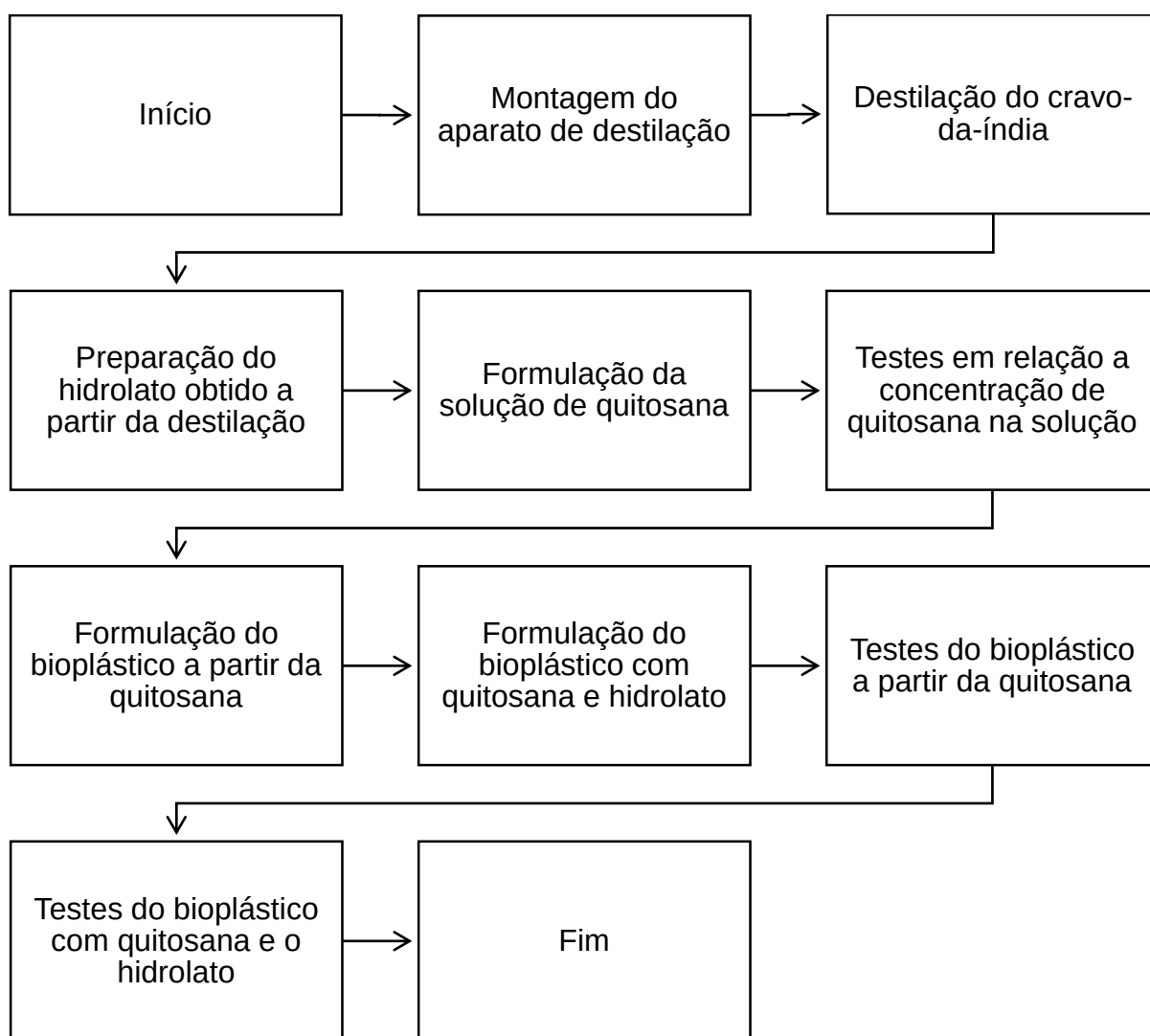
O presente trabalho foi elaborado a partir de pesquisas bibliográficas em livros, artigos e revistas, com o objetivo de adquirir conhecimentos acerca da formulação do bioplástico, propriedades da quitosana e extração do hidrolato do cravo-da-índia, assim como suas propriedades fitoquímicas. O principal colaborador das pesquisas que envolvem a quitosana foi Fernandes (2023), que foi responsável por introduzir o método casting aplicado à produção do biopolímero. Para a etapa de hidrodestilação, a principal referência foi Santos (2015), que guiou a montagem do aparato de destilação e tratamento do hidrolato e óleo essencial. Além da revisão bibliográfica, foram realizadas pesquisas experimentais com o objetivo de comprovar a eficácia contra a inibição do caruncho, assim, verificando também a eficiência do biopolímero incorporado com o óleo essencial do cravo-da-índia. Para isso, foram realizados testes qualitativos, com o objetivo de identificar a capacidade de repelir o caruncho. Para a realização dos bioensaios de repelência ou mortalidade do caruncho, o estudo baseou-se em Campos (2014), empregando um delineamento experimental com quatro testes: a exposição do caruncho ao bioplástico de quitosana com óleo essencial, ao bioplástico de quitosana sem óleo essencial, à quitosana isolada e um teste controle contendo somente o caruncho.

4. DESENVOLVIMENTO

4.1. FLUXOGRAMA

Todos os processos envolvidos no trabalho foram desenvolvidos no Laboratório de Química da Escola Técnica Estadual Prof. Armando José Farinazzo, a fim de comprovar as hipóteses da inibição da reprodução do caruncho por meio da quitosana, e incorporação do óleo essencial de cravo-da-índia. A Figura 7 representa o fluxograma do projeto.

