

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS**

**ANDRÉA TRIGUEIRO LIMA**

**OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE FILMES ATIVOS  
ANTIOXIDANTES**

**Campina Grande-PB**

**2023**

**ANDRÉA TRIGUEIRO LIMA**

**OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE FILMES ATIVOS  
ANTIOXIDANTES**

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Alimentos.

**Orientadores:**

**Prof. Dr. Gilmar Trindade de Araújo.**

**Profa. Dra. Ana Paula Trindade Rocha.**

**Campina Grande - PB**

**2023**

L732o Lima, Andréa Trigueiro.  
Otimização do processo de produção de filmes ativos antioxidantes /  
Andréa Trigueiro Lima – Campina Grande, 2024.  
64 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade  
Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais,  
2023.

"Orientação: Prof. Dr. Gilmar Trindade de Araújo, Profa. Dra. Ana  
Paula Trindade Rocha."

Referências.

1. Amido Termoplástico. 2. Polímeros Biodegradáveis. 3. Quitosana. I.  
Araújo, Gilmar Trindade de. II. Rocha, Ana Paula Trindade. III. Título.

CDU 664:678.552(043)

**ANDRÉA TRIGUEIRO LIMA**

**OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE FILMES ATIVOS  
ANTIOXIDANTES**

Aprovado em: 03 de março de 2023

---

Dr. GILMAR TRINDADE DE ARAUJO - Orientador  
Unidade Acadêmica de Engenharia Química –UFCG

---

Dra. ANA PAULA TRINDADE ROCHA - Orientadora  
Unidade Acadêmica de Engenharia de Alimentos – UFCG

---

Dr. RENNAN PEREIRA DE GUSMÃO - Examinador  
Unidade Acadêmica de Engenharia de Alimentos – UFCG

---

Dr. VIMÁRIO SIMÕES SILVA - Examinador  
Unidade Acadêmica de Engenharia Química –UFCG



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE**  
PROGRAMA DE POS-GRADUACAO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS  
Rua Aprigio Veloso, 882, - Bairro Universitario, Campina Grande/PB, CEP 58429-900

## REGISTRO DE PRESENÇA E ASSINATURAS

### **ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS, REALIZADA EM 03 DE MAÇO DE 2023.**

Aluno(a): **ANDRÉA TRIGUEIRO LIMA**

Banca Examinadora composta por: Prof. Dr. Gilmar Trindade de Araújo (Orientador), a professora Dra Ana Paula Trindade Rocha (Orientadora), o professor Dr. Rennan Pereira de Gusmão, e o professor Dr. Vimário Simões Silva (UAEQ-UFCG-Membro Externo).

Título do Trabalho: “**OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE FILMES ATIVOS ANTIOXIDANTES**”.

Dia: 03/03/2023, 09hs, no Auditório do Bloco CZ-BETA– UAEAli - UFCG.

Em sessão pública, após exposição de 45 minutos, a aluna ANDRÉA TRIGUEIRO LIMA foi arguida oralmente pela Comissão Examinadora, tendo demonstrado conhecimento e capacidade de sistematização no tema de seu trabalho sendo considerada APROVADA. Em face disto, declara o Presidente, Prof. Dr. Gilmar Trindade de Araujo achar-se a aluna legalmente habilitada a receber o título de MESTRE em Engenharia de Alimentos do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos da Unidade Acadêmica em Engenharia de Alimentos do CTRN/UFCG. Na forma regulamentar foi lavrada a presente Ata, que é assinada por mim, Dr. Gilmar Trindade de Araujo e Profa. Dra Ana Paula Trindade Rocha, Orientadores, e pelos demais membros da Banca. Campina Grande, 03 de março de 2023.

#### JULGAMENTO DO TRABALHO: APROVADO.

Prof. Dr. Gilmar Trindade de Araújo (UFCG-Orientador)

Profª. Dra Ana Paula Trindade Rocha (UFCG-Orientadora)

Prof. Dr. Rennan Pereira de Gusmão (UFCG-Membro Interno)

Prof. Dr. Vimário Simões Silva (UAEQ-UFCG-Membro Externo).

ANDRÉA TRIGUEIRO LIMA (Candidata)

## 2 - APROVAÇÃO

2.1. Segue a presente Ata de Defesa de Dissertação da aluna ANDRÉA TRIGUEIRO LIMA, assinada eletronicamente pela Comissão Examinadora acima identificada.

2.2. No caso de examinadores externos que não possuam credenciamento de usuário externo ativo no SEI, para igual assinatura eletrônica, os examinadores internos signatários certificam que os examinadores externos acima identificados participaram da defesa da tese e tomaram conhecimento do teor deste documento.



Documento assinado eletronicamente por **GILMAR TRINDADE DE ARAUJO, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 23/05/2023, às 16:40, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **RENNAN PEREIRA DE GUSMAO, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 24/05/2023, às 08:28, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **Andréa Trigueiro Lima, Usuário Externo**, em 24/05/2023, às 08:47, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **VIMARIO SIMOES SILVA, PROFESSOR 3 GRAU**, em 24/05/2023, às 09:51, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **ANA PAULA TRINDADE ROCHA, PROFESSOR 3 GRAU**, em 24/05/2023, às 10:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **3417711** e o código CRC **E18578A6**.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	iii
LISTA DE TABELAS .....	iv
LISTA DE QUADROS .....	v
LISTA DE TABELAS .....	vi
LISTA DE QUADROS .....	vii
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 HIPÓTESE.....</b>	<b>3</b>
<b>3 OBJETIVOS .....</b>	<b>4</b>
3.1 Geral.....	4
3.2 Específicos .....	4
<b>4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>5</b>
4.1 Polímeros biodegradáveis .....	5
4.2 Embalagens de alimentos.....	8
4.2.1 Embalagens ativas.....	9
4.3 Materiais e aditivos utilizados na embalagem .....	9
4.3.1 Amido.....	9
4.3.2 Quitosana.....	10
4.3.3 Glicerol.....	11
4.3.4 Extrato de casca de cajueiro .....	12
4.4 Técnicas para obtenção e avaliação do plástico.....	13
<b>5 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>15</b>
5.1 Material.....	15
5.2 Métodos .....	15
5.2.1 Obtenção do extrato concentrado da casca de cajueiro.....	15
5.2.2 Determinação do teor de compostos fenólicos do extrato de casca de cajueiro .....	16
5.2.3 Elaboração dos filmes .....	16
5.2.4 Caracterização dos filmes.....	18
5.2.4.1 Aspectos visuais e espessura .....	18
5.2.4.1.1 Caracterização visual.....	18
5.2.4.1.2 Espessura.....	18

5.2.4.1.3 Colorimetria .....	18
5.2.4.2 Caracterização física e mecânica.....	19
5.2.4.2.1 Permeabilidade ao vapor de água.....	19
5.2.4.2.2 Solubilidade.....	19
5.2.4.2.3 Resistência à tração e Alongamento.....	20
5.2.4.3 Caracterização morfológica.....	20
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>21</b>
6.1 Caracterização do extrato.....	21
6.2 Caracterização visual .....	22
6.3 Colorimetria .....	24
6.4 Espessuras .....	25
6.5 Permeabilidade ao vapor de água .....	27
6.6 Solubilidade .....	34
6.7 Resistência à tração e alongamento .....	37
6.8 Microscopia eletrônica de varredura.....	41
<b>7 CONCLUSÃO.....</b>	<b>46</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>47</b>

**LISTA DE FIGURAS**

<b>Figura 1</b> - Classificação esquemática de polímeros biodegradáveis .....	6
<b>Figura 2</b> - Estrutura química do Amido.....	10
<b>Figura 3</b> - Estrutura química da quitosana.....	11
<b>Figura 4</b> - Estrutura química do glicerol .....	12
<b>Figura 5</b> - Processo de casting utilizado na produção de filmes .....	14
<b>Figura 6</b> - Evaporador rotativo .....	15
<b>Figura 7</b> - Fluxograma de metodologia .....	17
<b>Figura 8</b> - Superfície de resposta para dados de permeabilidade ao vapor de água pela interação de quitosana e extrato .....	28
<b>Figura 9</b> - Gráfico de Pareto de Efeitos Padronizados da Permeabilidade ao Vapor de Água	30
<b>Figura 10</b> - Superfície de resposta para dados de permeabilidade ao vapor de água pela interação de glicerol e extrato.....	31
<b>Figura 11</b> - Superfície de resposta para dados de permeabilidade ao vapor de água pela interação de glicerol e quitosana .....	32
<b>Figura 12</b> - Gráfico de Valores preditos e observados para Permeabilidade ao Vapor de Água .....	33
<b>Figura 13</b> - Gráfico de Pareto de Efeitos Padronizados da Solubilidade .....	35
<b>Figura 14</b> - Superfície de resposta para dados de solubilidade .....	36
<b>Figura 15</b> - Gráfico de Pareto de Efeitos Padronizados da Resistência a tração .....	38
<b>Figura 16</b> - Gráfico de Pareto de Efeitos Padronizados do Alongamento.....	39
<b>Figura 17</b> - Perfis para valores previstos e desejabilidade .....	40

**LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 1</b> - Níveis das variáveis de entrada .....	17
<b>Tabela 2</b> - Formulações do planejamento experimental Box-Behnken.....	18
<b>Tabela 3</b> - Compostos fenólicos e taninos do pó de casca de cajueiro, extrato da casca de cajueiro e filme de amido utilizando o extrato vegetal como composto ativo .....	21
<b>Tabela 4</b> - parâmetros de cor (L, a, b) e diferença de cor total ( $\Delta E$ ) .....	24
<b>Tabela 5</b> - Valores dos desvios das espessuras .....	26
<b>Tabela 6</b> - Valores de permeabilidade ao vapor de água .....	27
<b>Tabela 7</b> - Valores de solubilidade .....	34
<b>Tabela 8</b> - Valores de resistência a tração e alongamento .....	37

**LISTA DE QUADROS**

<b>Quadro 1</b> - Caracterização visual .....	22
<b>Quadro 2</b> - Morfologia da superfície os filmes .....	41

## RESUMO

As embalagens têm a função de proteger o alimento, mantendo sua qualidade física, sensorial e nutricional durante todo o período de armazenamento. Essa embalagem pode ser enriquecida com agentes ativos para aumentar a vida de prateleira do produto embalado. Buscando contribuir com o aumento da vida de prateleira, o objetivo da pesquisa foi elaborar e avaliar filmes produzidos a partir de amido, quitosana e glicerol, com adição de extrato de casca de cajueiro, avaliando as propriedades do material para se determinar a formulação que apresentasse as melhores propriedades para utilização em alimentos e atuasse como embalagem ativa. O experimento foi desenvolvido com o auxílio de um planejamento experimental do tipo Box-Behnken, onde foram realizados 15 tratamentos, para poder definir a melhor formulação, através da desejabilidade estatística, variando a concentração de quitosana, extrato de casca de cajueiro e glicerol, utilizado como agente plastificante. Os filmes foram avaliados quanto as suas propriedades físico-químicas (solubilidade em água e barreira ao vapor de água), físicas e mecânicas (espessura, resistência à tração e porcentagem de alongação na ruptura) e morfológica (MEV). Os critérios estatísticos para se obter a melhor formulação foram baixos valores de solubilidade e de permeabilidade ao vapor de água, importantes para manutenção da propriedade de barreira para o alimento armazenado, e maiores valores para a resistência a tração e alongamento, importante para proteger a integridade do alimento embalado. A adição do extrato de casca de cajueiro aumentou a resistência a tração e o alongamento do material produzido, enquanto o glicerol e a quitosana não tiveram influência significativa nessas propriedades. Os filmes obtidos possuem solubilidade baixa e uma propriedade de barreira variada em relação ao filme controle (material filmogênico sem adição de extrato e quitosana), e a adição à formulação do extrato de casca de cajueiro melhorou a resistência a tração e alongação na ruptura. Os filmes obtidos podem ter atividades antioxidantes pela presença de polifenóis, como taninos, que foram mantidos no material produzido a partir da formulação otimizada. A partir da desejabilidade estatística, foi possível se estabelecer uma formulação com proporções de 3% de quitosana, 2% de extrato de casca de cajueiro e 3,25% de glicerol na matriz a base de 5% de amido de milho no material filmogênico. Os parâmetros físicos e químicos obtidos para essa formulação foi maior resistência física e mecânica (14,75N de ruptura e 49,43% de alongamento) e menores valores de permeabilidade ao vapor de água (3,033 g.mm/m<sup>2</sup>.h.kPa) e solubilidade (1,94%).

**Palavras-chave:** Amido termoplástico; Polímeros biodegradáveis; Quitosana.

## ABSTRACT

The packaging has the function of protecting the food, maintaining its physical, sensorial and nutritional quality during the whole period of storage. Such packaging can be enriched with active agents to increase the shelf life of the packaged product. Seeking to contribute to increasing shelf life, the objective of the research was to develop and evaluate films produced from starch, chitosan and glycerol, with the addition of cashew tree bark extract, evaluating the properties of the material to determine the formulation that presented the best properties for use in food and acting as an active packaging. The experiment was developed with the aid of a Box-Behnken-type experimental design, where 15 treatments were carried out, in order to define the best formulation, through statistical desirability, varying the concentration of chitosan, cashew tree bark extract and glycerol, used as a plasticizing agent. The films were evaluated for their physical-chemical (water solubility and water vapor barrier), physical and mechanical (thickness, tensile strength and percentage of elongation at break) and morphological properties (SEM). The statistical criteria for obtaining the best formulation were low solubility and water vapor permeability values, important for maintaining the barrier property for the stored food, and higher values for tensile strength and elongation, important for protecting the integrity of the packaged food. The addition of cashew tree bark extract increased the tensile strength and elongation of the produced material, while glycerol and chitosan had no significant influence on these properties. The films obtained have low solubility and a varied barrier property in relation to the control film (film-forming material without the addition of extract and chitosan), and the addition of cashew tree bark extract to the formulation improved the tensile strength and elongation at break. The films obtained may have antioxidant activities due to the presence of polyphenols, such as tannins, which were maintained in the material produced from the optimized formulation. Based on statistical desirability, it was possible to establish a formulation with proportions of 3% chitosan, 2% cashew tree bark extract and 3,25% glycerol in the matrix based on 5% corn starch in the film-forming material. The physical and chemical parameters obtained for this formulation were greater physical and mechanical strength (14,75N for rupture and 49,43% for elongation) and lower values for water vapor permeability (3,033 g.mm/m<sup>2</sup>.h.kPa) and solubility (1,94%).

**Keywords:** Thermoplastic starch; Biodegradable polymers; Chitosan.

## 1 INTRODUÇÃO

O crescente consumo de produtos à base de polímeros sintéticos gera grandes quantidades de resíduo (CAIXETA; MORAIS, 2022). A produção e consumo de plásticos é uma preocupação para o mundo, uma vez que a produção mundial chega a 350 milhões de toneladas por ano, e boa parte dessa produção não é descartada de forma adequada, muito menos reciclada ou reaproveitada (RITCHIE; ROSER, 2018). Isso gerou o interesse do consumidor por alimentos saudáveis e estáveis junto com a conscientização em relação aos efeitos ambientais nocivos dos resíduos não biodegradáveis gerados pelo descarte dessas embalagens contribuindo para o aumento do interesse por produtos de maior degradabilidade o que fomenta a pesquisa de filmes e revestimentos biodegradáveis (HASSAN et al., 2018).

A principal função das embalagens e dos filmes é manter a qualidade (sabor, cor e valor nutricional) e a segurança dos produtos alimentícios durante o armazenamento (DE VARGAS et al., 2022). Os revestimentos comestíveis, assim como os filmes, a base de amido e outros polímeros naturais, são estudados por serem eficazes como tratamento pós-colheita para preservar a qualidade dos frutos, sendo uma tecnologia promissora para aumento do prazo de validade de produtos alimentícios (BARBOZA et al., 2022).

O amido foi descoberto como material filmogênico na década de 1980. Atualmente pesquisas estão colocando o amido como uma opção para ajudar na solução do problema da grande utilização de embalagens plásticas, pois o mesmo possui um uso potencial para o desenvolvimento de revestimentos e/ou embalagens para uma grande variedade de alimentos, incluindo frutas frescas (BASIAK; LENART; DEBEAUFORT, 2018), principalmente quando associado a outros polímeros naturais como a quitosana.

A quitosana é um polissacarídeo catiônico produzido pela desacetilação da quitina, polissacarídeo extraído do exoesqueleto de crustáceos. Algumas propriedades da quitosana também são de interesse na indústria de alimentos como a bioatividade, biodegradabilidade, biocompatibilidade, permeabilidade seletiva, hidrofiliabilidade, baixa toxicidade, propriedade conservante, antioxidante, além de atividade antimicrobiana que tem chamado a atenção como um potencial conservante natural de alimentos (BARROS et al., 2020).

A mistura de dois ou mais polímeros compatíveis é uma alternativa para melhorar as propriedades físicas de cada componente individual (CAZÓN; VÁZQUEZ, 2020). Essa utilização de misturas de polímeros, para melhoria dos materiais de embalagens, busca provocar mudanças de propriedades físicas, térmicas, mecânicas, de barreira e ópticas e desejadas no material final. O estudo da variação dessas propriedades é um fator chave na formulação adequada de blendas para aplicações específicas.

A utilização da quitosana como material para produção de embalagens pode contribuir para atenuar a preocupação ambiental, porém pode ter como desvantagens alterações na estabilidade térmica, nas propriedades de barreira e propriedades mecânicas, além do custo de produção. A mistura da quitosana com outros polímeros, normais ou sintéticos, é uma forma segura de diminuir essas deficiências, tornando os filmes adequados para usos específicos (HAGHIGHI et al., 2020).

Além disso, aditivos, como plastificantes, antimicrobianos, antioxidantes ou emulsificantes, geralmente são necessários para melhorar as propriedades e a estrutura do filme (DUBEY; DUBEY, 2020). Compostos ativos, presentes em extratos vegetais, também podem ser utilizados, como os do extrato vegetal da casca de cajueiro, que tem propriedade antioxidante pela presença de compostos fenólicos e taninos, além de ácidos orgânicos (SILVA; ALMEIDA, 2015). Esses extratos naturais são competitivos em relação aos sintéticos por possuírem qualidades sensoriais mais próximas às suas matrizes vegetais de origem e vem sendo estudados no cenário mundial devido à necessidade de compostos ativos com atividade terapêutica (KOTOVICZ et al., 2021).

Diante do aqui exposto, pode-se supor que a área de filmes ativos a base de polímeros biodegradáveis e renováveis pode ter sua qualidade melhorada com a utilização de extratos ricos em polifenóis, em alternativa ao uso de aditivos sintéticos na conservação dos alimentos. Por isso, o estudo de métodos e formulações para utilização desses extratos em películas protetoras e em embalagens biodegradáveis é necessário para se buscar diminuir o impacto ambiental causado por embalagens plásticas convencionais e o uso de conservantes químicos, além de aumentar a vida de prateleira de frutas e hortaliças.