Figura 7 - Fluxograma de todos os processos realizados no desenvolvimento



Fonte: (Dos próprios autores, 2025)

4.2. MATERIAIS E REAGENTES

A seguinte Tabela 1 a seguir contém todos os materiais e reagentes envolvidos em cada processo realizado ao longo do trabalho.

Tabela 1 - Materiais e reagentes utilizados em todo o desenvolvimento do trabalho

MÉTODO	MATERIAIS	REAGENTES
HIDRODESTILAÇÃO DO CRAVO DA ÍNDIA	• Suporte universal	• Água destilada
	• Condensador	• Água da torneira
	• Garra	• Cravo da Índia
	• Balão de destilação	
	• Mangueira	
	• Rolha	
	• Termômetro	
	• Bico de Bunsen	
	• Panela	
	• Funil de separação	
	• Béquer	
PREPARO DOS FILMES DE QUITOSANA	• Papel alumínio	
	• Funil de Buchner	• Quitosana
	• Bastão de vidro	• Ácido acético 1% e 4%
	• Béquer	• Glicerol
	• Placa de Petri	• Amido
	• Lamínula	
TESTE DE REPELÊNCIA DO BIOPLÁSTICO	• Kitassato	
	• Placa de Petri	• Grão de girassol
		• Biofilme desenvolvido
		• Carunchos
		• Óleo essencial do cravo-da-índia

Fonte: (Dos próprios autores, 2025)

4.3. DESTILAÇÃO DO CRAVO

Primeiramente, pesou-se aproximadamente 100g de cravo-da-índia, então, colocou-se metade no balão de destilação, juntamente com água destilada em quantidade suficiente para que ficasse no mesmo nível do cravo-da-índia e abriu-se a torneira para a passagem de água pela mangueira de resfriamento do condensador. Após isso, acendeu-se o bico de Bunsen para fazer o aquecimento do balão com cravo-da-índia, que fez com que a água evaporasse, levando o óleo essencial do cravo-da-índia, assim, formando o hidrolato (mistura de óleo e água). À medida que a água evapora, necessita-se encher o balão de destilação com mais água para evitar a queima do cravo-da-índia. Após extrair todo o óleo da primeira metade, fez-se o mesmo procedimento com a segunda metade. Assim, finaliza-se o processo de hidrodestilação. Seguem as Figuras 8 e 9 que apresentam o aparato de destilação montado e o hidrolato após a destilação.

Figura 8 - Aparato de destilação montado



Fonte: (Dos próprios autores, 2025)

Figura 9 - Hidrolato obtido após a destilação



Fonte: (Dos próprios autores, 2025)

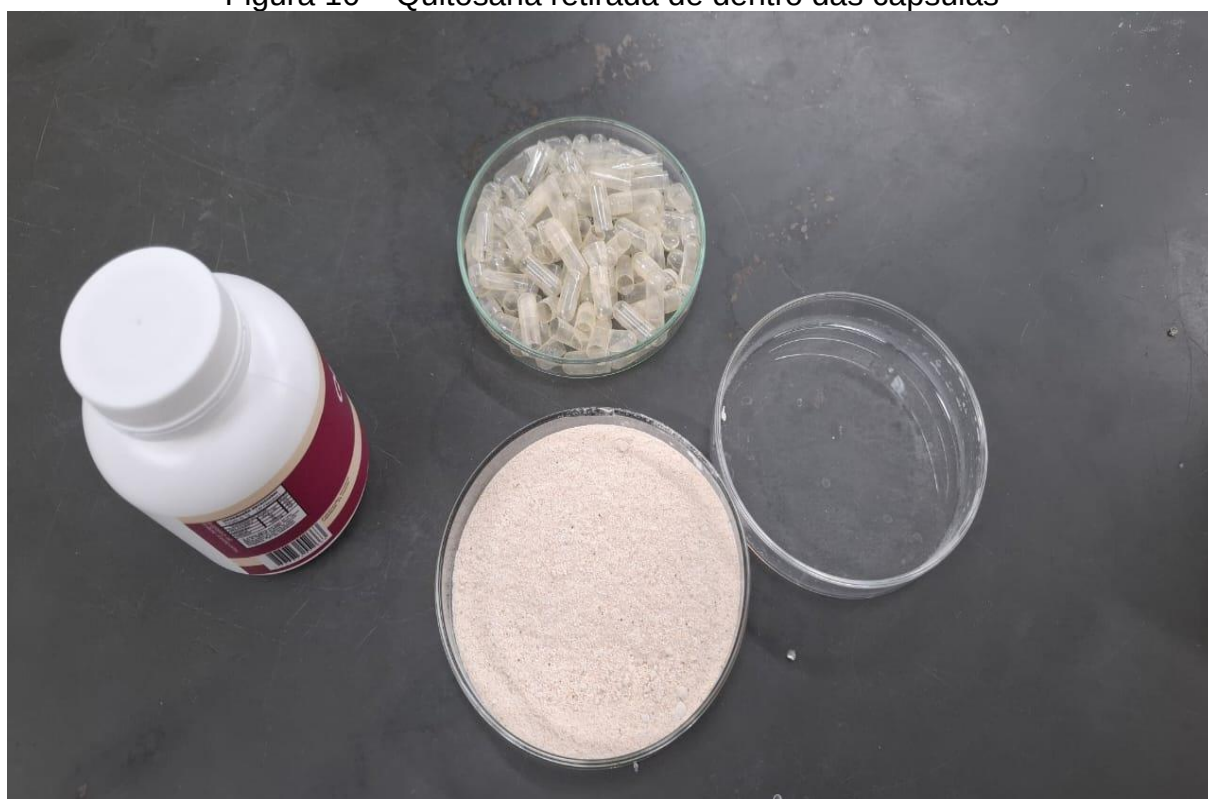
4.4. ESTERILIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Para a preparação das formulações e realização das práticas, foi realizada a esterilização dos seguintes materiais com o uso de papel kraft e fita indicadora para autoclave. Os materiais esterilizados incluem funil de Büchner, 6 lamínulas, 2 béqueres, 2 placas de Petri, 1 bastão de vidro e 1 kitassato. Todos os materiais citados foram esterilizados durante 30 minutos a 121 °C, na autoclave.

4.5. PREPARAÇÃO DO FILME PLÁSTICO

Para a realização da prática, foi adquirida a quitosana comercialmente em forma de cápsulas em uma em uma plataforma de comércio eletrônico, que não possui uma confiabilidade considerada em relação a sua pureza. Inicialmente foi retirado a quitosana de dentro das cápsulas, a fim de obter o produto de maneira singular, facilitando o manuseio. Segue a Figura 10, que mostra a quitosana obtida após o processo mencionado.

Figura 10 – Quitosana retirada de dentro das cápsulas



Fonte: (Dos próprios autores, 2025)

Para o procedimento de obtenção dos filmes, foram realizados seis testes a fim de determinar as proporções adequadas de cada reagente, de modo a conferir as melhores propriedades ao bioplástico. A Tabela 2, a seguir, mostra a composição de cada teste realizado:

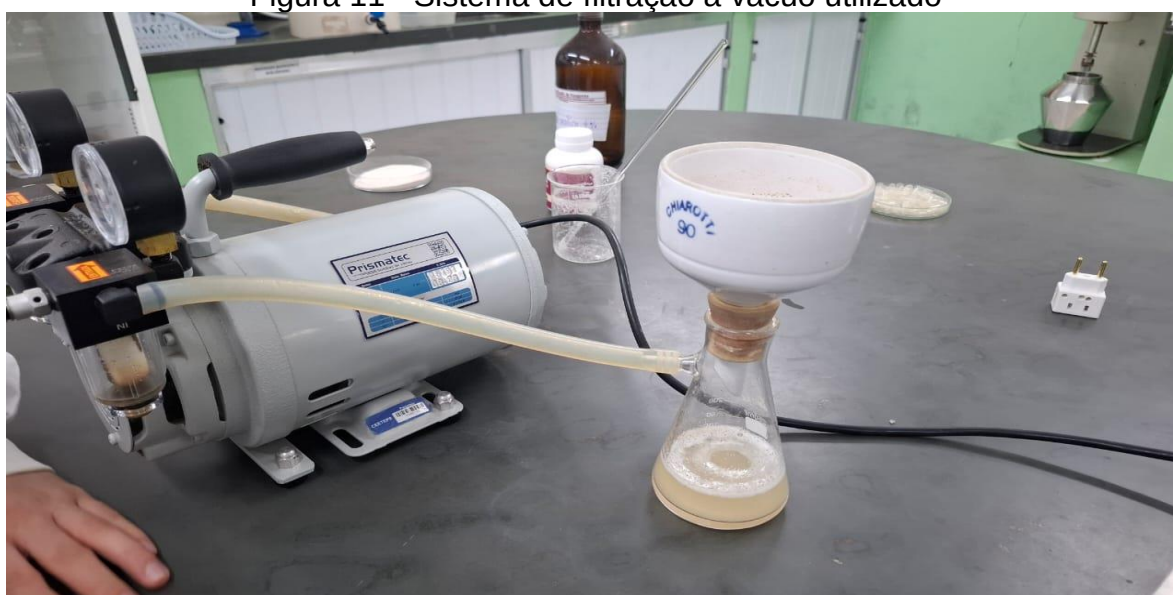
Tabela 2 – Composição dos testes do bioplástico

TESTES	COMPOSIÇÃO
1	ácido acético 4%; quitosana 0,25% (0,125g/50mL);
2	ácido acético 4%; quitosana 5% (5g/100mL);
3	ácido acético 4% quitosana 5% (5g/100mL); e glicerol 5% (5ml/100mL)
4	Amido 10% (12g/120mL) , 5,3 g de glicerol, 4g de quitosana e 10 mL de ácido acético concentrado.
5	Amido 10% (12g/120mL) , 5,3 g de glicerol, 4g de quitosana, 10 mL de ácido acético e 2 mL de óleo essencial.
6	Amido 15% (15g/100mL) , 5 g de glicerol, e 4 g de quitosana e 2 mL de ácido acético.

Fonte: (Dos próprios autores, 2025)

Nos testes 1 e 2, foram preparadas, primeiramente, as soluções de amostras de quitosana dissolvidas em ácido acético 4% nas concentrações de quitosana de 0,25% em 50 mL e 5% em 100 mL, assim, obtendo o resultado de dois extremos, um mais concentrado e outro menos concentrado. Após isso, as soluções foram filtradas a vácuo para que fossem removidas as impurezas, resultando em soluções mais puras e, conseqüentemente, na obtenção de filmes mais resistentes mecanicamente. A Figura 11 apresenta o sistema de filtração a vácuo utilizado.