## **2 HIPÓTESE**

Assim, a hipótese considerada para o desenvolvimento do presente trabalho foi que: a adição de extrato concentrado da casca do cajueiro (*Anacardium occidentale*) na formulação da solução filmogênica a partir de amido de milho e diferentes combinações de concentrações de quitosana, glicerol, produzirá filmes com atividade antimicrobiana e/ou antioxidante, sem afetar as propriedades físicas desses filmes, ou seja, com potencial para proteger o alimento de contaminação microbológica e/ou oxidação.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Geral**

Produzir e avaliar a funcionalidade de filmes ativos a base de amido, quitosana e glicerol com a adição de extrato concentrado de casca de cajueiro.

#### **3.2 Específicos**

- Obter extrato concentrado de casca de cajueiro e avaliar as propriedades funcionais desse extrato pela presença de compostos fenólicos;
- Produzir material filmogênico a partir de amido de milho e diferentes combinações de concentrações de quitosana, glicerol e extrato de casca de cajueiro obtido;
- Avaliar das propriedades mecânicas, físicas e morfológicas dos filmes: cor, morfologia, espessura, permeabilidade ao vapor de água, solubilidade, tensão de ruptura e alongamento;
- Avaliar a influência do teor de extrato na cor dos filmes produzidos;
- Otimizar o processo definindo a melhor formulação, pela função desejabilidade estatística, por meio do planejamento estatístico de experimento;
- Avaliar a propriedade funcional do material otimizado pela presença de compostos fenólicos.

## 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 Polímeros biodegradáveis

A produção e consumo de plásticos é uma preocupação para o mundo, uma vez que a produção mundial chega a 350 milhões de toneladas por ano, e boa parte dessa produção não é descartada de forma adequada, muito menos reciclada ou reaproveitada (RITCHIE; ROSER, 2018). Os plásticos foram parte essencial do desenvolvimento do estilo de vida da humanidade do meio do século XX até os dias atuais, estando presente nas mais variadas formas e incorporados em vários segmentos industriais por ser de fácil processamento, aplicação e produção (BEZERRA; AGUIAR; EL-DEIR, 2017).

Esse desenvolvimento do plástico passou pelo desenvolvimento da indústria petroquímica, principalmente após a segunda guerra mundial, tendo a Alemanha e os EUA como grandes desenvolvedores. O Petróleo bruto passa por processos de separação físico-químico, onde também é separado em inúmeros produtos como gases, gasolina, querosene, entre outros, a partir desse fracionamento (LEÃO; VITALE, 2021), como por exemplo, compostos que são bases para produção de polímeros, que são utilizados para obtenção de diferentes produtos comerciais importantes e de ampla utilização, incluindo embalagens para alimentos.

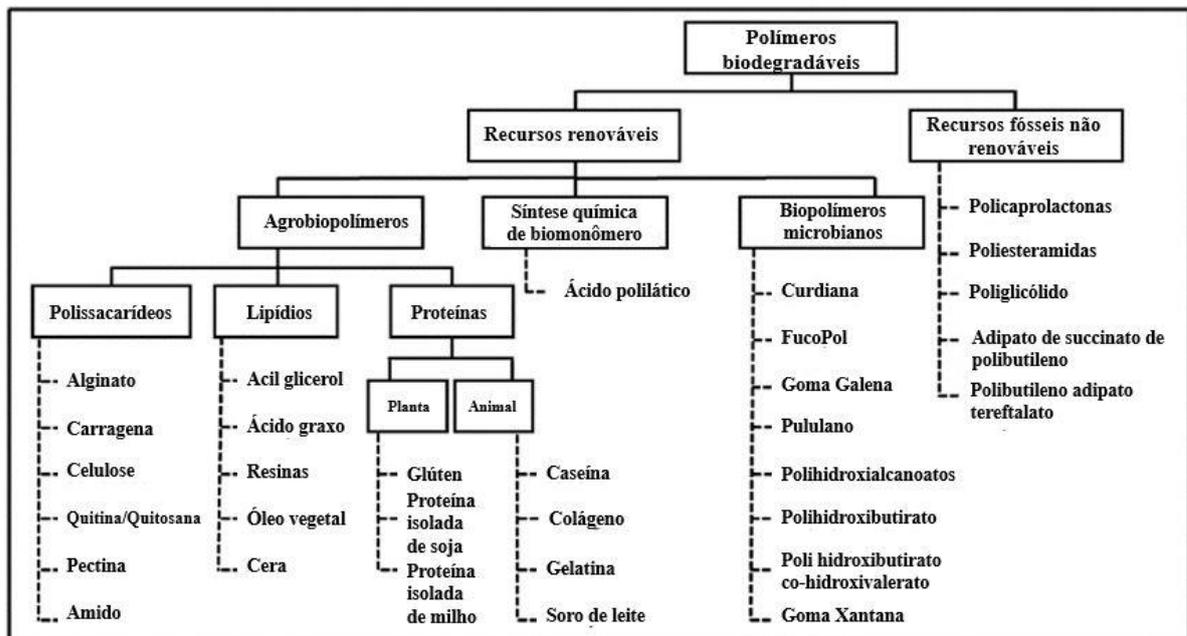
Porém, é reconhecido que atualmente as embalagens destinadas ao acondicionamento de alimentos são as maiores responsáveis pela geração de “lixo” (STREIT; GUARNIERI, 2019). No Brasil, o valor bruto da produção de embalagens em 2021 foi de R\$ 111 bilhões, um crescimento de 31% sobre o ano anterior, segundo dados divulgados pela ABRE – Associação Brasileira de Embalagem, elaborados pela FGV – IBRE. Segundo a Organização Nacional das Nações Unidas (ONU), o plástico representa 80% do lixo marinho, podendo até em 2050 ser superior a quantidade de peixes, e isso acaba afetando toda a biodiversidade, contribuindo fortemente para o aumento dos riscos desse problema ao meio ambiente (TESTA; ROSA; FAVERO, 2020).

Dentre os materiais sintéticos, os plásticos fornecem as mais variadas formas de material de embalagem para diversos tipos de formulações. O crescente interesse da indústria de embalagens pelo material sintético se deve à sua versatilidade. A principal desvantagem do material sintético é o seu descarte (VERMA et al., 2021).

Neste contexto, a possibilidade de combinação de polímeros de diversas fontes com outros materiais associada ao desenvolvimento de tecnologias de acondicionamento, cria oportunidades de aplicações muito diversificadas e favorece a expansão do uso do plástico para praticamente todos os tipos de alimentos industrializados (RIBEIRO-SANTOS et al., 2017).

Dessa forma, produzir filmes e embalagens a partir de polímeros sintéticos, naturais, ou pela combinação dos dois em estruturas de compósitos é uma opção eficiente para obtenção de novos produtos, pois ao combinar dois ou mais polímeros, os materiais resultantes podem ter suas propriedades físicas e mecânicas melhorada (WADHAWA et al., 2022), além de poder associar a propriedade de uma rápida biodegradabilidade mitigando os impactos normalmente causados pelo descarte das embalagens e filmes atualmente produzidos, que possuem um período de degradabilidade muito longo.

Um polímero é constituído por várias unidades chamadas de monómeros que se repetem. Existe diferentes classes de polímeros, de acordo com suas propriedades mecânicas como, por exemplo, termoplásticos, termorrígidos, elastômeros e fibras. Desta forma, os termoplásticos ou simplesmente “plásticos” pertencem a uma categoria de polímeros (PORTO; QUEIROZ, 2022). Polímeros biodegradáveis são polímeros que se degradam com menos tempo que os polímeros sintéticos, pela ação de microrganismos de ocorrência natural como bactérias, fungos e algas (ARAÚJO et al., 2021), e podem ser produzidos a partir de fontes naturais renováveis como: milho, cana-de-açúcar, celulose, quitina, entre outras (BACCA, 2022). Polímeros são classificados de acordo com sua renovabilidade e fonte de obtenção (Figura 1).



**Figura 1** - Classificação esquemática de polímeros biodegradáveis  
**Fonte** - Haghghi et al. (2020)

Preocupações ambientais com os plásticos à base de petróleo e o desenvolvimento sustentável de plásticos alternativos impulsionaram o desenvolvimento de biopolímeros à base

de plantas, como amido e proteínas, nas últimas três décadas (ÖZEREN et al., 2021). A ideia de substituir materiais não renováveis nocivos, sem causar danos ao mercado atual, é uma alternativa considerada pelos meios científicos, conciliando a qualidade dos materiais e o pós-consumo consciente em todos os setores (SILVA et al., 2022b). Materiais comestíveis, de baixo custo, biocompatíveis e biodegradáveis obtidos a partir de fontes renováveis estão adquirindo relevância no mercado para a conservação de frutas minimamente processadas (BARBOZA et al., 2022). Uma das vantagens do polímero biodegradável é a disponibilidade de matéria prima no Brasil, que é grande produtor de milho, batata e cana de açúcar, que podem produzir polímeros com boa resistência mecânica, baixa toxicidade e menor tempo de degradação em comparação aos polímeros comerciais tradicionais (ARAÚJO et al., 2021).

Dessa forma, o estudo utilizando polímeros biodegradáveis vêm ganhando destaque devido ao acúmulo de resíduos gerado pelas embalagens elaboradas de polímeros sintéticos, e a utilização de polímeros biodegradáveis pode diminuir o impacto gerado por resíduos da indústria alimentícia (BRAZEIRO; IMTHON, 2021). Mecanismos de deterioração estão relacionados com o tempo reduzido de biodegradação em relação aos polímeros de origem petroquímica. Alguns materiais de origem biológica possuem capacidade de biodegradação (AMARAL; BORSCHIVER; MORGADO, 2019) como o amido e a quitosana, que são polissacarídeos naturais.

Atualmente, pesquisas têm sido feitas com materiais alternativos aos polímeros derivados de petróleo para utilização em embalagens de alimentos utilizando polímeros de fontes renováveis (KHALID; ARIF, 2022), o amido é um dos biopolímeros estudados que tem se destacado na conservação e embalagem de alimentos, devido às suas propriedades que incluem abundância, sustentabilidade e biodegradabilidade (NIRANJANA PRABHU; PRASHANTHA, 2018), e pode ser misturado com outros polímeros para melhoria das propriedades de barreira, térmicas e mecânicas dos filmes (LAUER; SMITH, 2020). Os polímeros à base de amido têm sido utilizados para produzir embalagens de alimentos sustentáveis. Esses polímeros de amido podem ser misturados com aditivos e outros polímeros para aumentar sua resistência à água, características mecânicas e processabilidade (KHALID; ARIF, 2022). A quitosana também é um polímero natural que se destaca por sua biodegradabilidade, atoxicidade e propriedades antimicrobianas (PAVONI et al., 2019).

Segundo a Norma ASTM D-6954, polímeros biodegradáveis são aqueles que passam por alterações significativas em sua estrutura química como resultado da ação dos microrganismos de ocorrência natural. São materiais degradáveis, em que a degradação resulta primariamente da ação de microrganismos, tais como fungos, bactérias e algas de ocorrência

natural, gerando CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, componentes celulares e outros produtos, ou de outro modo, são materiais que se degradam em dióxido de carbono, água e biomassa, como resultado da ação de organismos vivos ou enzimas (FRANCHETTI; MARCONATO, 2006). Os processos de degradação acontecem em período reduzido de tempo (semanas, meses) e levam a formação de subprodutos como o CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>O, carbono, dentre outros.

#### **4.2 Embalagens de alimentos**

A Resolução RDC n° 91 de 2001, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), define embalagem de alimentos como sendo um invólucro, recipiente ou qualquer forma de acondicionamento, removível ou não, destinada a cobrir, empacotar, envasar, proteger, sem adulterações do alimento (BRASIL, 2001). A embalagem desempenha um papel essencial na proteção e contenção dos produtos ao longo de sua vida útil (VERMA et al., 2021). A utilização de tecnologia na estrutura das embalagens de alimentos leva ao aumento da vida útil, melhor rastreabilidade de produtos alimentícios, alimentos com menos aditivos e embalagens mais seguras (MM et al., 2017).

As embalagens em geral são isentas da obrigatoriedade de registro junto à Anvisa, de acordo com a Resolução RDC n° 27 de 2010, mas no caso de embalagens com novas tecnologias, como embalagens ativas, deve ser peticionada “Avaliação de nova tecnologia aplicada a materiais em contato com alimentos” com as informações necessárias para comprovação de segurança da tecnologia. Os regulamentos de materiais definem parâmetros de migração total, migração específica e em alguns casos, de composição. Pela RDC n° 17 de 2008, o amido e o glicerol são aditivos amplamente permitidos para utilização em materiais plásticos destinados a embalagens em contato com alimentos.

Por isso, o estudo e a utilização de embalagens e filmes comestíveis e biodegradáveis vêm ganhando importância, uma vez que conferem resposta a várias pesquisas relacionadas com o armazenamento dos produtos alimentícios e surgem como uma alternativa para aumentar a vida de prateleira de produtos com a aplicação de revestimentos associados aos óleos essenciais e ativos naturais que podem ser usados como agentes antimicrobianos, sendo promissores na conservação de alimentos (JÚNIOR et al., 2021).

O uso de polissacarídeos, como amido, celulose, quitina, quitosana, pectina, gomas, alginatos, carragenina e derivados, têm sido amplamente utilizados como biopolímeros para desenvolver revestimentos e filmes (DUBEY; DUBEY, 2020) e as principais vantagens desses materiais são a disponibilidade, baixo custo, não toxicidade e termoprocessabilidade.

Filmes biodegradáveis à base de polissacarídeos são conhecidos por serem uma barreira eficaz para a transferência de gases como  $O_2$ , embora esses materiais sejam hidrofílicos, resultando em propriedade de baixa barreira ao vapor de água, dessa forma várias estratégias podem ser usadas para melhorar as propriedades de barreira e resistência à água como a adição de partículas inorgânicas resistentes à água, combinação com outros agentes ativos, lipídios hidrofóbicos e fabricação de filmes multicamadas (VARGAS et al., 2022).

#### **4.2.1 Embalagens ativas**

Quando ativas, as embalagens interagem com o produto a fim de proporcionar uma característica positiva pelo controle da sua qualidade, protegendo e aumentando a vida útil dos alimentos por meio da incorporação de compostos ativos que podem ser introduzidos com a adição de materiais ativos diretamente no filme e/ou material de embalagem (ONGARATTO; VITAL; PRADO, 2022). Essas embalagens ativas podem carregar agentes ativos provenientes de fontes naturais como os óleos essenciais ou extratos vegetais que se tornaram alternativas aos conservantes químicos adicionados aos alimentos (SARY et al., 2021).

Estudos para utilização dos mais diversos ativos pode contribuir com o retardo da degradação e com a preservação do frescor de legumes e frutas durante o armazenamento, colaborando também com a extensão da vida de prateleira e melhora da qualidade do produto (PERON et al., 2022). Essas embalagens ativas se tornam ainda mais interessantes quando as substâncias responsáveis por sua bioatividade têm origem de fontes naturais (ARRUDA et al., 2022). As embalagens ativas também surgem como alternativa para atender a demanda de consumidores de alimentos frescos e nutritivos, possibilitando o fornecimento de alimentos seguros com vida útil estendida (GIANNAKOUROU; TSIRONI, 2021).

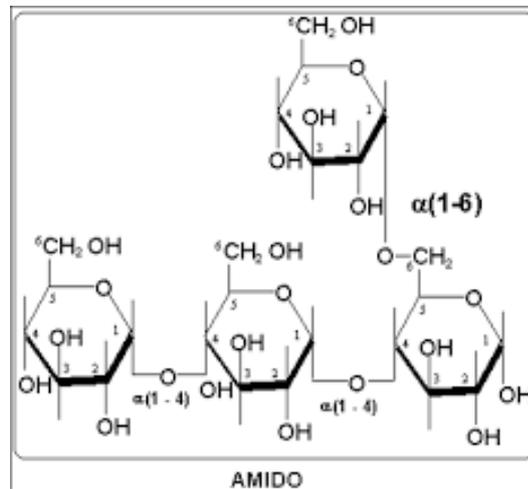
### **4.3 Materiais e aditivos utilizados na embalagem**

#### **4.3.1 Amido**

Plásticos com caráter biodegradáveis se apresentam como uma solução promissora para a diminuição da poluição global e o amido se destaca como biopolímero adaptável para uso em materiais plásticos. O amido é um biopolímero interessante na produção de embalagens biodegradáveis devido a sua ampla disponibilidade, baixo custo, fácil processabilidade e rápida biodegradação (FRIEDRICHSEN et al., 2022).

O amido, cuja estrutura pode ser observada na Figura 2, que é considerado o polímero universal para embalagem biológica, que tem sido amplamente utilizado por décadas, devido às suas características e propriedades de gelatinização. Ele é proveniente de fonte renovável,

sendo classificado como um polímero natural e biodegradável, devido ao tipo de estrutura química de sua cadeia polimérica tende a formar material filmogênico de fácil processabilidade (PORTO; QUEIROZ, 2022).

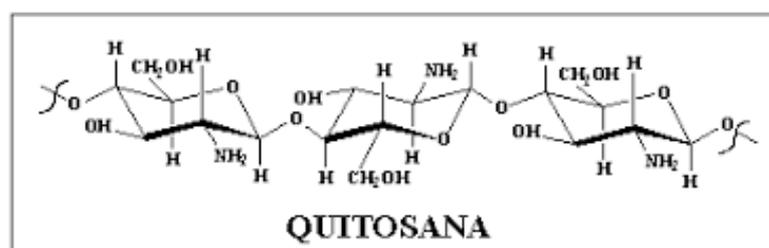


**Figura 2** - Estrutura química do Amido.

Dentre as matrizes poliméricas utilizadas, o amido é um material filmogênico de baixo custo, fácil de processar e amplamente disponível, podendo ser empregado no desenvolvimento de filmes e revestimentos biodegradáveis com diversas aplicações como carreador de compostos bioativos em alimentos (BASIAK; LENART; DEBEAUFORT, 2018).

#### 4.3.2 Quitosana

A quitosana (Figura3), também é estudada em matriz filmogênicas para diversas aplicações. A quitosana é um polímero natural singular, originado da desacetilação da quitina proveniente de crustáceos. Com a crescente importância da conservação ambiental e com o uso de biopolímeros, a quitosana tem ganhado cada vez mais atenção. A quitosana é obtida da quitina, um biopolímero que pode ser extraído de crustáceos (VERLEE; MINCKE; STEVENS, 2017).



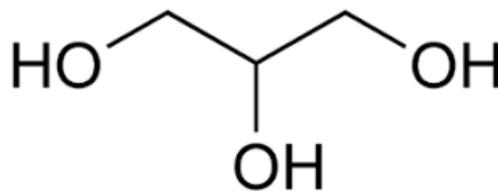
**Figura 3** - Estrutura química da quitosana

A quitosana é um polímero natural com massa molar médio de  $92.700\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ , e pode ser desacetilado (WADHAWA et al., 2022). É o polímero de origem animal mais abundante (PRIYADARSHI; RHIM, 2020). Este polímero biodegradável é encontrado em exoesqueletos de animais marinhos (anelídeos, moluscos, celenterados, lagosta, camarão, caranguejo e krill), artrópodes (aranha, escorpião, formigas e besouros) e microrganismos (algas verdes, e marrons, leveduras, parede celular de fungos e esporos) (ROLIM et al., 2018).