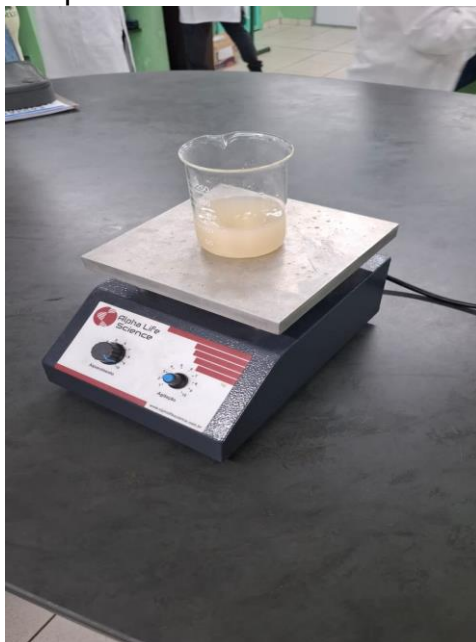
Figura 11 - Sistema de filtração a vácuo utilizado



Fonte: (Dos próprios autores, 2025)

Então, transferiram-se as soluções para um béquer, mantendo-as sob agitação magnética à temperatura de 60-70°C até a completa dissolução. A seguir, a Figura 12 apresenta uma das soluções de quitosana no agitador magnético.

Figura 12 - Solução de quitosana em ácido acético no agitador magnético



Fonte: (Dos próprios autores, 2025)

Por fim, transferiram-se as soluções obtidas para as lamínulas onde foram deixadas para secar à temperatura ambiente. Assim, obtendo-se filmes-teste de quitosana. A Figura 13 mostra as soluções em processo de secagem nas lamínulas a fim de obter o biofilme.

Figura 13 - Soluções de quitosana após a dissolução secando nas lamínulas

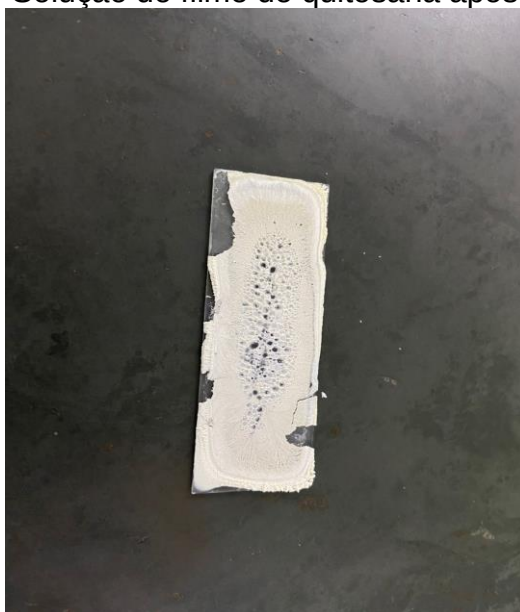


Fonte: (Dos próprios autores, 2025)

4.5.1. Resultados obtidos acerca do teste 1 e do teste 2

Após a secagem dos filmes em temperatura ambiente durante 1 dia, não se obteve o plástico esperado, o material final não apresentou características similares às de um plástico convencional, como durabilidade, resistência mecânica e, portanto, foi necessário adaptar a solução a fim de obter um plástico de melhor capacidade mecânica. A Figura 14 apresenta o resultado da secagem.

Figura 14 - Solução do filme de quitosana após a secagem

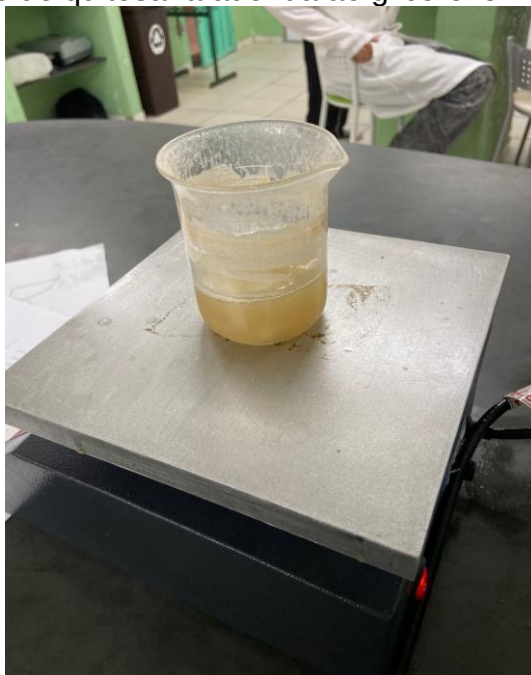


Fonte: (Dos próprios autores, 2025)

4.6. TESTE DO FILME PLÁSTICO ADERIDO AO GLICEROL (TESTE 3)

Com o objetivo de realizar outros testes em relação a formulação do biofilme, foi feito o teste 3 com a solução de quitosana dissolvida em ácido acético com a adição do glicerol como plastificante. Nessa solução, foi utilizado 100 mL de ácido acético 4% com 5% de quitosana e com 5% de glicerol por massa da solução. Logo após, foi realizado a mesma filtração a vácuo feita anteriormente com as outras soluções. Em seguida, a solução foi colocada em agitação magnética em temperatura ambiente por cerca de 48 horas. A Figura 15 mostra a solução já pronta em agitação.

Figura 15 - Solução de quitosana aderida ao glicerol em agitação magnética



Fonte: (Dos próprios autores, 2025)

Após a agitação da solução por 48 horas, transferiu-se a solução de quitosana para duas placas de Petri, sendo deixada para secar em temperatura ambiente com o objetivo de formar o biofilme. A Figura 16 mostra as placas do teste 3 em processo de secagem.

Figura 16 - Soluções secando nas placas de Petri



Fonte: (Dos próprios autores, 2025)

4.6.1. Resultados obtidos acerca do filme preparado com glicerol

Nesse terceiro teste de concentração com a adição do agente plastificante, não se obteve, novamente, o resultado esperado. As placas foram deixadas secando em temperatura ambiente, como já feito anteriormente, porém, em ambas as placas, o material final obtido foi totalmente quebradiço, sem nenhuma ligação com um material plástico. Dessa forma, fez-se necessário realizar outra adaptação da solução.

4.7. PREPARAÇÃO DO FILME PLÁSTICO COM GLICEROL, AMIDO E ÓLEO ESSENCIAL DO CRAVO-DA-ÍNDIA

Para melhor caracterização do filme plástico adicionou-se amido na solução, pela sua capacidade plastificante, assim como a do glicerol. As soluções utilizadas e suas respectivas concentrações são as seguintes: 12 g de amido, 5,3 g de glicerol, 120 mL de água, 4g de quitosana, 2 mL de óleo essencial e 10 mL de ácido acético. Portanto, como teste dessa nova formulação foi colocado em uma placa de Petri a solução mencionada sem os 2 mL de óleo essencial e em outra placa de Petri a solução aderida a 2 mL do óleo essencial, repetindo o mesmo processo de filtração dos processos anteriores. Após a distribuição da solução nas placas de Petri, foi deixada ambas na estufa em torno de 45°C por 5 dias.

4.7.1 Resultados obtidos acerca do filme plástico com amido, glicerol e óleo essencial do cravo-da-índia

Após a secagem da solução formadora do filme, o resultado obtido na placa em que não foi adicionado o óleo essencial (teste 4) apresentou características mais similares às de um plástico convencional, caracterizando-se como leve e durável. Já na placa em que o óleo foi adicionado (teste 5), o filme formado não apresentou nenhuma das características de um bioplástico. Assim, seguem as Figuras 17 e 18 revelando a forma física do plástico no teste 4.

Figura 17 - Plástico formado na placa de Petri



Fonte: (Dos próprios autores, 2025)

Figura 18 - Plástico retirado da placa de Petri



Fonte: (Dos próprios autores, 2025)

4.8. ÚLTIMO TESTE DE CONCENTRAÇÕES DO FILME PLÁSTICO

Com o objetivo de alcançar a formulação ideal foi realizado alguns ajustes nas concentrações da solução, sendo os seguintes: 2 mL de ácido acético, 15 g amido, 5 g de glicerol, 100 mL de água e 4 g de quitosana. Logo após, foi repetido o mesmo processo de filtração a vácuo anteriormente apresentado. Para a secagem, foi dividido a solução em duas distintas em dois vidros relógio, em uma foi adicionado 2 mL do óleo essencial do cravo-da-índia e a outra se manteve a mesma. Após a distribuição das soluções, foi deixada ambas na estufa em torno de 45°C por 5 dias. A Figura 19 mostra a distribuição realizada da solução nos dois vidros relógio.

Figura 19 - Novas concentrações após serem distribuídas nos vidros relógio



Fonte: (Dos próprios autores, 2025)

4.8.1. Resultados obtidos em relação ao último teste do bioplástico

Os ajustes realizados nas concentrações não trouxeram um bom resultado, o bioplástico (teste 6) não apresentou características similares às de um plástico convencional. Desse modo, a melhor versão do biofilme foi obtida na concentração anterior, teste 4 do bioplástico, representado pela Figura 18, o qual irá ser utilizado para a realização dos testes de repelência ao caruncho. A Figura 20

mostra o resultado do biofilme que apresentou o resultado negativo em relação às suas características.

Figura 20 - Resultado do último teste do bioplástico



Fonte: (Dos próprios autores, 2025)

4.9. TESTE DE REPELÊNCIA DO BIOPLÁSTICO

Após realizar os testes de resistência, verifica-se a melhor concentração de quitosana, que, ao testar diversas concentrações, chegou-se na conclusão que a melhor foi de 3% de quitosana (teste 5). Com isso, parte-se para os testes de repelência do caruncho.

Para a realização dos testes, foram utilizados carunchos provenientes de grãos de girassol. O ensaio foi conduzido em quatro placas de Petri distintas, de modo a avaliar o efeito do biopolímero à base de quitosana sobre os insetos (Tabela 3)

Tabela 3 – Testes de repelência

Placas	COMPOSIÇÃO
1	Grãos de girassol
2	Grãos de girassol ; biopolímero de quitosana
3	Grãos de girassol ; biopolímero de quitosana; óleo essencial
4	Grãos de girassol; quitosana