A quitosana, embora venha sendo utilizada e estudada para várias aplicações industriais, biomédicas, tratamento de água, indústria cosmética, entre outras, recentemente está sendo estudada como material biodegradável antimicrobiano para produção de embalagem de alimentos (MACHADO, 2021). Várias hipóteses têm sido estudadas para explicar o mecanismo de atividade antimicrobiana da quitosana: a hipótese mais razoável é a interação eletro estatística entre grupos amino protonados ( $\text{NH}_3^+$ ) de glucosamina na espinha dorsal da quitosana e constituintes microbianos negativos da membrana celular, como grupos fosforil dos componentes fosfolipídicos, proteínas, aminoácidos e vários lipopolissacarídeos (HAGHIGHI et al., 2020).

#### 4.3.3 Glicerol

Aditivos, como plastificantes, antimicrobianos, antioxidantes ou emulsificantes, geralmente são necessários para melhorar as propriedades e a estrutura do filme (DUBEY; DUBEY, 2020). Como os polímeros, que tem como base matrizes de origem biológica, tendem a ser rígidos e quebradiços, o glicerol (Figura 4) adicionado na matriz filmogênica tem o papel de plastificante, tendo função de melhorar a processabilidade do biopolímero. Estudos se referem a plastificação eficiente quando o material apresenta alongamento antes da ruptura e deformação que aumenta acima de 10% (ÖZEREN et al., 2021).

**Figura 4:** Estrutura química do glicerol

É utilizado em matrizes com água para aumentar a estabilidade do material, pois usar a água como único plastificante tem por desvantagem a evaporação fácil do material e seu conteúdo vai variar com condições ambientais, como com a umidade e a temperatura (ÖZEREN et al., 2021), por isso o glicerol é uma opção acessível quando se trabalha em matrizes com amido (principalmente de milho, arroz, trigo, mandioca e batata) (JANIK et al., 2023) e com quitosana que já apresenta propriedades de gelificação, além de propriedades antioxidantes e antimicrobianas (ZHAO et al., 2021). No entanto, a hidrofiliabilidade de filmes plastificados aumenta devido à presença de grupos hidroxila no glicerol (LIM; THIAN, 2022).

#### **4.3.4 Extrato de casca de cajueiro**

Em geral, os resíduos de frutas e vegetais são fontes naturais de compostos bioativos como açúcares simples (glicose e frutose), carboidratos, polissacarídeos, pectina, fibras e moléculas bioativas como ácidos fenólicos, carotenoides, tocoferóis, flavonoides, vitaminas e compostos aromáticos (DILUCIA et al., 2020). A utilização de extratos vegetais em embalagens ativas é uma alternativa em substituição aos aditivos sintéticos, devido às suas propriedades naturais de proteção (SILVA et al., 2021a). Solventes alcoólicos têm sido comumente empregados para extrair compostos fenólicos de fontes naturais, embora não sejam seletivos para os fenóis (LEAL; ALENCAR; MEIRELLES, 2021).

Uma fonte natural potencial de compostos fenólicos é o cajueiro, uma das plantas símbolo da caatinga, que tem tido seu extrato estudado e se mostra eficiente contra muitos microrganismos. As partes mais estudadas são a casca, as folhas, as flores, a amêndoa do fruto (castanha), a casca da castanha (fruto) e a polpa do pseudofruto (NUNES et al., 2022). A partir da avaliação do extrato de casca foram observados resultados positivos para: taninos, flavonoides, fenóis, flavononas, quinonas e leucoantocianidinas, indicando que os mesmos compostos podem ser responsáveis pela atividade antimicrobiana detectada em estudos e, nas condições testadas, o material vegetal mostrou-se promissor quanto a atividade antimicrobiana, principalmente avaliando as classes de metabólitos encontradas (MARTINS, 2023).

Em 2018, Silva *et al.* estudaram o revestimento filmogênico a base de amido com extrato da casca do cajueiro (*Anacardium occidentale*) para aplicação em tomate shanty, obtendo um resultado eficiente, uma vez que os tomates que utilizaram o revestimento adicionado de extrato em temperatura de refrigeração apresentaram maior firmeza, em temperatura ambiente foi identificada menor firmeza, mas o objetivo de evitar o desenvolvimento de microrganismos foi eficaz em ambos os ambientes.

Em estudo realizado por Albuquerque (2018), foi utilizado diferentes concentrações do extrato da casca do caule do cajueiro para revestimento de maçãs e o revestimento adicionado com 3% de extrato da casca de cajueiro (*Anacardium occidentale*) obteve resultados de proteção melhores em relação às outras formulações produzidas, atuando no aumento da vida de prateleira de frutos e na conservação de sua composição nutricional.

#### 4.4 Técnicas para obtenção e avaliação do plástico

Diversas técnicas estudadas para obtenção de plásticos fornecem alternativas para diversos segmentos de produtos de acordo com a exigência do mercado e de consumidores, incluindo o descarte consciente (SILVA et al., 2022c).

Para produção em escala industrial, as técnicas utilizadas incluem processos de injeção, compressão, extrusão/sopro e extrusão/calandragem. Em escala laboratorial, a técnica mais utilizada corresponde ao espalhamento da solução filmogênica, denominado *casting*. Nessa técnica, após a gelatinização térmica dos grânulos de amido em água, a amilose e a amilopectina se dispersam na solução aquosa e, durante a secagem, se reorganizam, formando uma matriz contínua que dá origem aos filmes (MALI; GROSSMANN; YAMASHITA, 2010).

A técnica mais utilizada para a produção laboratorial de plásticos à base de amido é a técnica casting, que consiste em produzir solução filmogênica e colocá-las em placas (normalmente placas de Petri) de pequenas dimensões e para sua posterior secagem em estufa de circulação de ar ou temperatura ambiente à 35°C de 10 a 24h, como ilustrado na Figura 5.



**Figura 5** - Processo de casting utilizado na produção de filmes  
**Fonte** - Autor (2023)

A partir da produção, é necessário avaliar parâmetros para caracterização do material produzido em laboratório para determinar suas possíveis aplicações, sendo eles:

- Espessura;

- propriedade de barreira: permeabilidade ao vapor de água e solubilidade;
- propriedades mecânicas: resistência a tração e alongamento.

A espessura do filme de amido depende do tamanho dos grânulos de amido, forma e conteúdo de amilose (BASIAK; LENART; DEBEAUFORT, 2017). A propriedade de barreira é medida pela permeabilidade ao vapor de água, que vai quantificar o vapor de água capaz de passar pelo material produzido, e pela solubilidade, que vai expressar o comportamento do filme produzido em contato com a água (CHENG LI; YIMING HU; ENPENG LI, 2021). As propriedades mecânicas devem proteger a integridade do produto embalado e a embalagem. Filmes biodegradáveis possuem menor resistência que filmes de plástico convencionais (DE VARGAS et al., 2022).

A capacidade do filme de impedir a passagem da umidade é considerada uma das características mais importantes nos materiais de embalagem de alimentos, pois é favorável para diminuir a transferência de umidade dos alimentos ou do ambiente através dos filmes de embalagem (WADHAWA et al., 2022), seguida pela resistência mecânica que impede a embalagem de sofrer danos durante o manuseio e transporte do produto (FLÓREZ; CAZÓN; VÁZQUEZ, 2022).

## 5 MATERIAL E MÉTODOS

### 5.1 Material

O amido de milho foi adquirido em comércio local, a quitosana em diferentes concentrações em ácido acético, o extrato da casca de cajueiro (*Anacardium occidentale*) concentrado e o glicerol (Glicerina P.A., fabricado pela Neon) para produção dos filmes.

### 5.2 Métodos

#### 5.2.1 Obtenção do extrato concentrado da casca de cajueiro

Para a obtenção do extrato, a casca do cajueiro foi seca em estufa de secagem com circulação forçada de ar a 60°C, moída em moinho de facas, e o pó obtido foi submetido a extração hidroalcolica. Para o preparo da solução extrativa, foi adicionado álcool 70% numa razão sólido-líquido (1:10), e mantido sob uma velocidade de agitação de 200 rpm, por 1 hora. Após esses procedimentos a solução obtida foi filtrada e acondicionada em frascos âmbar ao abrigo da luz e armazenados a temperatura de 4°C para posteriores análises.

A solução extrativa hidroalcolica foi submetida a um evaporador rotativo (Figura 6) para eliminação da parte etanol do solvente, sob vácuo e a temperatura máxima de 45°C, para retirada do solvente extrator. Após esse processo, o extrato obtido foi conservado em incubadora BOD, em temperatura de refrigeração (4°C), e acondicionado em recipiente âmbar para posterior utilização no preparo da solução filmogênica (FERNANDES et al., 2019).



**Figura 6** - Evaporador rotativo.  
Fonte - Autor (2023)

### **5.2.2 Determinação do teor de compostos fenólicos do extrato de casca de cajueiro**

O teor de compostos fenólicos totais do pó, do extrato e do filme otimizado foi determinado de acordo com a metodologia descrita por Singleton e Rossi (1965), utilizando o reagente Folin-Ciocalteu, pelo método espectrofotométrico, na faixa de absorção visível no comprimento de onda de 760 nm, com a concentração inicial de 1 mg/mL. Primeiramente, 0,3 mL das amostras foram diluídas com 2,48 mL de água destilada e misturadas com 0,06 mL do reagente de Folin-Ciocalteu. Após 5 min, uma alíquota de 0,18 mL de uma solução saturada de carbonato de sódio (15%) foi adicionada à mistura e ficaram em repouso por 2 h, ao abrigo da luz. Uma curva padrão de ácido gálico, nas concentrações de 30 e 300 mg/L, foi utilizada para calcular os resultados expressos em mg de EAG (equivalente de ácido gálico) por g do extrato dos BCP.

### **5.2.3 Elaboração dos filmes**

A elaboração dos filmes teve como base a gelatinização de 5g de amido de milho em 100ml de água destilada, que foi obtido pela adição da massa do amido ao volume de água a uma temperatura de 70°C. A quitosana usada na preparação dos filmes foi preparada em proporções variadas de 1:100; 2:100 e 3:100 (1g de quitosana para 100ml de ácido acético, 2g de quitosana para 100ml de ácido acético e 3g de quitosana em ácido acético).

Os experimentos para obtenção dos filmes foram executados variando-se as concentrações de quitosana, de extrato da casca de cajueiro e de glicerol, a partir de um planejamento experimental do tipo Box-Behnken, com três variáveis de entrada, e buscou-se avaliar os efeitos da variação da composição sobre as propriedades físicas e químicas do filme obtido, buscando a melhor relação entre essas variáveis e as propriedades dos filmes avaliadas (variáveis dependentes). As variáveis independentes, ou de entrada, para a matriz de planejamento foram a concentração de solução de quitosana, do extrato e do glicerol.

Os filmes foram produzidos pela técnica de casting (ONGARATTO; VITAL; PRADO, 2022), a partir de uma solução filmogênica preparada em meio aquoso com amido de milho e diferentes quantidades de extrato concentrado de casca de cajueiro, de glicerol e diferentes concentrações de quitosana. A partir disso foi feita a avaliação da influência dos aditivos nas propriedades mecânicas dos filmes e avaliada as suas aplicabilidades.

As variáveis independentes, ou de entrada, têm os seguintes níveis (Tabela 1):

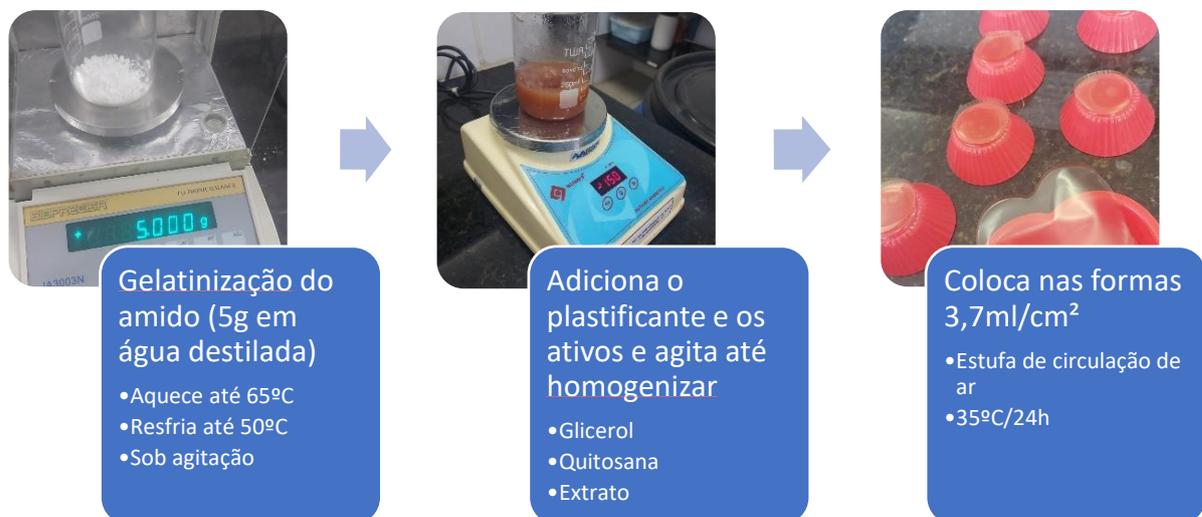
**Tabela 1** - Níveis das variáveis de entrada

Fator		Níveis		
		Nível baixo (-1)	Nível intermediário 0	Nível alto (+1)
X1	Concentração de extrato (% p/v)	1	2	3
X2	Concentração de quitosana (% p/v)	1	2	3
X3	Concentração de glicerol (% p/v)	2,5	3	3,5

Fonte: Autor (2023)

Para a preparação do material filmogênico, o amido de milho foi diluído em água na concentração de 5% (5g de amido em 100ml de água destilada), aquecido até ser gelatinizado entre 65 e 90°C, homogeneizado e resfriado até 50°C, sob agitação. Após o resfriamento foram acrescentados os demais componentes do material filmogênico, de acordo com as quantidades do planejamento experimental e, ainda mantido sob agitação, o material foi homogeneizado, distribuídos (cerca de 3,7ml/cm<sup>2</sup>), em placas de silicone, e colocados em estufa de circulação de ar à 35°C, por 24h.

Após o tempo de secagem em estufa, os filmes foram retirados das placas e armazenados em recipientes fechados, em temperatura ambiente, até o momento de realização das análises para caracterização dos filmes produzidos.

**Figura 7** - Fluxograma de metodologia.

Fonte - Autor (2023)

As formulações para obtenção experimental dos filmes estão relacionadas na matriz de planejamento, segunda a Tabela 2:

**Tabela 2** - formulações do planejamento experimental Box-Behnken

<b>ENSAIO</b>	<b>EXTRATO (%)</b>	<b>QUITOSANA (%)</b>	<b>GLICEROL (%)</b>
1	1	1	3
2	3	1	3
3	1	3	3
4	3	3	3
5	1	2	2,5
6	3	2	2,5
7	1	2	3,5
8	3	2	3,5
9	2	1	2,5
10	2	3	2,5
11	2	1	3,5
12	2	3	3,5
13	2	2	3
14	2	2	3
15	2	2	3

Fonte: Autor (2023)

## 5.2.4 Caracterização dos filmes

### 5.2.4.1 Aspectos visuais e espessura

#### 5.2.4.1.1 Caracterização visual

Os filmes foram avaliados quanto a sua aparência visual e tátil, onde se buscou verificar em suas superfícies a presença de fissuras, bolhas, além da facilidade de retirada das placas de silicone.

#### 5.2.4.1.2 Espessura

A espessura dos filmes foi determinada usando um micrômetro digital com uma precisão de 0,001 mm. Os valores de espessura foram medidos em pelo menos cinco localizações aleatórias para cada amostra de filme.

#### 5.2.4.1.3 Colorimetria

O experimento foi feito com auxílio de um colorímetro da marca GretagMachbeth – Color-Eye 2180, com o sistema CIELAB Ttan D65, leitura com ângulo de 10° e área de visão

de uma polegada quadrada. Os filmes preparados foram inseridos em uma placa branca padrão, onde foi medida a cor do filme controle sem adição de extrato vegetal ( $L^* = 68,9$ ;  $a^* = 0,0$ ;  $b^* = 0,0$ ), sendo a diferença total da cor ( $\Delta E$ ) calculada pela Equação 3. Para a leitura da cor, adotou-se o seguinte sistema:  $L^*$  ( $\pm$ ) é a luminosidade, variando de 0 (preto) a 100 (branco);  $a^*$ , varia do verde (-) ao vermelho (+) e  $b$  varia do azul (-) ao amarelo (+).

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (1)$$

Os valores correspondentes a  $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$  e  $\Delta b^*$  são calculados realizando a diferença entre os correspondentes parâmetros de cor de cada formulação preparada e a placa branca padrão utilizada.

#### 5.2.4.2 Caracterização física e mecânica

##### 5.2.4.2.1 Permeabilidade ao vapor de água

As amostras foram caracterizadas pelo método gravimétrico, segundo o método ATSM E96/E96M-1 (ASTM, 2016), com adaptações (RHIMI et al., 2018). Os filmes com 5 cm de diâmetro foram inseridos e vedados nos recipientes de acrílico, contendo sílica em gel. Os recipientes foram acondicionados em dessecador ( $25^\circ\text{C}$ ) à 75% (com solução saturada de NaCl) (Figura 6). As amostras foram pesadas em balança analítica a cada 24 h, por 7 dias. A permeabilidade dos filmes, calculada com Equação 1, foi avaliada em triplicata, com resultados expressos em  $\text{gH}_2\text{O}.\text{mm}/\text{m}^2.\text{h}.\text{mmHg}$ .

$$WVP = \frac{\left(\frac{C_i}{A}\right) \cdot X}{P_s \cdot (UR_1 - UR_2)} \quad (2)$$

Em que:  $C_i$  é a inclinação da reta gerada pela perda de peso do sistema em função do tempo;  $A$ , é a área do filme ( $\text{m}^2$ );  $X$  é a espessura (mm);  $P_s$ , é a saturação do vapor de água a  $25^\circ\text{C}$  ( $22\text{mmHg}$ );  $UR_1$ , é a umidade relativa da câmara (0%) e  $UR_2$ , é a umidade relativa dentro da cápsula (100%), e o resultado foi expresso em  $\text{gH}_2\text{O}.\text{mm}/\text{m}^2.\text{h}.\text{mmHg}$ .

##### 5.2.4.2.2 Solubilidade

A solubilidade do filme, em água, foi testada de acordo com metodologia descrita por Hafsa et al. (2016), com adaptações. Pequenos pedaços de filmes (0,5 - 1,0 g) e papéis de filtro foram secos a  $105^\circ\text{C}$ , por 3 horas, e então pesados para determinar o peso seco inicial do filme e do papel de filtro. Cada amostra de filme foi incubada em 10 mL de água destilada, a  $25^\circ\text{C}$ , por 24 horas, sendo então filtrado com o papel de filtro correspondente. O material não

dissolvido, juntamente com o papel de filtro, foi seco a 105 °C, durante 3 horas, e depois pesados. A solubilidade foi calculada como a proporção em peso do material dissolvido em relação ao peso inicial da amostra. A solubilidade do filme em água foi calculada segundo a Equação 2.

$$Sol (\%) = \frac{dm1 - dm2}{dm1} \times 100 \quad (3)$$

Em que: dm1 é o peso seco inicial; dm2 é o peso seco final.

#### 5.2.4.2.3 Resistência à tração e Alongamento

As propriedades mecânicas das amostras de filme foram medidas usando um analisador de textura (TA-XT plus, Stable Micro Systems, UK) e incluíram a resistência à tração (TS) e o alongamento na ruptura (E), de acordo com o método proposto por Jiang et al. (2016). Todas as amostras de filme foram cortadas em retângulos com comprimento de 40 mm e largura de 10 mm. A separação inicial da garra foi ajustada para 20 mm com uma velocidade de tração de 10 mm e uma separação efetiva de alongamento de 20 mm. A determinação das propriedades em cada filme foi replicada quinze vezes. A resistência à tração (N) foi calculada (Equação 3) dividindo-se a força de carga máxima na ruptura pela área da seção transversal e expressa em N. O alongamento (E%), conforme a Equação 4, foi calculado como uma razão entre o alongamento no ponto de ruptura da amostra e o comprimento inicial de uma amostra e expresso como uma porcentagem.

$$TS = \frac{F}{L \cdot X} \quad (4)$$

Em que: F é a força de tração (N); L é a largura do filme (mm); X é a espessura do filme (mm).

$$E\% = \frac{L1 - L0}{L0} \times 100 \quad (5)$$

Em que: L1 é o comprimento de fratura (mm); L0 é o comprimento inicial do filme (mm).

#### 5.2.4.3 Caracterização morfológica

##### 5.2.4.3.1 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A Microscopia Eletrônica de Varredura foi realizada objetivando avaliar a morfologia dos filmes. As amostras foram fixadas em suporte metálico com fita dupla-face de carbono. A análise foi performada em um microscópio modelo MIRA-3 LMH (Marca Tescan São Paulo,

SP, Brasil), fonte de alto brilho, alto vácuo. As imagens foram capturadas através software operacional MiraTC, com uma voltagem de aceleração de 10kV, detectores SE, com fluxo de 1750mA e ampliação de 500x.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 Caracterização do extrato

O extrato vegetal de casca de cajueiro foi utilizado como composto ativo devido a presença de taninos e polifenóis como exposto na Tabela 3. Os polifenóis e os taninos são compostos com funções de proteger os vegetais, além de possuir propriedades antioxidantes (SILVA; SOARES; OLIVEIRA, 2022).

**Tabela 3** - compostos fenólicos e taninos do pó de casca de cajueiro, extrato da casca de cajueiro e filme de amido utilizando o extrato vegetal como composto ativo.

Amostra	Compostos fenólicos (mg/g)	Taninos (mg/g)
Pó para obtenção do extrato vegetal	13,5585±0,0011	15,7998±0,0015
Extrato vegetal da casca de cajueiro	13,4191±0,0019	15,7079±0,0026
Filme	2,4096±0,0020	3,0550±0,0020

Em trabalho realizado por Adilah, Jamilah e Hanani (2018) foram produzidos filmes à base de gelatina que mostraram o potencial do extrato fenólico obtido a partir de cascas de manga pela aplicação de extrato ativo em filme como antioxidante em alternativa a antioxidantes sintéticos, sendo que esses filmes apresentaram maior rigidez e menor flexibilidade, mas diminuiu a permeabilidade ao vapor de água.

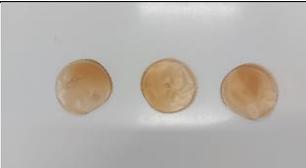
Em filmes de amido com extrato de própolis realizado por Souza et al. (2015) foi observado uma quantidade bem menor de compostos fenólicos que os obtidos no material produzido com extrato de casca de cajueiro, nos filmes com extrato de própolis foi observado entre 0,326 e 0,701 mg/g de filme.

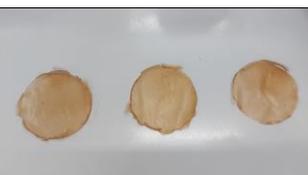
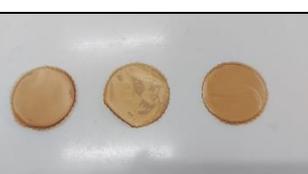
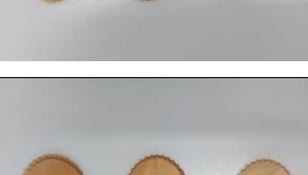
A partir do planejamento experimental, foram obtidos 15 filmes que foram avaliados de acordo com suas características e propriedades físicas para a utilização em embalagens para alimentos.

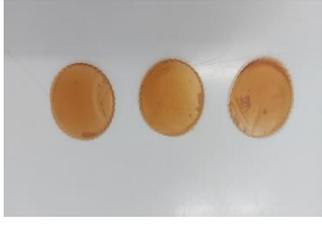
## 6.2 Caracterização visual

Os filmes produzidos a partir do planejamento experimental seguiram a ordem do planejamento em elaboração e avaliação, sendo armazenados da mesma forma pelo mesmo intervalo de tempo. A caracterização visual foi feita no momento que os materiais foram retirados das formas. Foi avaliado a facilidade de retirada da placa e a característica da superfície após pronto, como apresentado no Quadro 1.

**Quadro 1 - Caracterização visual**

FORMULAÇÃO	IMAGEM	FACILIDADE EM RETIRAR DA PLACA	CARACTERÍSTICAS
Controle		Sim	Uniforme, sem formação de bolhas.
1		Sim	Uniforme, sem formação de bolhas, bordas quebradiças.
2		Sim	Com leve formação de bolhas, bordas quebradiças.
3		Sim	Uniforme, sem formação de bolhas, aparência opaca.
4		Não	Maior aderência, sem formação de bolhas.
5		Sim	Uniforme, sem formação de bolhas, aparentou maior resistência.

6		Não	Maior aderência, deformação ao soltar da placa.
7		Sim	Uniforme, sem formação de bolhas.
8		Sim	Uniforme com presença de pequenas bolhas.
9		Sim	Uniforme, sem formação de bolhas, bordas resistentes.
10		Não	Uniforme, sem formação de bolhas, bordas quebradiças
11		Sim	Uniforme, não deformou ao soltar das placas, sem formação de bolhas
12		Sim	Formação de bolhas na superfície, aparência frágil e fina
13		Sim	Uniforme, sem formação de bolhas, bordas uniformes e firmes.
14		Sim	Uniforme, sem formação de bolhas, bordas uniformes e firmes.

15		Sim	Uniforme, sem formação de bolhas, bordas uniformes e firmes.
----	---	-----	--

As principais diferenças entre as formulações se deram com a adição do extrato vegetal, onde a cor se destacou em relação as formulações com quantidade menor de extrato. Outro fator que influenciou foi a quantidade de glicerol utilizado nas formulações, formulações com uma maior quantidade de glicerol tiveram maior aderência a superfícies e aparentavam maior umidade, além de menor resistência. Estudos mostraram que a utilização de glicerol melhora a flexibilidade de filmes produzidos a partir de amido, mas diminui a resistência a tração (FRANCO LÓPEZ, 2022). De forma geral, a maior parte das formulações tiveram aparência aceitável e uniforme.

### 6.3 Colorimetria

A cor do filme detectada por L, a, b, diferença de cor total ( $\Delta E$ ) em relação ao filme controle sem a presença de extrato vegetal. A diferença total de cor se tornou perceptível em filmes com maior quantidade de extrato, como exposto na tabela 5.

**Tabela 4** - parâmetros de cor (L, a, b) e diferença de cor total ( $\Delta E$ )

Formulação	L*	a*	b*	$\Delta E$
<b>Controle</b>	68,9	0	0	
<b>1</b>	50,3	5,7	27,5	33,68 $\pm$ 0,06
<b>2</b>	44,8	27,1	46,7	59,13 $\pm$ 0,10
<b>3</b>	54,6	8,7	29,4	33,83 $\pm$ 0,07
<b>4</b>	43,1	17,9	39,3	50,30 $\pm$ 0,08
<b>5</b>	55,5	1,9	16,3	21,19 $\pm$ 0,07
<b>6</b>	38,4	31,5	35,2	56,23 $\pm$ 0,05
<b>7</b>	53	5,5	27,2	31,98 $\pm$ 0,12
<b>8</b>	43,6	11,1	36,6	45,86 $\pm$ 0,06
<b>9</b>	45,8	22,6	52	61,22 $\pm$ 0,07
<b>10</b>	38,1	18,4	34,6	49,84 $\pm$ 0,11
<b>11</b>	47,4	17,4	40,5	49,04 $\pm$ 0,09

<b>12</b>	54,8	2	15,8	21,27 ± 0,08
<b>13</b>	43,7	14,5	33,7	44,51 ± 0,08
<b>14</b>	59,4	1,2	21,7	23,72 ± 0,10
<b>15</b>	38,8	22,7	48	61,04 ± 0,09

Além dos resultados obtidos em colorímetro, os filmes incorporados com os extratos vegetais apresentam diferenças visuais significativas nas colorações em relação ao filme de amido sem adição de extrato, assim como observado por Silva et al. (2021b) em filmes de PVA puro comparados com filmes com adição de extrato vegetal.

Martins (2023), descreveu o extrato de casca de cajueiro como extrato de coloração alaranjado intenso. O extrato adicionado resultou em filmes com cores que variavam entre vermelho pelos valores positivos de  $a^*$ , e amarelo pelos valores positivos de  $b^*$ , sendo o material sem adição de extrato um filme sem variação de cor, apenas branco e preto, resultando numa variação em escala de cinza. Assim é possível observar que a tonalidade do filme foi resultado da coloração forte intensa do extrato obtido a partir da casca de cajueiro adicionado à matriz filmogênica.

#### 6.4 Espessuras

As espessuras medidas variaram de acordo com as interações das concentrações dos componentes utilizados, maiores concentrações de quitosana resultaram em filmes com espessuras maiores e, com o aumento da adição de extrato, esses filmes se tornaram mais finos, demonstrando maior interação entre os componentes do material filmogênico, como exposto na Tabela 6.

A espessura do filme geralmente depende do tamanho dos grânulos de amido, forma e conteúdo de amilose (BASIAK; LENART; DEBEAUFORT, 2017). O amido de milho apresenta entre 25 e 28% de amilose e entre 72 e 75% de amilopectina (SILVA et al., 2022a). A espessura tem sido estudada como um dos parâmetros mais importantes para aplicação em embalagens de alimentos, pois pode estar diretamente relacionada com a vida útil do alimento embalado por suas propriedades de barreira (ALMEIDA et al., 2022a), além de estar diretamente relacionada com a resistência a tração e propriedade de alongamento do material.

**Tabela 5** - Valores dos desvios das espessuras

<b>Formulação</b>	<b>Espessura (<math>\mu\text{m}</math>)</b>
1	168 $\pm$ 36
2	210 $\pm$ 33
3	229 $\pm$ 50
4	174 $\pm$ 25
5	214 $\pm$ 32
6	125 $\pm$ 13
7	194 $\pm$ 19
8	140 $\pm$ 14
9	78 $\pm$ 6
10	122 $\pm$ 13
11	187 $\pm$ 21
12	147 $\pm$ 22
13	132 $\pm$ 19
14	134 $\pm$ 18
15	120 $\pm$ 19
Controle	188 $\pm$ 48

A interação entre os grupos funcionais adicionados ao material filmogênico podem tornar a espessura dos filmes maiores ou menores (LEI et al., 2019), de modo que a adição de extrato de casca de cajueiro e quitosana na matriz de amido de milho e glicerol teve variações positivas e negativas em relação a espessura do material resultante. Provavelmente devido a presença de sólidos na mistura de formação do filme que pode impedir a formação de uma estrutura ordenada e uniforme, levando a formação de filmes mais espessos, como observado em estudo com casca de manga em filmes ativos de pectina (RIBEIRO, 2022).

O teor de líquido da solução filmogênica também pode influenciar esse parâmetro, uma vez que tem por consequência a diminuição do teor de sólidos na formulação (BAJIC et al., 2019), mas em comparação com outros filmes utilizando quitosana e diferentes extratos de casca, filmes com adição apenas de quitosana e sem extrato obtiveram espessuras menores que filmes com adição de extrato (K et al., 2019a). Essa característica se assemelha a menor espessura nos filmes com adição de quitosana e extrato de casca de cajueiro, uma vez que há interação entre esses componentes. Resultado semelhante foi encontrado em matriz de quitosana com a adição de extrato de lúpulo com a formulação de maior concentração de extrato, onde a espessura do filme obtido foi menor que em formulações com menor concentração do extrato (ALMEIDA et al., 2022b).

Em filmes de amido com celulose micro cristalina sintetizada a partir de capim-elefante foi observado a diminuição da espessura com a adição da celulose (DEBNATH et al., 2022),

mostrando também que o material formado a partir da do amido de milho, extrato de casca de cajueiro, quitosana e glicerol apresentou menos trincas e poros, espessuras condizentes com as concentrações utilizadas e possível ajuste da formulação para material de espessura ótima que venha a ter melhor resistência e melhoria de propriedades de barreira. A homogeneidade do material pode estar associada com a melhora das propriedades mecânicas pela interação de glicerol e outros componentes dependendo da proporção dos componentes do material (FRANCO LÓPEZ, 2022).

### 6.5 Permeabilidade ao vapor de água

A medida da permeabilidade ao vapor de água indica a capacidade dos filmes de ser barreiras ao vapor de água, sendo imprescindível para embalagens, uma vez que produtos alimentícios são mais suscetíveis à deterioração, principalmente microbiana, quando em alta umidade do ambiente. Os valores obtidos para a permeabilidade ao vapor de água nos filmes com variação de extrato de casca de cajueiro, quitosana e glicerol variaram de 3,033 a 7,708 g.mm/m<sup>2</sup>.h.kPa (Tabela 7), sendo o valor mínimo preferível para a conservação de alimentos.

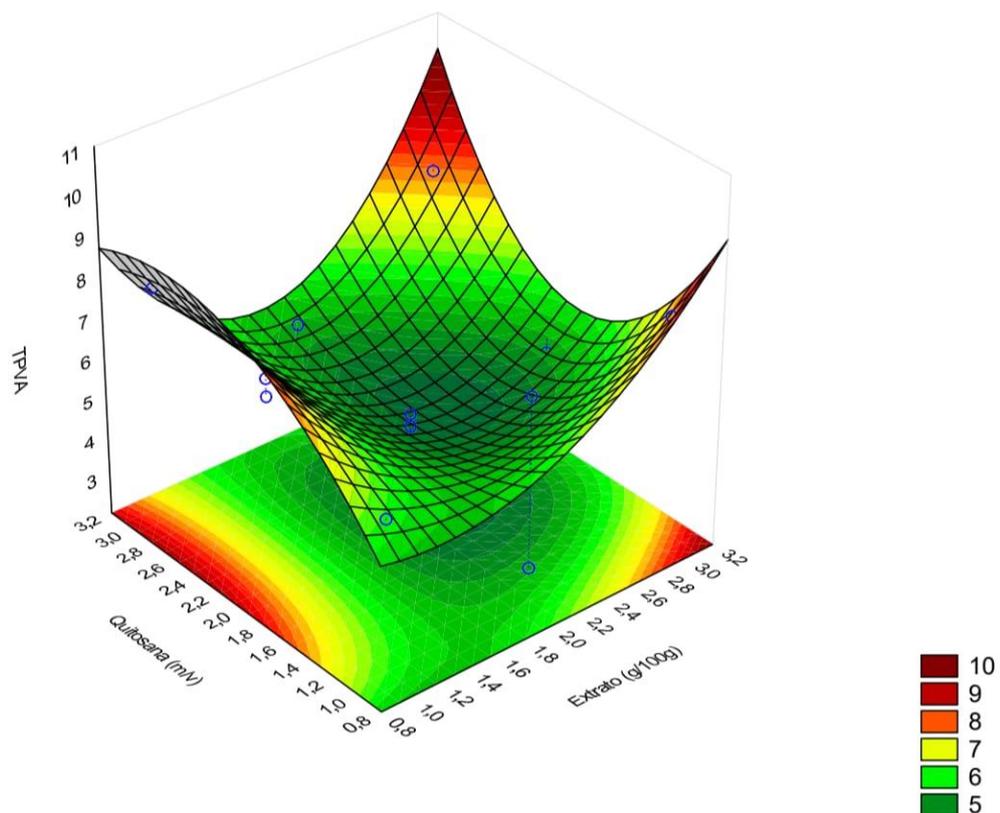
**Tabela 6 - Valores de permeabilidade ao vapor de água**

ENSAIO	WVP (g.mm/m <sup>2</sup> .h. kPa)
1	5,943 ± 0,019
2	7,621 ± 0,018
3	7,708 ± 0,042
4	7,708 ± 0,042
5	7,355 ± 0,042
6	4,525 ± 0,021
7	6,926 ± 0,019
8	4,911 ± 0,016
9	3,033 ± 0,036
10	4,104 ± 0,022
11	7,244 ± 0,065
12	5,291 ± 0,029
13	4,601 ± 0,031
14	4,899 ± 0,012
15	4,034 ± 0,065
Controle	6,491 ± 0,075

A permeabilidade dos filmes é afetada pela solubilidade em água e pela difusividade dos componentes do filme (K. et al., 2019b) e com a adição de extrato e quitosana ocorreu tanto o aumento como a diminuição dessa propriedade avaliada, de acordo com as concentrações

utilizadas de cada componente. Alguns outros fatores podem afetar a permeabilidade ao vapor de água, como o tipo de extrato ou óleo essencial utilizado na formulação, umidade ambiente, temperatura de formação, concentração de óleo, extrato e plastificante, além da estrutura do filme (ADILAH; JAMILAH; HANANI, 2018a).

Os pontos centrais do experimento (formulações 13, 14 e 15) foram os pontos obtiveram melhores resultados em comparação ao material sem adição de extrato e quitosana, uma vez que tiveram menores valores de permeabilidade ao vapor de água. A interação entre as concentrações de extrato de casca de cajueiro e quitosana foi capaz de diminuir essa permeabilidade, como observado na formulação 9, de modo que se pode estimar um valor ótimo de concentração para obtenção de um material com menor permeabilidade ao vapor de água e melhor propriedade de barreira. Essa interação pode ser observada pela superfície de resposta dessa interação (Figura 8).