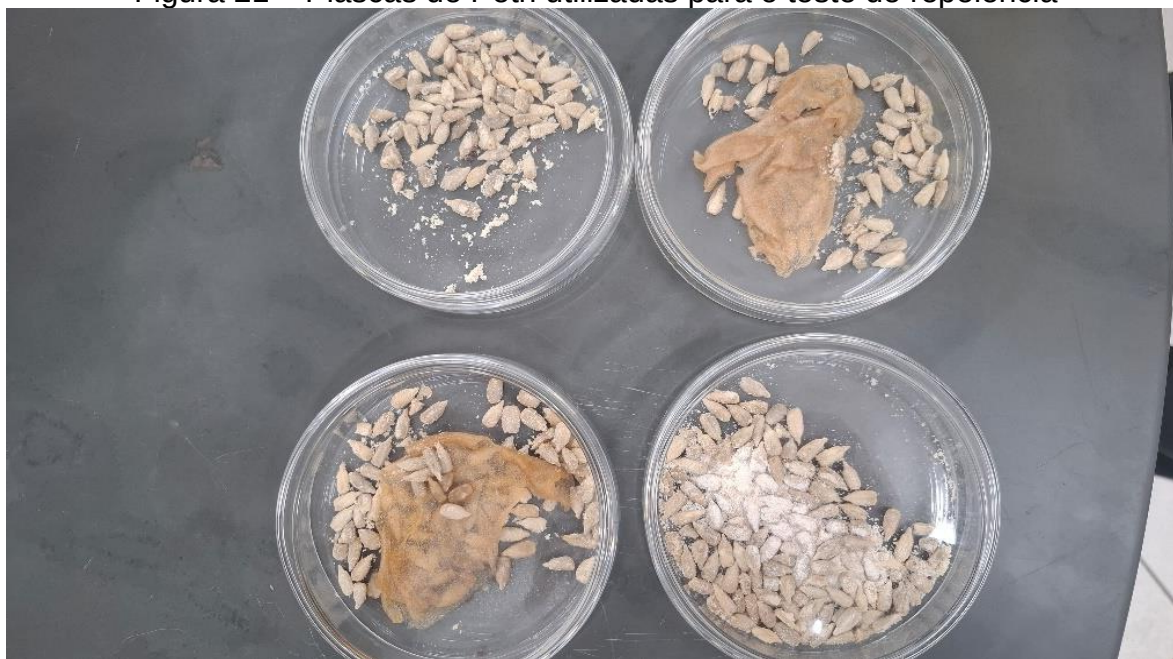
Fonte: (Dos próprios autores, 2025)

Na primeira placa, foram colocados apenas grãos de girassol. A segunda placa continha grãos de girassol revestidos com o biopolímero formulado à

base de quitosana. Na terceira placa, os grãos foram tratados com o biopolímero à base de quitosana acrescido de óleo essencial de cravo. Por fim, na quarta placa, foram colocados grãos de girassol juntamente com o pó de quitosana.

As quatro amostras foram mantidas sob as mesmas condições ambientais, durante um período de dois dias, para posterior observação do comportamento e da sobrevivência dos carunchos em cada tratamento. A Figura 21 apresenta a disposição dos grãos de girassol, carunchos e o biopolímero nas placas.

Figura 21 – Placas de Petri utilizadas para o teste de repelência



Fonte: (Dos próprios autores, 2025)

4.9.1. Resultados em relação ao teste contra os carunchos

Ao final das observações, decorrido o período de dois dias, foi possível observar a permanência de alguns carunchos vivos apenas nas placas de Petri que continha somente grãos de girassol e também na que continha grãos de girassol e quitosana em pó pura, revelando dúvida em relação a eficácia da quitosana. Nas demais placas – aquelas com o biopolímero à base de quitosana e com o biopolímero à base de quitosana e óleo de cravo – observou-se a mortalidade total dos carunchos, o que indica um efeito inseticida significativo desses polímeros.

Durante o início do experimento, foi possível notar que, na placa com o biopolímero à base de quitosana e óleo de cravo, os carunchos se mostraram atordoados logo após o contato com o material, o que sugere que houve uma ação

rápida do composto. Na placa com apenas o biopolímero à base de quitosana, o efeito ocorreu de forma mais lenta. As figuras 22 e 23 mostram as placas após os 2 dias.

Figura 22 – Placas com os grãos de girassol, com e sem o pó de quitosana



Fonte: (Dos próprios autores, 2025)

Figura 23 –Placas com grãos de girassol e biopolímero, com e sem o óleo de cravo



Fonte: (Dos próprios autores, 2025)

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho apresentou resultado satisfatório, uma vez que, com base na literatura, a quitosana aliada ao óleo essencial do cravo-da-índia possui

diversas propriedades com potencial de repelir o caruncho, dentre elas estão: antimicrobiana, inseticida, repelente, ovicida e larvicida, além da grande capacidade da quitosana de formar filmes plásticos com o auxílio de outros plastificantes como o amido e o glicerol, tornando o trabalho possível. Com base nos resultados obtidos ao longo de todo o processo, definiu-se a melhor formulação para desenvolver o bioplástico, além de comprovar sua eficácia em relação a sua aplicação contra o caruncho.

Vale salientar que o biopolímero aliado ao óleo teve sua propriedade repelente ainda mais intensificada, provocando a imobilização imediata dos carunchos, enquanto que apenas o biofilme com a quitosana apresentou menor eficiência, desse modo, reafirmando todo o seu potencial apresentado pela literatura.

Ainda que a formulação tenha apresentado desempenho satisfatório, algumas dificuldades foram identificadas, no sentido de obtenção de filmes com características mecânicas parecidas às de um plástico convencional, além da variação da pureza da quitosana adquirida comercialmente. Dessa maneira, estudos futuros podem analisar de maneira mais detalhada as reais propriedades dessa quitosana utilizada, ademais, testar outras formulações e condições de secagem a fim de obter um plástico de melhor qualidade.

Conclui-se que o biopolímero desenvolvido apresenta potencial promissor, visto sua aplicação em embalagens biodegradáveis destinadas ao armazenamento de grãos. Os resultados obtidos reforçam a necessidade de materiais alternativos e renováveis como estratégia para a proteção do setor agrícola em certas áreas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F. A. C et al. **Efeitos de extratos alcoólicos de plantas sobre o caruncho do feijão *vigna* (*Callosobruchus maculatus*)**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, PB, v.9, n.4, p.585-590, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/kLKxNB8RbKnLcxGL5GVjHwx/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 23 jun. 2025.