**Figura 8** - Superfície de resposta para dados de permeabilidade ao vapor de água pela interação de quitosana e extrato

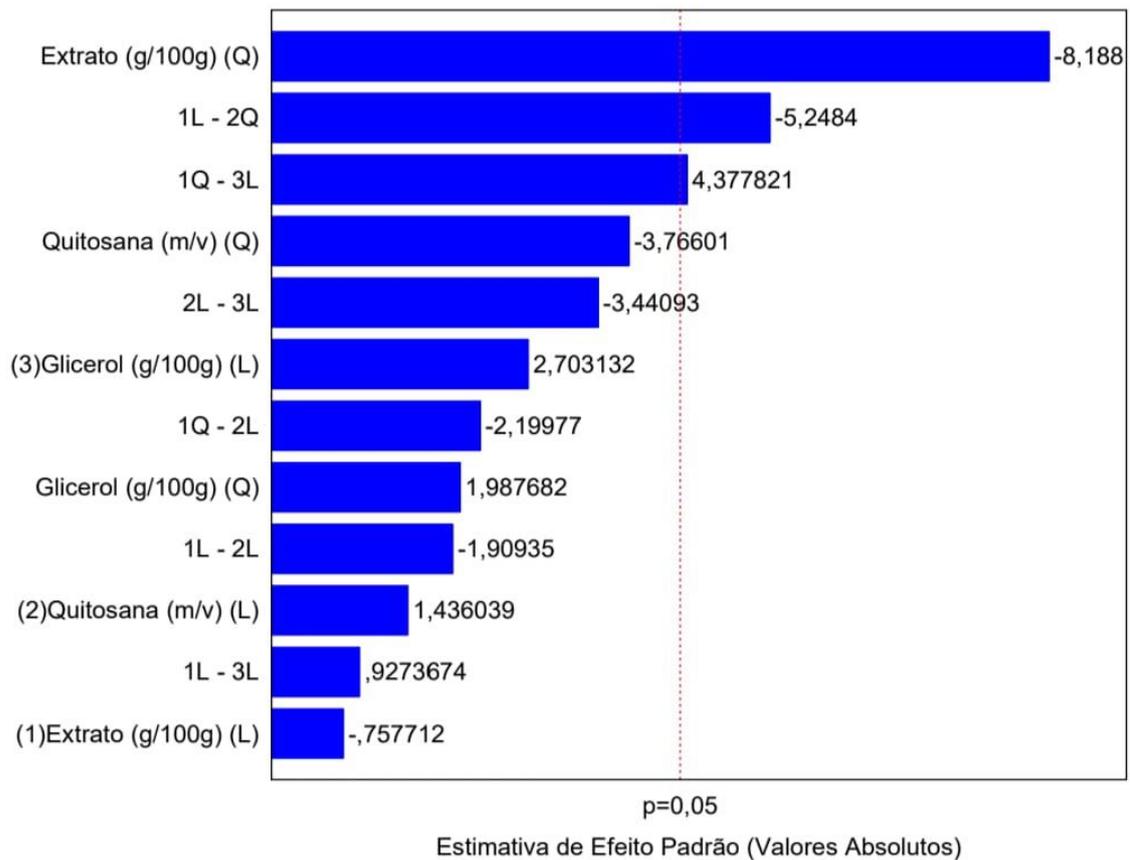
Fonte - Autor (2023)

As formulações dos pontos centrais do experimento mostraram a diminuição da permeabilidade ao vapor de água no material estudado, sendo uma característica desejável para o material em contato com o alimento, uma vez que são produtos mais susceptíveis a deterioração tanto microbiana como oxidativa. Como mostrado na Figura, maiores quantidades de extrato e de quitosana aumentam a permeabilidade ao vapor de água, sendo uma combinação de concentrações o ideal para obtenção da permeabilidade mínima possível no material.

O resultado obtido foi semelhante a resultados encontrados na literatura para materiais semelhantes, como a incorporação de óleos essenciais hidrofóbicos em filmes de proteínas que resultou em propriedades melhoradas barreira ao vapor de água, ou seja, menor permeabilidade ao vapor de água (JIANG et al., 2020). A utilização da quitosana pode ser uma justificativa para a menor propriedade de barreira, devido à sua baixa resistência mecânica e alta permeabilidade à umidade (LIM; THIAN, 2022).

É esperada que a permeabilidade ao vapor seja baixa para maior durabilidade do alimento armazenado, uma vez que filmes com menor permeabilidade ao vapor de água servem de barreira prolongando a qualidade do alimento (ADILAH; JAMILAH; HANANI, 2018b).

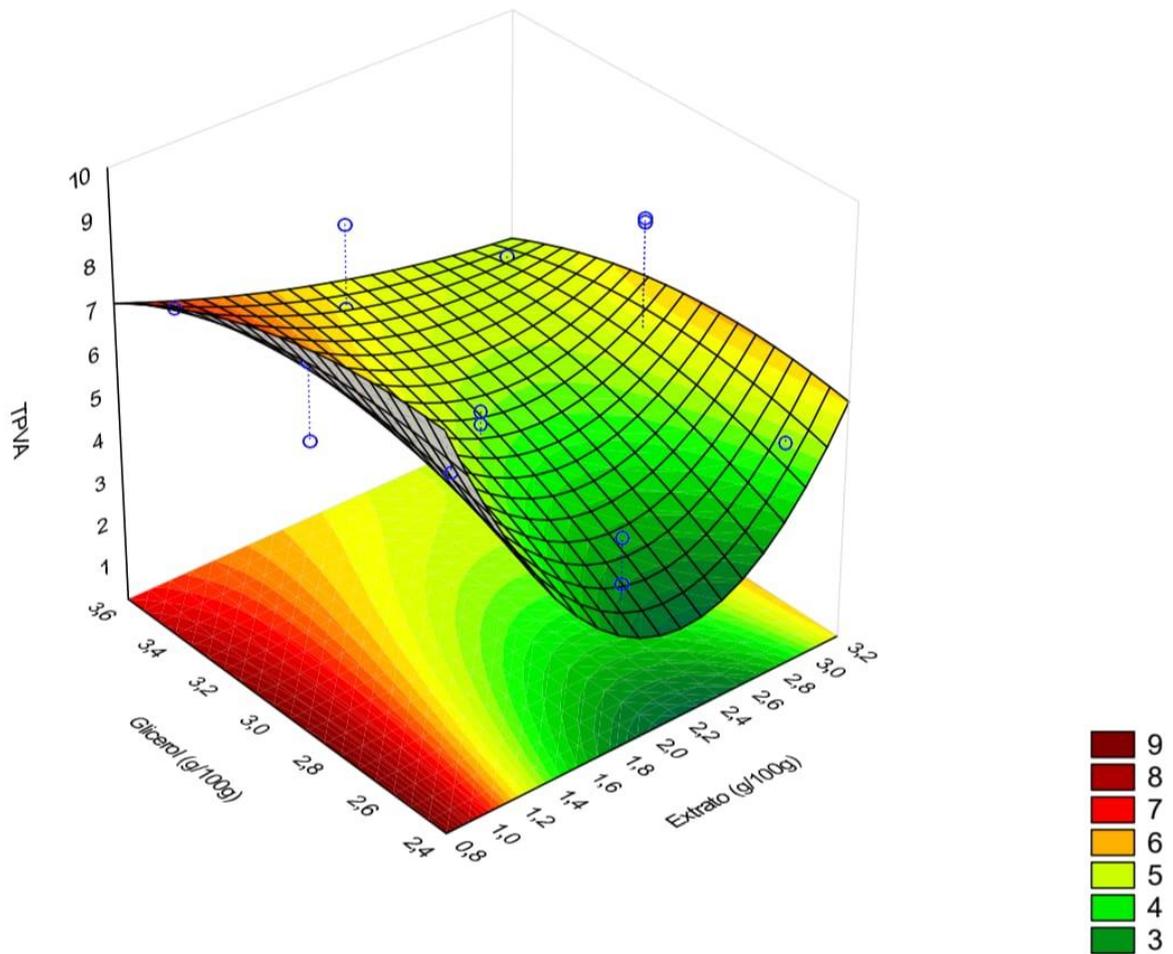
A variável que mais influenciou nessa propriedade do material foi a concentração do extrato de casca de cajueiro, contribuindo para uma diminuição dessa permeabilidade ao vapor de água, ou seja, aumentou a propriedade de barreira do filme produzido. Maior quantidade de extrato resulta em filme com menor permeabilidade ao vapor de água e melhor propriedade de barreira. A interação entre o extrato e a quitosana teve influência na diminuição dessa propriedade, enquanto a interação entre o extrato e o glicerol aumentou essa propriedade (Figura 9). O objetivo do filme utilizado para embalagem de alimentos é a diminuição dessa permeabilidade ao vapor de água e a incorporação de extrato de natureza hidrofóbica pode aumentar a hidrofobicidade total do filme, tornando assim a permeabilidade ao vapor de água limitada (ADILAH; JAMILAH; HANANI, 2018b) e a utilização do extrato de casca de cajueiro e da quitosana possibilitou essa diminuição.



**Figura 9** - Gráfico de Pareto de Efeitos Padronizados da Permeabilidade ao Vapor de Água

**Fonte** - Autor (2023)

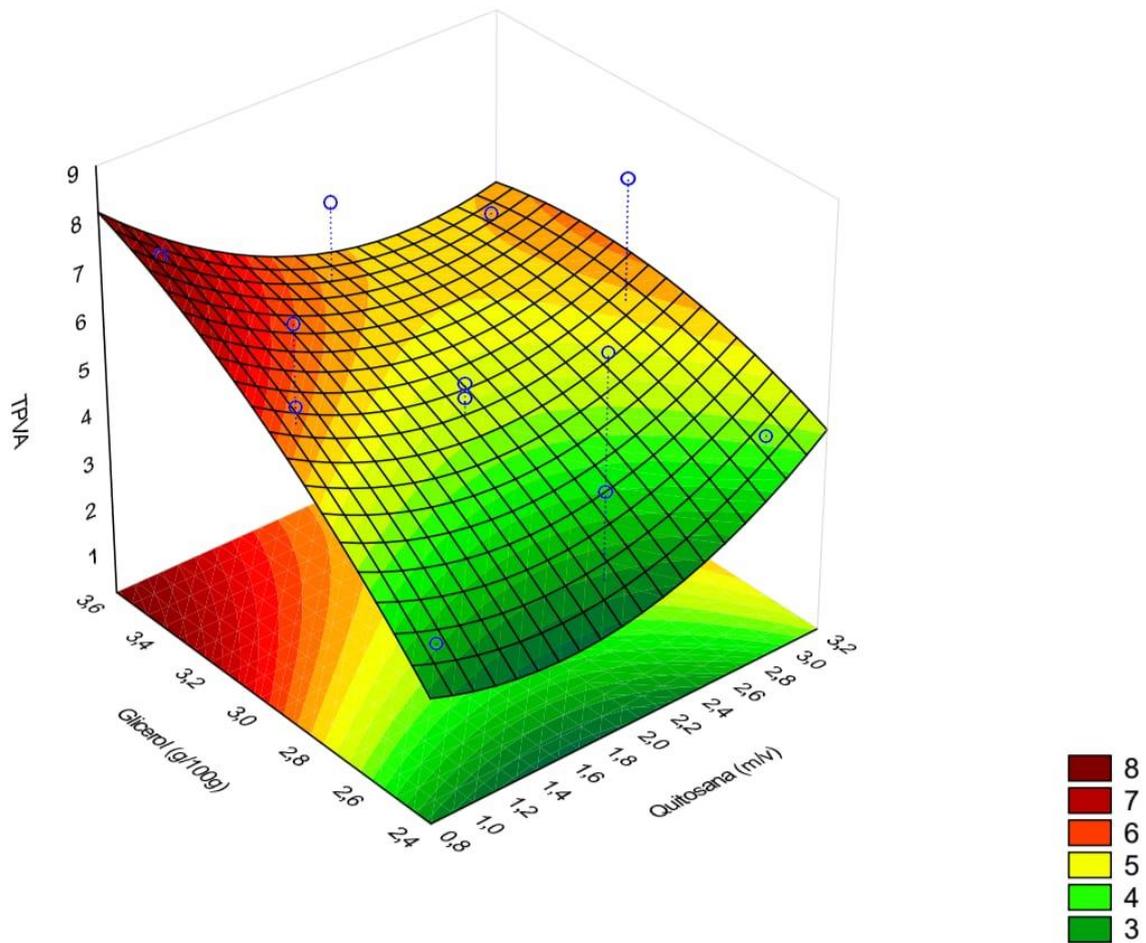
A adição de glicerol na formulação confere homogeneidade na matriz polimérica, através da interferência nas ligações de hidrogênio e nas interações macromoleculares durante o rearranjo da amilopectina que conferem efeito plastificante (MATHEUS et al., 2021), porém também confere higroscopicidade e alta permeabilidade ao vapor de água, propriedades que podem ser amenizadas através da adição de óleos essenciais (DOS SANTOS CAETANO et al., 2018), o que foi observado ao analisar o material obtido, pois a adição de glicerol aumenta a permeabilidade ao vapor de água e essa permeabilidade vai diminuindo com a adição de extrato e de quitosana. É possível observar a interação do glicerol com extrato de casca de cajueiro na superfície de resposta que mostra menores valores de permeabilidade ao vapor de água para maiores concentrações de extrato de casca de cajueiro em menores concentrações de glicerol (Figura 10).



**Figura 10** - Superfície de resposta para dados de permeabilidade ao vapor de água pela interação de glicerol e extrato

**Fonte** - Autor (2023)

Assim como é possível observar maiores valores de permeabilidade com concentrações mais altas de glicerol e menores concentrações de quitosana (Figura 11).

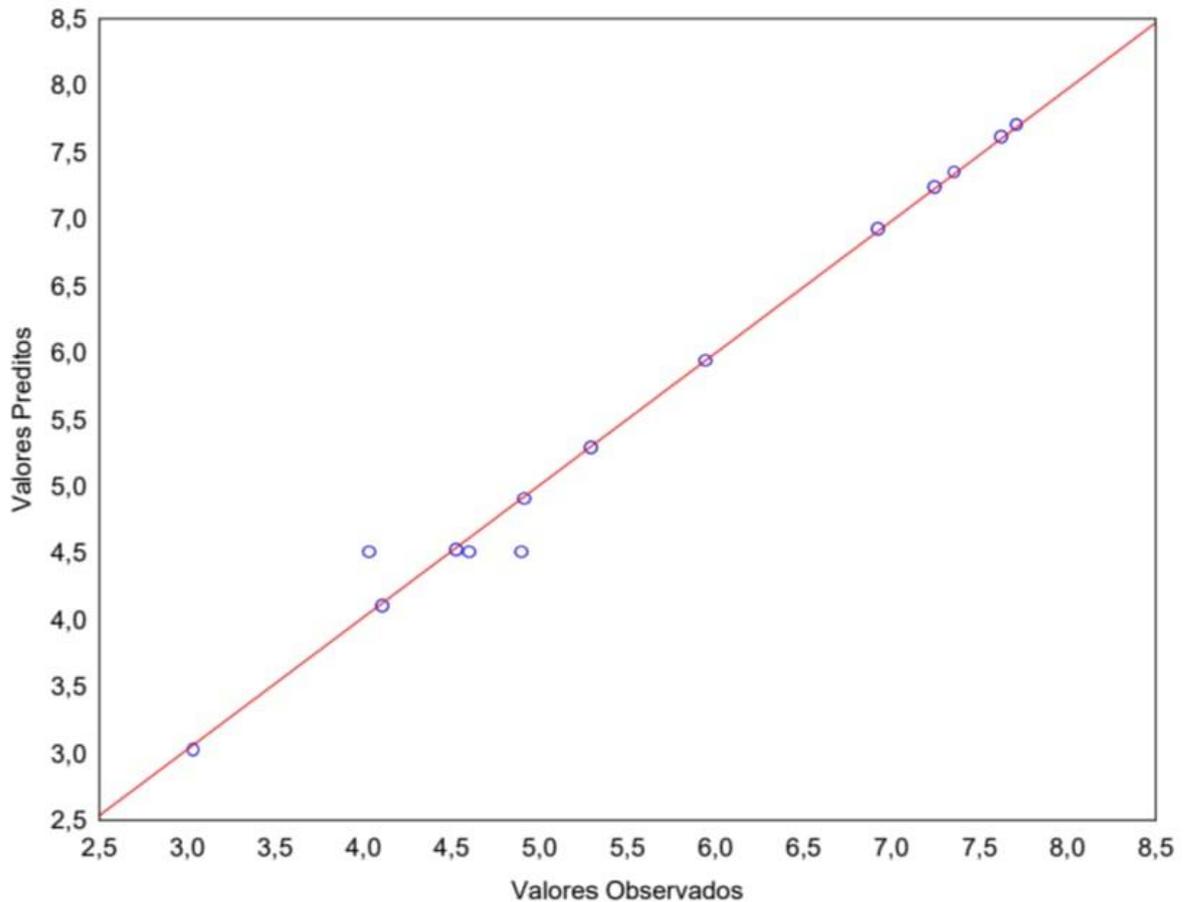


**Figura 11** - Superfície de resposta para dados de permeabilidade ao vapor de água pela interação de glicerol e quitosana

**Fonte** - Autor (2023)

É possível observar que os valores obtidos experimentalmente se ajustam bem aos valores previstos a partir da análise estatística do modelo experimental utilizado (Figura 12). A adição do extrato de casca de cajueiro, rico em polifenóis, pode ter aumentado a propriedade de barreira do filme, como a adição de polifenóis de chá de carpa capim aumentou a propriedade de barreira do biofilme produzido com matriz quitosana-celulose bacteriana (ZHOU et al., 2022).

Os valores da curva de valores previstos se aproximam bem dos valores obtidos experimentalmente, de modo que é possível observar algumas formulações com valores mais altos de permeabilidade, enquanto os pontos centrais se encontram em valores médios de permeabilidade, mostrando que a interação dos componentes adicionados e suas diferentes concentrações de fato influenciam na permeabilidade.



**Figura 12** - Gráfico de Valores preditos e observados para Permeabilidade ao Vapor de Água  
**Fonte** - Autor (2023)

A diminuição de permeabilidade ao vapor de água pode ser explicada pela interação dos componentes utilizados que são responsáveis pelo fortalecimento e preenchimento da estrutura aumentando a interação entre cadeias poliméricas e a diminuição do volume livre em matriz polimérica que diminui a mobilidade molecular das cadeias (SALARI et al., 2018). Valores mais altos nas formulações com maior concentração de glicerol são explicados na literatura que afirma que filmes de amido com maior percentual de plastificante apresentam maior caráter hidrofílico e maior permeabilidade ao vapor de água (LANDEIRA, 2022).