ANDRADE, M. F et al. **Óleos essenciais de alecrim-pimenta, laranja e cravo da índia como aditivos naturais antimicrobianos: uma revisão narrativa**. p. 298-304, 2022. Disponível em: <https://downloads.editoracientifica.com.br/articles/220207737.pdf>. Acesso em: 01 set. 2025

APARECIDA, O. R. et al. **Artigo Constituintes químicos voláteis de especiarias ricas em eugenol**. *Revista Brasileira de Farmacognosia Brazilian Journal of Pharmacognosy*, v. 19, n. 3, p. 771–775, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbfar/a/zg96LXsr5P945LDcP6gXqbJ/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em 08 set. 2025

BARBIRATO, M. **POLÍMEROS DE AMIDO**. UNIVERSIDADE SAGRADO CORAÇÃO. Bauru, 2010. Disponível em: https://repositorio.unisagrado.edu.br/bitstream/handle/2157/1/Polimeros_de_amido.pdf. Acesso em: 3 ago. 2025.

BARBOSA, E. G; KORZENOWSKI, C. **Embalagens ativas e suas aplicações na conservação de alimentos**. 2018. Disponível em: https://repositorio.uergs.edu.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/2763/_embalagens_ativas_e_suas_aplicaacoes_na_conservacao_de_alimentos_03.03.23.pdf?sequence=-1&isAllowed=y Acesso em: 05 set. 2025.

BASTOS, D. V. **Etanol, álcoolquímica e biorrefinarias**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, p. 5-38, 2007. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/2527/1/BS%2025%20Etanol%2C%20Alcoolqu%2C%20ADmica%20e%20Biorrefinarias_P.pdf. Acesso em: 24 jun. 2025.

BERTRAND, Mathilde; SIMONIN, Scott; BACH, Benoit. Aplicações da quitosana no setor agroalimentar: uma revisão. *Carbohydrate Research*, v. 543, set. 2024, 109219. Disponível em: DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carres.2024.109219>. Acesso em: 05 set. 2025

BITTENCOURT, V. R et al. **Embalagens ativas como novas abordagens sustentáveis e ambientalmente corretas: uma revisão da literatura**. v. 2 p. 222-223, 2021. Disponível em: <https://downloads.editoracientifica.com.br/articles/201102207.pdf>. Acesso em: 04 ago. 2025

BRASIL. **Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB. Boletim de monitoramento agrícola**. Brasília, DF: Conab, v. 11, n. 4, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-graos/monitoramento-agricola/monitoramento-agricola>.

BRITO, G. F, et. al. **Biopolímeros, polímeros biodegradáveis e polímeros verdes**. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, v. 6, n. 2, p. 127-139, 2011. Disponível em: <https://remap.revistas.ufcg.edu.br/index.php/remap/article/view/222/0>. Acesso em: 23 jun. 2025.

COSTA, G. C. A. **BIOPOLÍMERO QUITOSANA: PROPRIEDADES, CARACTERÍSTICAS E APLICAÇÕES NA CICATRIZAÇÃO DE FERIDAS**. CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA UNIFOR – MG. Minas Gerais, p. 38-50, 2018. Disponível em: <https://repositorioinstitucional.unifor.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/720>

/TCC_GiovanaCunhaAraujoCosta.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 03 ago. 2025.

CAMPOS, A. C. T, et al. **Atividade repelente e inseticida do óleo essencial de carqueja doce sobre o caruncho do feijão**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 18, n. 8, p. 862, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/7S7k4hq9jDz8RpJN4VHJzWN/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 13 out. 2025.

DE-FARIAS, S. S et al. **UMA ALTERNATIVA PARA PROMOÇÃO DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**. REVISTA GEONORTE, [S. l.], v. 7, n. 26, p. 61–77, 2016. Disponível em: [//periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/2759](https://periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/2759). Acesso em: 23 jun. 2025.

FERNANDES, G. L; SILVA, L. H. L; CORREIA, R. G, CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FEI, 2023. Disponível em: <https://repositorio-api.fei.edu.br/server/api/core/bitstreams/a4ae9744-5041-418b-8f52-06f166ee9a20/content>. Acesso em: 18 ago. 2025

FRANCHETTI, S. M. M.; MARCONATO, J. C. **Polímeros biodegradáveis uma solução parcial para diminuir a quantidade dos resíduos plásticos**. Química Nova, v. 29, n. 4, p. 811, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/QXT9wMDfVQ9PrhbVsp8b3Pc/>. Acesso em: 23 jun. 2025

JUNIOR, E. H. **Aspectos históricos sobre o desenvolvimento da ciência e da tecnologia de polímeros**. Polímeros: Ciência e Tecnologia, v. 8, n. 2, p. 6–9, 1998. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/po/a/dxqsKgLFHQT6dC7hK3cjK7r/>. Acesso em: 23 jun. 2025.

LORINI et al. **Manejo integrado de pragas de grãos e sementes armazenadas**. EMBRAPA. Brasília, p. 82, 2015. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1022859/1/Livropragas.pdf>. Acesso em: 05 maio de 2025

LUCHESI, L. C. **Desenvolvimento de embalagens biodegradáveis a partir de amido contendo subprodutos provenientes do processamento de alimentos**. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL ESCOLA DE ENGENHARIA. Porto Alegre, 2018. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/178251>. Acesso em 28 jun de 2025

MACIEL, F, C. **Ação de óleos essenciais de *Syzygium aromaticum* e *Thymus vulgaris* sobre *Sitophilus zeamais* e *Tribolium castaneum* em laboratório**. p. 25-30, 2016. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/ppgent/files/2016/03/disserta%C3%A7%C3%A3o-Franciele.pdf>. Acesso em: 01 set. 2025