A partir do estudo, levando em consideração a desejabilidade em relação à propriedade de permeabilidade ao vapor de água dos materiais produzidos, foi observado que com a adição do extrato vegetal e da quitosana, a permeabilidade ao vapor de água se tornou menor e houve interação significativa com a propriedade, mas com o adição de glicerol pode se estimar uma

quantidade ótima para manutenção das propriedades esperadas do material, sem prejudicar a propriedade de barreira.

## 6.6 Solubilidade

A solubilidade em água desempenha em filmes biodegradáveis papel crítico na permeabilidade ao vapor de água, sendo atributos de importantes para a caracterização e para compreender o comportamento do filme ao entrar em contato com água (CHENG LI; HU; LI, 2021). A solubilidade depende do tipo e da concentração dos compostos utilizados, assim como dos índices de hidrofiliicidade e hidrofobicidade (BRASIL et al., 2022a).

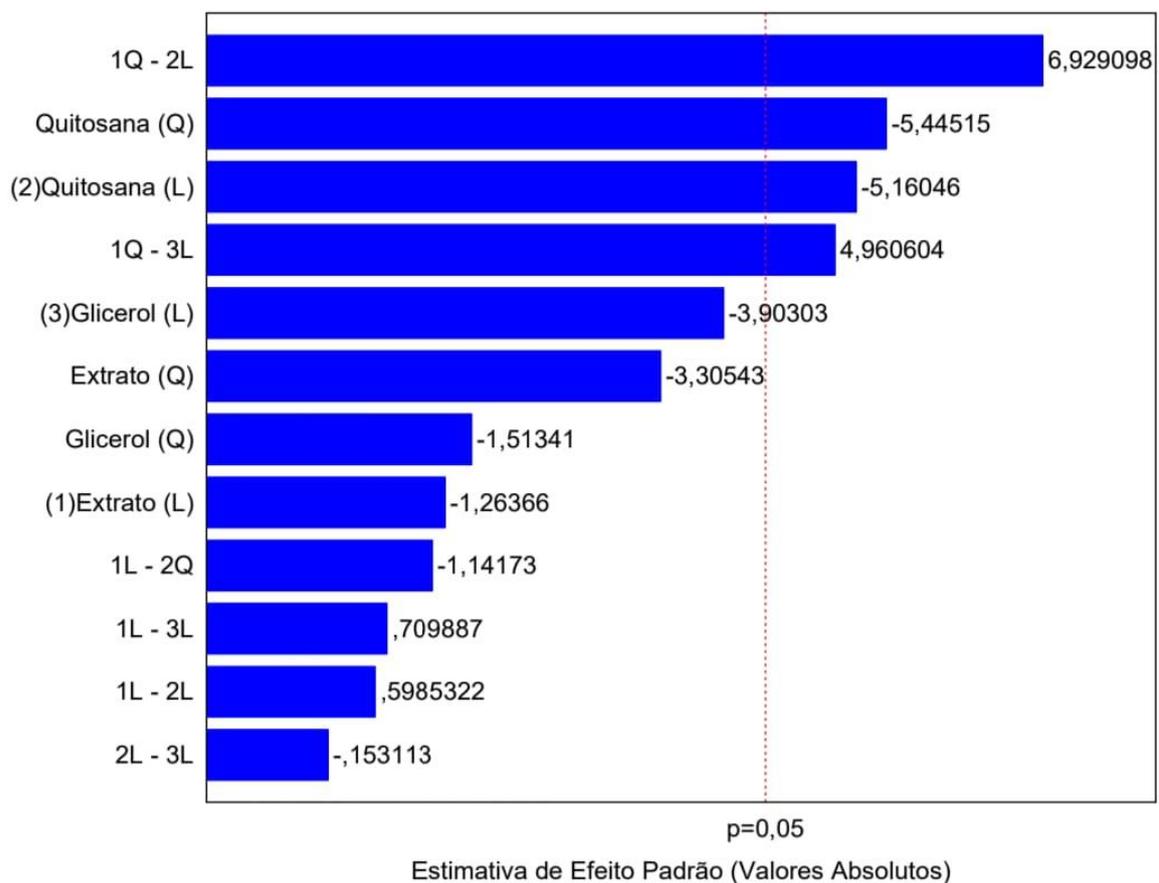
A variação da quitosana foi o parâmetro que mais influenciou na solubilidade do filme produzido. Com maiores concentrações de quitosana, a solubilidade diminuiu, o que mostra a interação da quitosana com a matriz do material filmogênico, uma vez que a quitosana é um polímero com baixa solubilidade em água (ALMEIDA et al., 2022a). Como o material produzido teve sua matriz a base de amido, as moléculas de amilose possuem estrutura linear e fortes forças de ligação entre os grânulos de amido, além de apresentarem menor quantidade de grupos -OH para maior interação com a água, dessa forma pode ser formada uma matriz de filme firme com maior proximidade das cadeias de amido e tendo uma menor desintegração do filme pela interação com a água (THAKUR et al., 2018). Os valores obtidos nos filmes estudados variaram de 1,94 a 5,31 (Tabela 8). Dessa forma, o material possui baixa solubilidade em relação a outros materiais, podendo dificultar sua desintegração quando exposto em ambientes com maior umidade relativa.

**Tabela 7 - Valores de solubilidade**

ENSAIO	SOL(%)
1	5,31 ± 0,113
2	4,95 ± 0,186
3	2,54 ± 0,129
4	2,61 ± 0,107
5	4,55 ± 0,230
6	3,57 ± 0,533
7	2,41 ± 0,112
8	1,94 ± 0,261
9	2,69 ± 0,692
10	3,71 ± 0,132
11	3,38 ± 0,203
12	4,29 ± 0,705
13	1,98 ± 0,468

14	$2,04 \pm 0,380$
15	$2,63 \pm 0,373$
Controle	$2,35 \pm 0,167$

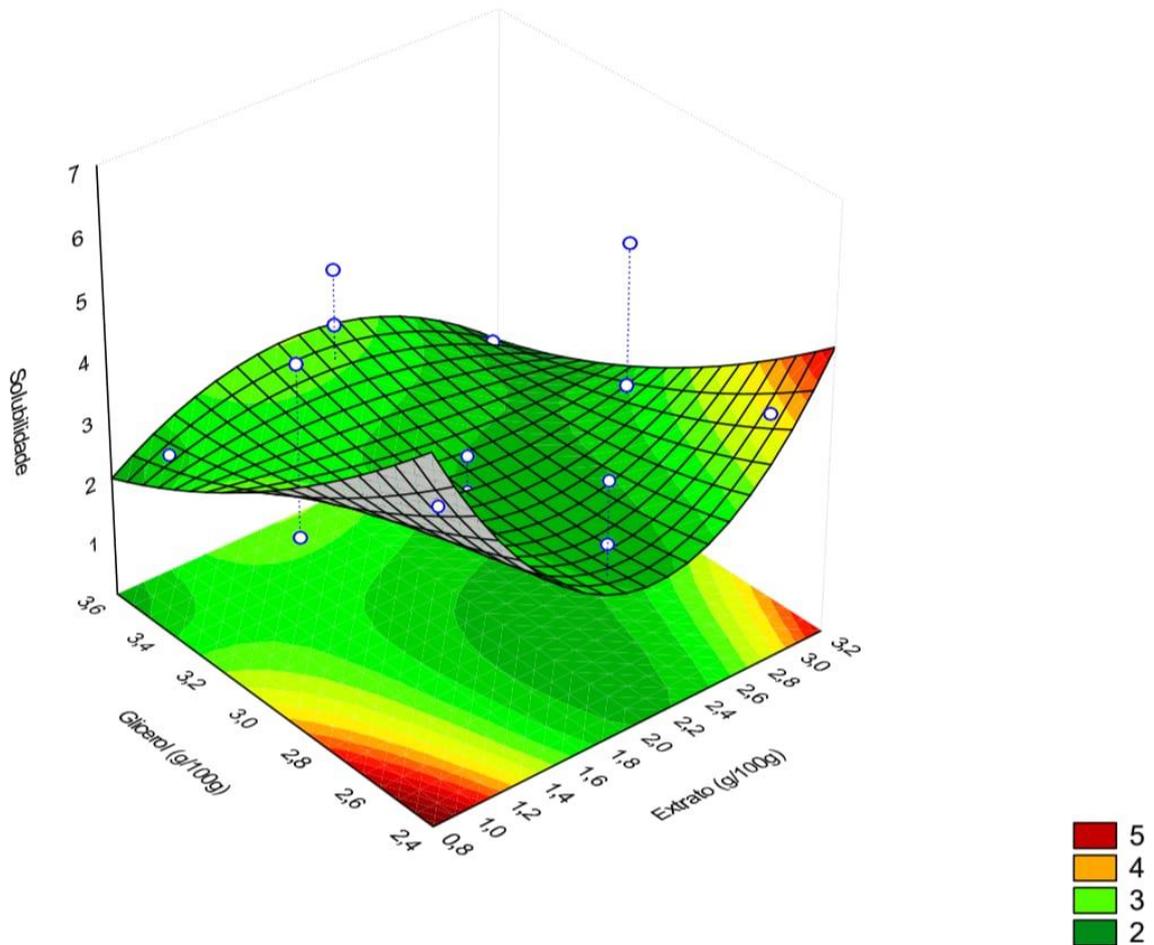
A variação de extrato e de glicerol não influenciou significativamente essa propriedade. Sendo que formulações com maiores concentrações de quitosana apresentaram valores próximos de solubilidade. A interação entre o extrato e o glicerol aumentou a solubilidade do material. Os polissacarídeos são hidrofílicos, o que torna o material suscetível à umidade (KOWALCZYK; BIENDL, 2016). O material sem adição de quitosana e extrato de casca de cajueiro teve comportamento semelhante aos pontos centrais do planejamento experimental nesse parâmetro avaliado, mas abaixo dos valores obtidos na maioria das formulações. A utilização de extrato de casca de cajueiro e de quitosana tornou o material mais solúvel e mais propenso a degradação por meio da umidade.



**Figura 13** - Gráfico de Pareto de Efeitos Padronizados da Solubilidade

Fonte - Autor (2023)

O desejável é que a solubilidade seja baixa, para manutenção da propriedade de barreira do filme, esse fator também influencia na barreira ao vapor de água e em ambientes de umidade relativa mais elevada. Em estudo realizado com filmes biodegradáveis formulados a partir de alginato, pectina e amido com incorporação de pólen de abelha, a solubilidade variou de 4,2 a 49,3% com a mistura de componentes (BRASIL et al., 2022b).



**Figura 14** - Superfície de resposta para dados de solubilidade

Fonte - Autor (2023)

A utilização de amido pode fazer com que a solubilidade dos polímeros diminua, tornando-os menos higroscópicos/hidrofílicos, podendo ser promissor para utilização em embalagens alimentícias (BRASIL et al., 2022b).

### 6.7 Resistência à tração e alongamento

As propriedades mecânicas devem ser capazes de proteger a integridade do produto embalado (YANG et al., 2016). São propriedades de grande importância para o desenvolvimento de embalagens de alimentos. Filmes biodegradáveis geralmente têm menor resistência do que filmes plásticos padrão (VARGAS et al., 2022). Em estudos preliminares, a resistência à tração de filmes fabricados com resíduos vegetais está na faixa de 0,7-68,5 Mpa, em comparação a filmes usuais, especialmente o polietileno de baixa densidade (ZHANG; SABLANI, 2021).

Porém, essas propriedades podem ser muito influenciadas pelos diferentes tipos de compostos presentes no extrato adicionado à matriz filmogênica, podendo aumentar ou diminuir essas propriedades mecânicas (ADILAH; JAMILAH; HANANI, 2018b).

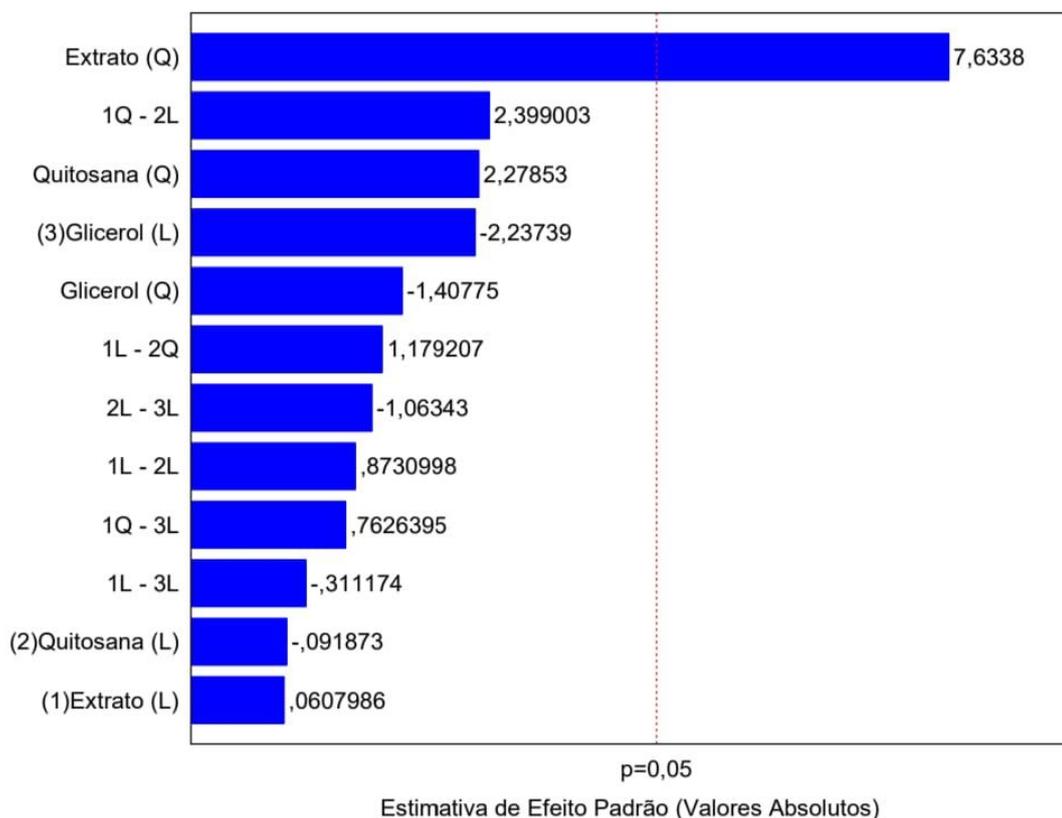
**Tabela 8** - Valores de resistência a tração e alongamento

ENSAIO	RT (N)	A (%)
1	5,62 ± 0,018	36,27 ± 2,585
2	3,33 ± 0,021	30,76 ± 3,693
3	2,19 ± 0,015	25,82 ± 4,190
4	2,79 ± 0,019	33,72 ± 4,738
5	7,12 ± 0,054	37,38 ± 5,841
6	9,55 ± 0,039	38,91 ± 7,253
7	4,28 ± 0,048	32,19 ± 5,444
8	5,68 ± 0,041	35,21 ± 2,828
9	9,36 ± 0,058	36,98 ± 4,474
10	14,75 ± 0,048	47,19 ± 5,623
11	9,55 ± 0,059	40,23 ± 6,394
12	11,42 ± 0,059	49,43 ± 6,691
13	11,51 ± 0,048	44,03 ± 3,910
14	10,68 ± 0,053	40,76 ± 5,260
15	13,87 ± 0,046	46,39 ± 7,329
Controle	11,95 ± 0,077	24,15 ± 4,767

A adição de extrato teve influência no aumento da resistência à tração, enquanto a adição de glicerol e de quitosana não teve influência significativa na resistência à tração, a adição de quitosana aumenta a resistência a tração e a adição de glicerol diminui essa resistência, mas não

de forma significativa para o material estudado. Da mesma forma o alongamento, com o aumento da quantidade de extrato se obteve um maior alongamento, enquanto a quitosana e o glicerol não influenciaram significativamente o alongamento, sendo a influência positiva da quitosana e a influência negativa do glicerol, mas nenhum dos dois significativo no material estudado.

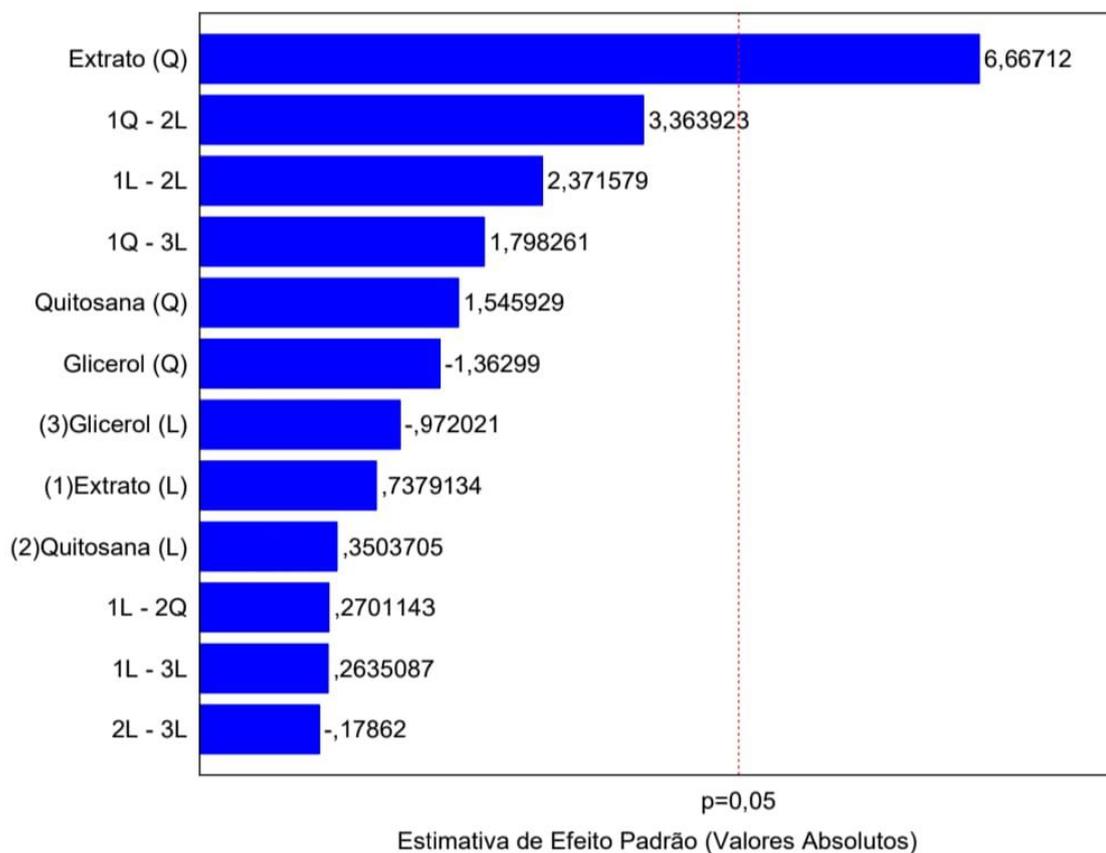
Estudo realizado com a caracterização de filme biodegradável de amido certificou que o aumento de glicerol reduz deformações, tornando os filmes mais maleáveis e flexíveis (FERNANDES et al., 2019). A textura do filme é muito influenciada pelos diferentes tipos de compostos presentes no extrato utilizado, alguns desses compostos podem aumentar propriedades mecânicas ou reduzi-las à medida que trabalham juntos (MARYAM ADILAH; JAMILAH; NUR HANANI, 2018b). O filme produzido sofreu uma influência significativa na adição do extrato de casca de cajueiro, com o aumento do alongamento, porém a resistência a tração não sofreu esse aumento. O material se tornou mais maleável.



**Figura 15** - Gráfico de Pareto de Efeitos Padronizados da Resistência a tração  
Fonte - Autor (2023)

A adição do extrato resultou em filmes flexíveis e de alta resistência, que pode ser explicado por estudo semelhante realizado com quitosana e extrato de casca de manga onde a

tensão de ruptura dos filmes aumentou com o aumento da concentração de extrato (K. et al., 2019a). A estrutura linear da cadeia polissacarídica de quitosana ajuda na melhor ligação cruzada da cadeia polimérica pelos componentes. Em filme produzido com adição de farinha de cacto o aumento na espessura e na resistência a tração dependeu da granulometria da farinha e da quantidade adicionada, enquanto a alongação na ruptura reduziu em comparação a filmes sem adição de farinha de cacto (IAHNKE et al., 2022a) (IAHNKE et al., 2022b).



**Figura 16** - Gráfico de Pareto de Efeitos Padronizados do Alongamento

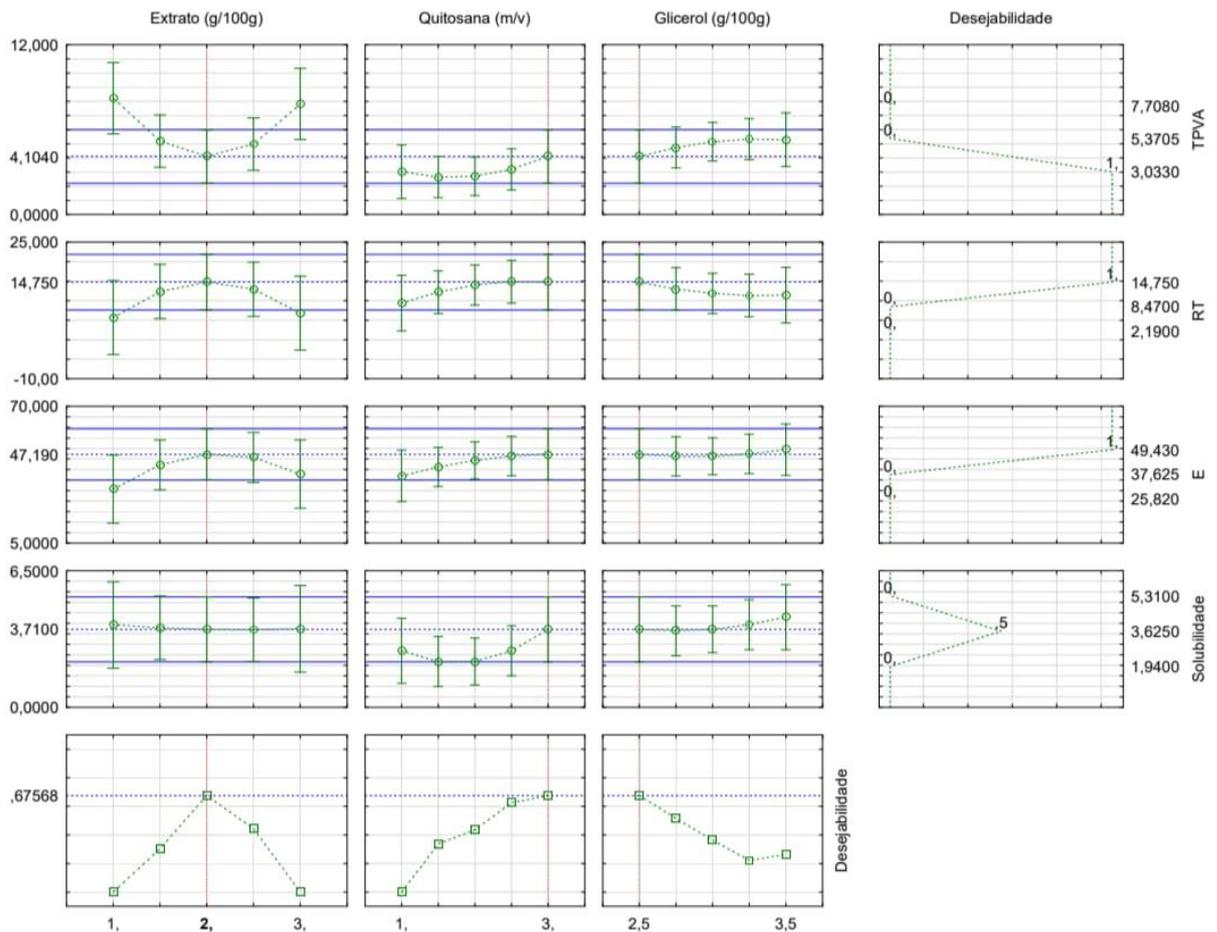
Fonte - Autor (2023)

A presença de compostos fenólicos, polifenóis e outras estruturas na matriz filmogênica pode ser a justificativa na diminuição das propriedades mecânicas dos filmes com a adição de extrato de casca de cajueiro e quitosana, como em estudo realizado com nanofibra de goma arábica e quitosana houve o aumento da espessura e diminuição da tensão de ruptura com a adição do extrato de *Rosa Damascena*, que possui antocianinas (SHAVISI; SHAHBAZI, 2022), essa diminuição foi associada com a interação dos compostos fenólicos por ligações de

hidrogênio ou por interações hidrofóbicas que impedem as cadeias poliméricas de interagirem, deixando as moléculas mais afastadas e a ligação entre as cadeias mais fraca (WU et al., 2021).

A mistura de polímeros para a obtenção de um novo material com as propriedades desejadas é um método eficaz, misturando quitosana com outros componentes com diferentes propriedades mecânicas e de permeabilidade, é possível modificar a permeabilidade ao vapor de água do filme final para obter filmes com propriedades adaptadas à diversas aplicações (CAZÓN; VÁZQUEZ, 2020). A aplicação de interesse exige uma menor permeabilidade em água, assim como uma baixa solubilidade em água e maior resistência para manutenção da integridade do produto aplicado (VARGAS et al., 2022).

Com o estudo realizado, é possível obter os valores otimizados a partir das interações das concentrações dos componentes para menor permeabilidade ao vapor de água e solubilidade e melhores propriedades físicas de resistência a tração e alongamento. Essas estimativas estão expostas na Figura 17 com auxílio da função desejeabilidade.



**Figura 17** - Perfis para valores previstos e desejeabilidade

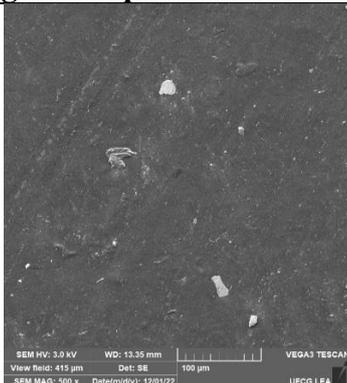
Fonte - Autor (2023)

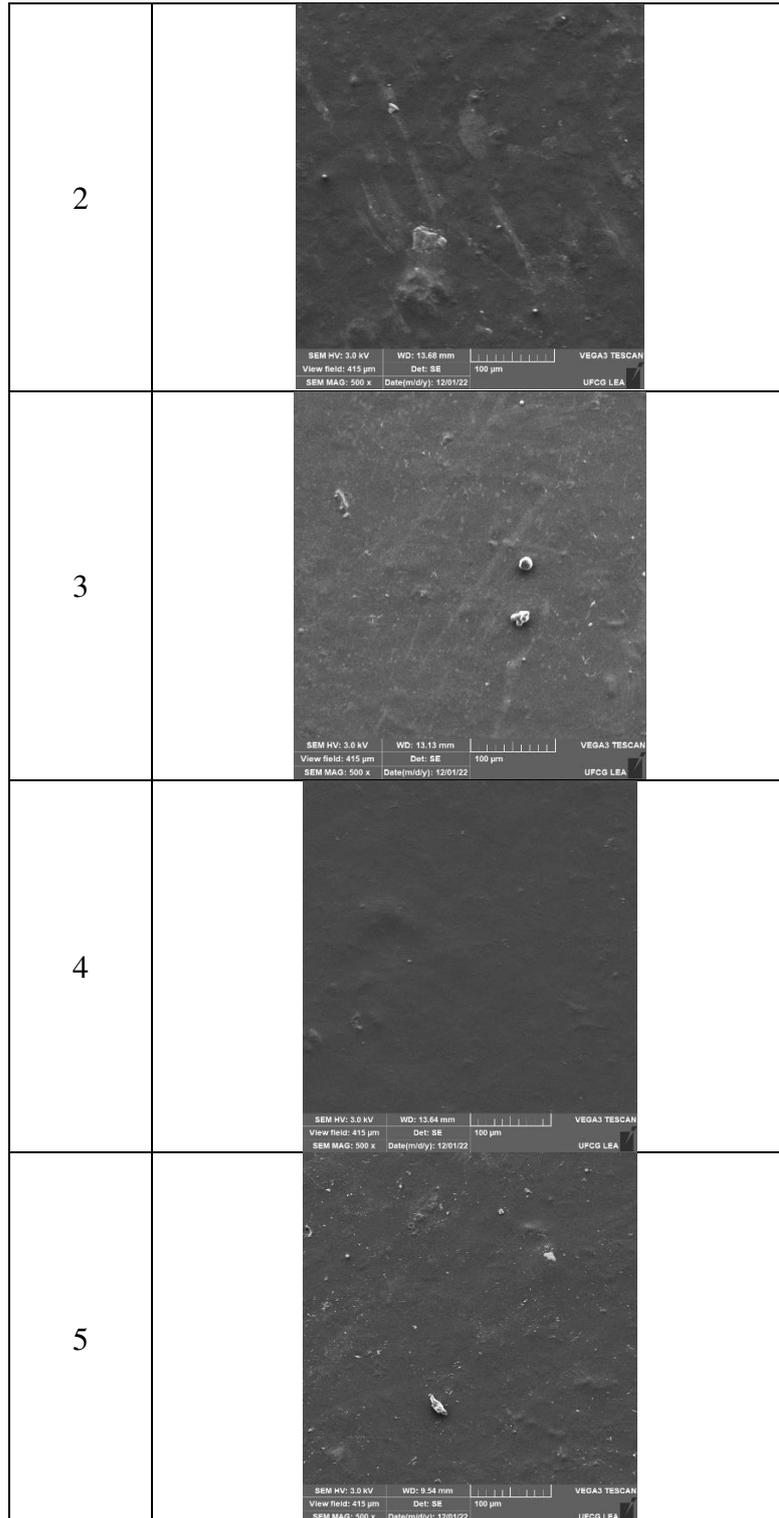
Um filme adequado para conservação de alimentos deve atender a alguns requisitos básicos, como boas qualidades sensoriais (quando comestíveis), alta barreira, alta resistência mecânica, alta estabilidade microbiana, livre de compostos tóxicos, seguro para a saúde, simples de produzir, não poluente e baixo custo (J. JEYA JEEVAHAN et al., 2020). Com os resultados encontrados é possível estimar uma formulação ótima aproximada aos resultados encontrados nas formulações experimentais. A partir da desejabilidade, a formulação ideal teria a concentração de 2% extrato, 3% de quitosana e de 3,25% de glicerol com a matriz de amido de milho em concentração de 5%. A desejabilidade foi baseada nos menores valores de permeabilidade ao vapor de água e solubilidade em água e a melhores propriedades mecânicas que proporcionem resistência ao material.

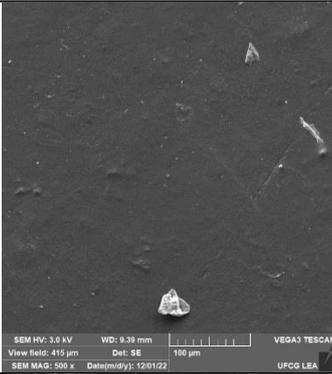
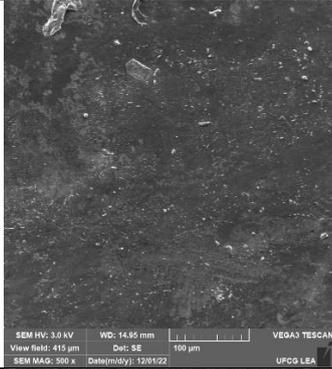
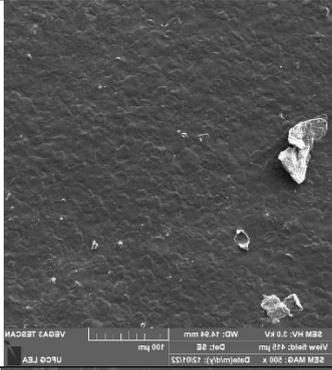
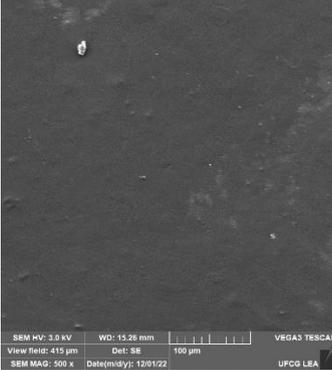
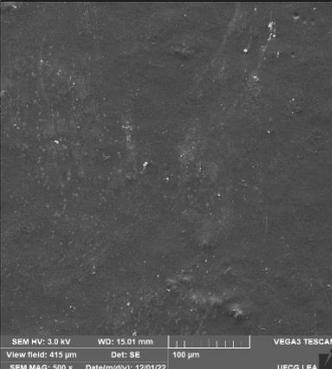
### 6.8 Microscopia eletrônica de varredura

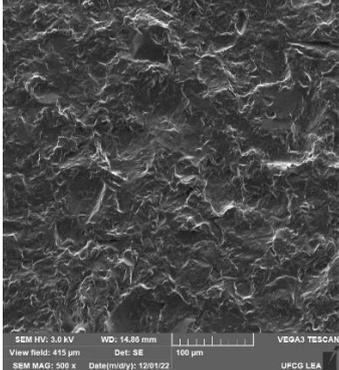
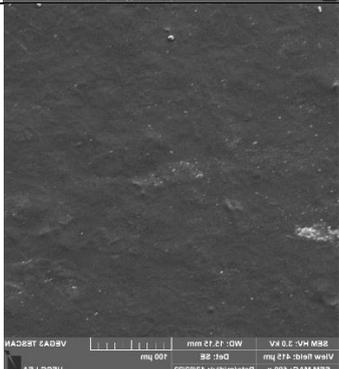
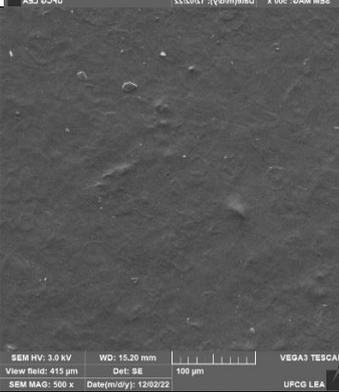
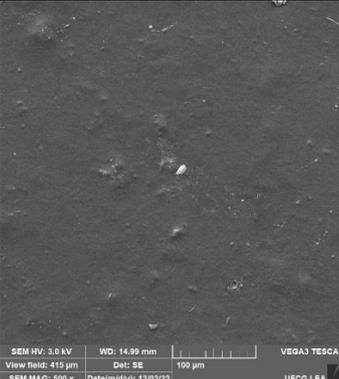
A morfologia da superfície dos filmes produzidos a partir do planejamento experimental é apresentada na Quadro 2. O filme controle sem adição de extrato e quitosana apresentou um aspecto heterogêneo rugoso, sendo uma superfície menos lisa que os filmes obtidos no planejamento experimental. Barbieri (2023) observou característica semelhante nos filmes de amido em comparação a filmes de pectina.

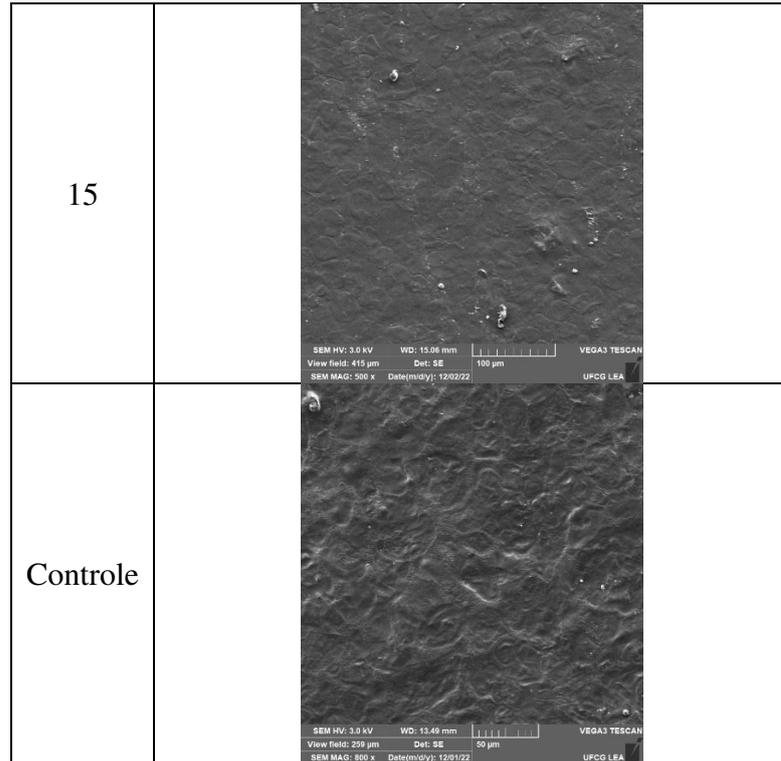
**Quadro 2 - Morfologia da superfície os filmes**

ENSAIO	Morfologia da superfície dos filmes (500x)
1	



6			
7			
8			
9			
10			

11		 <p>SEM HV: 3.0 kV WD: 14.86 mm VEGA3 TESCAN View Field: 415 µm Det: SE 100 µm SEM MAG: 500 x Date(m/d/y): 12/01/22 UFGO LEA</p>	
12		 <p>HADRBT CADBV mm 01.01 :DW V4 0.1 :M MR2 mg 007 SS :140 mg 014 :01011 waLV ABJ DCU SS:0201 ::54/mjstj0 x 002 :DAM MB2</p>	
13		 <p>SEM HV: 3.0 kV WD: 15.20 mm VEGA3 TESCAN View Field: 415 µm Det: SE 100 µm SEM MAG: 500 x Date(m/d/y): 12/02/22 UFGO LEA</p>	
14		 <p>SEM HV: 3.0 kV WD: 14.99 mm VEGA3 TESCAN View Field: 415 µm Det: SE 100 µm SEM MAG: 500 x Date(m/d/y): 12/02/22 UFGO LEA</p>	



Filmes produzidos com menores quantidades de extrato e quitosana tiveram suas superfícies menos uniformes que filmes com maiores quantidades de extrato e quitosana, dessa forma pode-se dizer que a adição de quitosana e extrato no material filmogênico tornou a superfície do filme de amido mais lisa e uniforme devido a interação desses componentes na matriz.