MOHAN KANNAN et al. **Formulações de inseticidas à base de quitosana para o controle de pragas de insetos: uma revisão das tendências e desafios atuais**, *National Library of Medicine*, 2024. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141813024067461?via%3Dihub>. Acesso em 08 set. 2025

MONTES, S. S; SANTANA, L. G.; CRUZ, R. S. **Óleos essenciais em embalagens para alimentos-Revisão de literatura de 2000 a 2012**. Revista Eletrônica Perspectivas da Ciência e Tecnologia. Salvador, v. 5, n. 2, p. 1-1, 2013. Disponível em: https://scholar.google.pt/scholar?hl=pt-BR&as_sdt=0%2C14&q=embalagens+alimentos+insetos&btnG=. Acesso em 10 maio. 2025

RAJKUMAR VALLAVAN et al. **Caracterização estrutural de nanopartículas de quitosana carregadas com óleo essencial de *Piper nigrum* para eficácia biológica no controle de pragas de grãos armazenados**, bioquímica e Fisiologia de Pesticidas Volume 166, junho de 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048357520300614?via%3Dihub>. Acesso em 08 set. 2025

REZENDE J. A. M. **POSSÍVEL FONTE DE RESISTÊNCIA AO CARUNCHO (*SITOPHILUS ZEAMAI* MOTSCHULSKY, 1855) E M MILHO-EM-PALHA (*ZEAMAYS*, L.)**. FAPESP, Campinas, SP, 1978, Disponível em: <https://www.scielo.br/j/brag/a/RCD5h4SyWTjxq7CphQTmgKj/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em 24 jun de 2025

RODRIGUES, F. M. **SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO TÉRMICA DE BIOPOLÍMEROS PRODUZIDOS A PARTIR DE FONTES NATURAIS DE AMIDO**. FATEC, Campinas, p. 22-26, 2019. Disponível em: https://ric.cps.sp.gov.br/bitstream/123456789/9401/1/Tecnologiaemprocessosquimicos_2_2019_Fernanda%20de%20Moraes%20Rodrigues_Sintese%20e%20caracterizacao%20termica%20de%20biopolimeros%20a%20partir%20de%20fontes%20naturais%20de%20amido.pdf. Acesso em 24 jun. 2025.

SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, L. et al. ***Physical and antimicrobial properties of chitosan-tea tree essential oil composite films***. Journal of Food Engineering. Países Baixos, v.98, p. 443-452, 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877410000427>. Acesso em 09 jun. 2025

SANTOS, M; DELAMUTA, B. H; KIOURANIS, N. M. M. **UMA ABORDAGEM EXPERIMENTAL PARA O ENSINO DE QUÍMICA ATRAVÉS DA TEMÁTICA “EXTRAÇÃO DE ÓLEO ESSENCIAL DO CRAVO-DA-ÍNDIA**. REDEQUIM. 2015 Disponível em: <https://www.journals.ufrpe.br/article/download>. Acesso em 01 set. 2025

SANTOS H. R. **Aspectos da biologia do *Callosobruchus maculatus* (Fabr., 1792) (*Col. Bruchidae*) sobre sementes de *Vigna sinensis* Endl.** USP, Piracicaba, SP, 1972. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11146/tde-20240301-153358/en.php>? Acesso em: 24 jun. 2025.

SANTOS N. R. **EFEITOS DE EXTRATOS VEGETAIS COM RELAÇÃO À MORTALIDADE DO CARUNCHO (*Sitophilus zeamais* L.) E A QUALIDADE**

FISIOLOGICA DE SEMENTES DE MILHO ARMAZENADAS. UFCG, Campina Grande, PB, 2003. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/handle/riufcg/1098>. Acesso em 24 de junho de 2025

SILVA B; ANDRÉS D. **Canibalismo e desempenho reprodutivo dos carunchos *Sitophilus zeamais* e *Sitophilus granarius***. UFV, Viçosa, MG, 2016. Disponível em: <https://locus.ufv.br/items/350ccde1-b203-4dcc-843c-271520e8c5a8>. Acesso em: 24 jun. 2025.

SILVA, P. S. et al. **Novos desenvolvimentos e aplicações em embalagens de alimentos**. [S. l.]. p. 371, 2009. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/3052/305226808003.pdf>. Acesso em: 23 jun. 2025.

SOUZA, K. L. C. **Embalagens ativas para manutenção da qualidade dos alimentos**. p. 11, 2025. Disponível em: <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/5311>. Acesso em: 30 jun. 2025.

SPIN-NETO Rubens et al. Biomateriais à base de quitosana com aplicação médica e odontológica: revisão de literatura. Revista de Odontologia da UNESP. 2008; p161; disponível em: <https://www.revodontolunesp.com.br/article/588018447f8c9d0a098b4b49> Acesso em: 30 jun. 2025

TADA, M. J; DE NARDI, P. P. C. **Caruncho (*Sitophilus sp.*) como veiculador de micro-organismos patogênicos no arroz e no milho**. COGITARE. São Paulo, v. 4, n. 2, p. 58-67. 2021. Disponível em: <https://ojs.ifsp.edu.br/index.php/cogitare/article/view/1925>. Acesso em: 05 maio. 2025

VALLE, M. P. V; GUARNIERI, P; FILIPPI, A. C. G. **Adoção de embalagens plásticas sustentáveis agroalimentares: um olhar na dinâmica da produção orgânica e sustentável em face da Economia Circular**. Interações. Campo Grande, v. 24, p. 211-227, 2023. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/inter/a/7LrQvW7sJpH4tKdKG9fXyng/>. Acesso em 10 maio. 2025.