## 7 CONCLUSÃO

Filmes, revestimentos e embalagens de polímeros biodegradáveis são uma alternativa a utilização de polímeros tradicionais derivados de petróleo e uma opção para incorporação de agentes ativos para aumento de vida de prateleira de alimentos. O estudo realizado pôde contribuir com uma possibilidade de composição para um material com propriedades desejáveis para utilização em alimentos biodegradável e com propriedades funcionais. As propriedades mecânicas se mostraram limitadas em relação a plásticos comerciais. A adição do extrato de casca de cajueiro aumentou a resistência a tração e o alongamento do material produzido. Ocorreu o aumento da propriedade de barreira com a adição do extrato ativo. A adição do extrato vegetal alterou a cor dos filmes em relação ao filme sem extrato, variando em tons de laranja de acordo com a quantidade de extrato adicionado, maiores quantidades de extrato obtiveram tons de laranja mais intensos. A adição de extrato de casca de cajueiro e quitosana tornou a superfície dos filmes mais uniformes e menos rugosas que a superfície do filme produzido apenas com amido. A formulação otimizada tem a concentração de 2% extrato, 3% de quitosana e de 3,25% de glicerol com a matriz de amido de milho em concentração de 5%. É possível observar que o material tem potencial antioxidante pela presença de compostos fenólicos adicionados do extrato de casca de cajueiro, que se mantiveram no filme produzido em quantidades consideráveis em relação a outros extratos utilizados na literatura. Por fim, foram produzidos e avaliados filmes ativos a base de amido, quitosana, glicerol com adição de extrato de casca de cajueiro, com uso limitado pela propriedade de barreira do material de base biológica e cor atípica para embalagem ou revestimento, mas com grande potencial para maiores estudos devido as propriedades mecânicas e antioxidantes. Se faz necessário mais estudos em relação as propriedades térmicas do material obtido e sua biodegradabilidade para aplicabilidade em alimentos.

## 8 REFERÊNCIAS

PORTO, P. A.; L. QUEIROZ, S. Enxergando além das aparências. **Química Nova na Escola**, v. 44, n. 3, 2022.

ALMEIDA, A. R.; MACIEL, M. V. O. B.; MACHADO, M. H.; SGANZERLA, W. G.; TEIXEIRA, G. L.; ROSA, C. G.; BLOCK, J. M.; NUNES, M. R., BARRETO, P. L. M. Production of chitosan and poly (vinyl alcohol) films functionalized with hop extract (*Humulus lupulu L. var. Cascade*) for food packaging application. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 32, p. 100833, 2022a.

ALMEIDA, A. R.; MACIEL, M. V. O. B.; MACHADO, M. H.; SGANZERLA, W. G.; TEIXEIRA, G. L.; ROSA, C. G.; BLOCK, J. M.; NUNES, M. R., BARRETO, P. L. M. Production of chitosan and poly (vinyl alcohol) films functionalized with hop extract (*Humulus lupulu L. var. Cascade*) for food packaging application. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 32, p. 100833, 2022b.

AMARAL, M. A.; BORSCHIVER, S.; MORGADO, C. R. V. Análise do segmento de bioplásticos: prospecção tecnológica em “plásticos verdes”, PHA e PLA. **Engevista**, v. 21, n. 2, p. 228–241, 2019.

ARAÚJO, B. A.; FREITAS, L. S. DE; SARMENTO, K. K. F.; BEZERRA, V. R.; LIMA, C. A. P.; MEDEIROS, K. M. A aplicação de polímeros biodegradáveis como uma alternativa sustentável. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 9, p. e49010918248–e49010918248, 2021.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E96/E96M-16 Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials**, 2016.

BACCA, L. A. M. Avaliação da Degradação de Bioplástico Comercial Poli ( $\beta$ -hidroxibutirato) (PHB) Através de Biodigestão Anaeróbia em Diferentes Razões Inóculo/Substrato. **Revista Virtual de Química**, v. 14, n. 1, 2022.

BAJIĆ, M.; JALSOVEC, H.; TRAVAN, A.; NOVAK, U.; LIKOZAR, B. Chitosan-based films with incorporated supercritical CO<sub>2</sub> hop extract: Structural, physicochemical, and antibacterial properties. **Carbohydrate Polymers**, v. 219, p. 261–268, 2019.

BARBIERI, D. Desenvolvimento de filmes de desintegração oral à base de pectina/amido para liberação de fármaco. 2023.

BARBOZA, H. T. G.; SOARES, A. G.; FERREIRA, J. C. S.; FREITAS-SILVA, O. Filmes e revestimentos comestíveis: conceito, aplicação e uso na pós-colheita de frutas, legumes e vegetais. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 9, p. e9911931418–e9911931418, 2022.

BARROS, D. M.; SILMA, A. P. F.; MOURA, D. F.; MELO, M. A.; SILVA, J. H. L.; ROCHA, T. A.; SILVA, F. A.; OLIVEIRA, G. B.; MEDEIROS, S. M. F. R. S. CAVALCANTI, I. D. L.; MACÊDO, D. C. DOS S.; SOARES, J. C. S.; FERREIRA, S. A.O.; SIQUEIRA, T. T. A.; LEITE, A. R. DE F.; COSTA, M. P.; DINIZ, M. A.; ALVES, A. S. S.; SANTOS, J. M. S.; FONTE, R. A. B. Utilização de quitosana na conservação dos alimentos / Use of chitosan in food conservation. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 4, p. 17717–17731, 2020.

BASIAK, E.; LENART, A.; DEBEAUFORT, F. Effect of starch type on the physico-chemical properties of edible films. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 98, p. 348–356, 2017.

BASIAK, E.; LENART, A.; DEBEAUFORT, F. How Glycerol and Water Contents Affect the Structural and Functional Properties of Starch-Based Edible Films. **Polymers**, v. 10, n. 4, p. 412, 2018.

BEZERRA, R. P. L.; AGUIAR, W. J. DE; EL-DEIR, S. G. **Resíduos sólidos: gestão em indústrias e novas tecnologias**. [s.l.] EDUFRPE, 2017.

BRASIL, G. V. S.; RAPOSO, A. K. S.; RIBEIRO, G. A. C.; SANTOS, D. M.; FIRMO, W.C. A.; LOPES, I. A.; LUZ, D. A.; PAIXÃO, L. C.; SANTANA, A. A.; COSTA, M. C. P. Incorporação de pólen de abelha Tubi (*Scaptotrigona* sp) em filmes biodegradáveis de alginato, pectina e amido. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 9, p. e11711931603–e11711931603, 2022a.

BRASIL, G. V. S.; RAPOSO, A. K. S.; RIBEIRO, G. A. C.; SANTOS, D. M.; FIRMO, W.C. A.; LOPES, I. A.; LUZ, D. A.; PAIXÃO, L. C.; SANTANA, A. A.; COSTA, M. C. P. Incorporação de pólen de abelha Tubi (*Scaptotrigona* sp) em filmes biodegradáveis de alginato, pectina e amido. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 9, p. e11711931603–e11711931603, 2022b.

BRAZEIRO, F. S. G.; IMTHON, N. D. Filmes biodegradáveis baseados em polissacarídeos e proteínas, extraídos de resíduos industriais para aplicação em embalagens de alimentos: revisão sistemática da literatura. 2021.

CAIXETA, D.; MORAIS, E. PANORAMA MUNDIAL DE PRODUÇÃO DE PLÁSTICO E ESTRATÉGIAS DE DEGRADAÇÃO. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, v. 19, n. 39, 2022.

CAZÓN, P.; VÁZQUEZ, M. Mechanical and barrier properties of chitosan combined with other components as food packaging film. **Environmental Chemistry Letters**, v. 18, n. 2, p. 257–267, 2020.

CHENG LI; YIMING HU; ENPENG LI. Effects of amylose and amylopectin chain-length distribution on the kinetics of long-term rice starch retrogradation. **Food hydrocolloids**, v. 111, p. 106239-, 2021.

SOUZA, S. J.; SILVA, M. V.; LEIMANN, F. V.; SHIRAI, M. A. **Propriedades Antioxidantes e antimicrobianas de filmes de amido contendo extrato de própolis**. Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica - Cobeq IC 2015. **Anais...** Em: XI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM INICIAÇÃO CIENTÍFICA. Campinas, Brasil: Editora Edgard Blücher, 2015. Disponível em: <<http://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/19899>>. Acesso em: 7 mar. 2023

VARGAS, V. H. DE.; MARCZAK, L. D. F.; FLÔRES, S. H.; MERCALI, G. D. Advanced Technologies Applied to Enhance Properties and Structure of Films and Coatings: a Review. **Food and Bioprocess Technology**, 2022.

DEBNATH, B.; DUARAH, P.; HALDAR, D. PURKAIT, M. K. Improving the properties of corn starch films for application as packaging material via reinforcement with microcrystalline

cellulose synthesized from elephant grass. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 34, p. 100937, 2022.

DILUCIA, F.; LACIVITA, V.; CONTE, A.; NOBILE, M. A. Sustainable Use of Fruit and Vegetable By-Products to Enhance Food Packaging Performance. **Foods**, v. 9, n. 7, p. 857, 2020.

CAETANO, K. S.; LOPES, N. A.; COSTA, T. M. H.; BRANDELLI, A.; RODRIGUES, E. FLÔRES, S. H.; CLADERA-OLIVERA, F. Characterization of active biodegradable films based on cassava starch and natural compounds. **Food packaging and shelf life**, 2018.

DUBEY, N. K.; DUBEY, R. Chapter 27 - Edible films and coatings: An update on recent advances. Em: PAL, K. et al. (Eds.). **Biopolymer-Based Formulations**. [s.l.] Elsevier, p. 675–695, 2020.

FERNANDES, A. D. S.; CARDOSO, J. C. O.; GOMES, J. N.; ASCHERI, D. P. R. Elaboração e Caracterização de Filmes Biodegradáveis de Amido de Solanum lycocarpum St. Hill e Glicerol. **Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, v. 8, n. 1, p. 362–378, 2019.

FLÓREZ, M.; CAZÓN, P.; VÁZQUEZ, M. Active packaging film of chitosan and Santalum album essential oil: Characterization and application as butter sachet to retard lipid oxidation. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 34, p. 100938, 2022.

FRANCHETTI, S. M. M.; MARCONATO, J. C. Polímeros biodegradáveis - uma solução parcial para diminuir a quantidade dos resíduos plásticos. **Química Nova**, v. 29, p. 811–816, 2006.

FRANCO LÓPEZ, S. Comportamiento entre el glicerol y la lecitina en una mezcla a base de almidón y PBSA para la producción de películas flexibles. 2022.

FRIEDRICHSEN, J. S. A.; FERREIRA, C. S. R.; FRIGO, G.; GOMES, E S.; SILVA, J. F.; SLVA, P. G.; PIACQUADIO, N. M.; ARAÚJO, E.S.; SANTOS, O. O. O uso de amido como proposta para embalagens biodegradáveis – Uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 14, p. e282111436449–e282111436449, 2022.

GIANNAKOUROU, M. C.; TSIRONI, T. N. Application of Processing and Packaging Hurdles for Fresh-Cut Fruits and Vegetables Preservation. **Foods**, v. 10, n. 4, p. 830, 2021.

HAGHIGHI, H.; LICCIARDELLO, F.; FAVA, P.; SIESLER, H. W.; PULVIRENTI, A. Recent advances on chitosan-based films for sustainable food packaging applications. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 26, p. 100551, 2020.

HASSAN, B.; CHATHA, S. A. S.; HUSSAIN, A. I.; ZIA, K. M.; AKHTAR, N. Recent advances on polysaccharides, lipids and protein based edible films and coatings: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 109, p. 1095–1107, 2018.

IAHNKE, A. O E S.; DICK, M.; CAMPO, C.; RIOS, A. O.; FLÔRES, S. H. FARINHA DE CACTO (OPUNTIA MONACANTHA) E RESÍDUO DE GELATINA: MATÉRIAS-PRIMAS POTENCIAIS PARA EMBALAGENS BIODEGRADÁVEIS. **CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS: PESQUISA E PRÁTICAS CONTEMPORÂNEAS - VOLUME 3**, v. 3, n. 1, p. 124–133, 2022.

JEEVAHAN, J. J.; CHANDRASEKARAN, M.; VENKANTESAN, S. P.; JOSEPH, G. B.; MAGASHWARAN, G. DURAIRAJ, R. B. Scaling up difficulties and commercial aspects of edible films for food packaging: A review. **Trends in food science & technology**, v. 100, p. 210–222, 2020.

JANIK, W.; LEDNIEWSKA, K.; NOWOTARSKI, M.; KUDLA, S.; KNAPCZK-KORCZAK, J.; SRACHEWICZ, U.; NOWAKOWSKA-BOGDAN, E.; SABURA, E.; NOSAL-KOVALENKO, H.; TURCZN, R.; DUDEK, G. Chitosan-based films with alternative eco-friendly plasticizers: Preparation, physicochemical properties and stability. **Carbohydrate Polymers**, v. 301, p. 120277, 2023.

JIANG, J.; GONG, L.; DONG, Q.; KANG, Y.; OSAKO, K.; LI, L. Characterization of PLA-P3,4HB active film incorporated with essential oil: Application in peach preservation. **Food Chemistry**, v. 313, p. 126134, 2020.

RAMBABU, K.; BHARATH, G.; BANAT, F.; SHOW, P. L.; COCOLETZI, H. H. Mango leaf extract incorporated chitosan antioxidant film for active food packaging. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 126, p. 1234–1243, 2019a.

RAMBABU, K.; BHARATH, G.; BANAT, F.; SHOW, P. L.; COCOLETZI, H. H. Mango leaf extract incorporated chitosan antioxidant film for active food packaging. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 126, p. 1234–1243, 2019b.

KHALID, M. Y.; ARIF, Z. U. Novel biopolymer-based sustainable composites for food packaging applications: A narrative review. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 33, p. 100892, 2022.

KOTOVICZ, V.; LEINECKER, R.; BARBOSA, M.; KRUGER, R. MESOMO, M. C. Avaliação da atividade antioxidante de extratos de casca de Banana Nanica obtidos por maceração. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 14, n. 2, p. 269–275, 2021.

KOWALCZYK, D.; BIENDL, M. Physicochemical and antioxidant properties of biopolymer/candelilla wax emulsion films containing hop extract – A comparative study. **Food Hydrocolloids**, v. 60, p. 384–392, 2016.

LANDEIRA, M. A. C. Obtenção de biofilmes de pcl/amido de mandioca e estudo comparativo de diferentes proporções para embalagens alimentícias. 2022.

LAUER, M. K.; SMITH, R. C. Recent advances in starch-based films toward food packaging applications: Physicochemical, mechanical, and functional properties. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 19, n. 6, p. 3031–3083, 2020.

LEAL, Y.; ALENCAR, S.; MEIRELLES, L. **TRIAGEM FITOQUÍMICA E OTIMIZAÇÃO DO EXTRATO DO *Anacardium occidentale* LINN.** [s.l: s.n.], 2021.

LEÃO, M. G. P.; VITALE, N. A. Estudo de substituição alternativa de polímeros petroquímicos. 2021.

LEI, Y.; WU, H.; JIAO, C. JIANG, Y.; LIU, R.; XIAO, D.; LU, J.; ZHANG, Z. SHEN, G.; LI, S. Investigation of the structural and physical properties, antioxidant and antimicrobial activity of pectin-konjac glucomannan composite edible films incorporated with tea polyphenol. **Food Hydrocolloids**, v. 94, p. 128–135, 2019.

LIM, B. K. H.; THIAN, E. S. Effects of molecular weight of chitosan in a blend with polycaprolactone and grapefruit seed extract for active packaging and biodegradation. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 34, p. 100931, 2022.

LUCHESE, C. L. **Desenvolvimento de embalagens biodegradáveis a partir de amido contendo subprodutos provenientes do processamento de alimentos.**

MACHADO, M. L. Q. UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA ENGENHARIA QUÍMICA. p. 55, 2021.

MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E.; YAMASHITA, F. Filmes de amido: produção, propriedades e potencial de utilização. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 1, p. 137, 2010.

MARTINS, M. J. S. Prospecção fitoquímica e avaliação da atividade antimicrobiana do extrato etanólico da casca do caule do cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) contra bactérias de importância médica. 2023.

ADILAH, Z. A. M.; JAMILAH, B.; HANANI, Z. A. N. Functional and antioxidant properties of protein-based films incorporated with mango kernel extract for active packaging. **Food Hydrocolloids**, v. 74, p. 207–218, 2018a.

ADILAH, Z. A. M.; JAMILAH, B.; HANANI, Z. A. N. Functional and antioxidant properties of protein-based films incorporated with mango kernel extract for active packaging. **Food Hydrocolloids**, v. 74, p. 207–218, 2018b.

MATHEUS, J. R. V.; SATORIVA, J. M.; BARONE, A. S.; ANDRADE, C. J.; FAI, A. E. C. Filmes biodegradáveis e agentes de reforço vegetais: Um enfoque em estudos brasileiros sob a ótica da economia circular. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 9, p. e49210918278–e49210918278, 2021.

MARVIZADEH, M. M.; OLADZADABBSABADI, N.; NAFCHI, A. M.; JOKAR, M. Preparation and characterization of bionanocomposite film based on tapioca starch/bovine gelatin/nanorod zinc oxide. **International journal of biological macromolecules**, v. 99, 2017.

NIRANJANA PRABHU, T.; PRASHANTHA, K. A review on present status and future challenges of starch based polymer films and their composites in food packaging applications. **Polymer Composites**, v. 39, n. 7, p. 2499–2522, 2018.

NUNES, M. R.; FILHO, J. G. A.; CRUZ, R. S.; COLARES, G. B. Avaliação da atividade antibacteriana da película de semente de cajueiro (*Anacardium occidentale* L.). **Research, Society and Development**, v. 11, n. 8, p. e27611821716–e27611821716, 2022.

ONGARATTO, G. C.; VITAL, A. C. P.; PRADO, I. N. DO. Embalagens ativas e inteligentes para proteção da carne e seus derivados: Revisão. **Pubvet**, v. 16, n. 4, p. 1–11, 2022.

ÖZEREN, H. D.; WEI, X.; NILSSON, F.; OLSSON, R. T.; HEDENQVIST, M. S. Role of hydrogen bonding in wheat gluten protein systems plasticized with glycerol and water. **Polymer**, v. 232, p. 124149, 2021.

PAVONI, J. M. F.; SANTOS, N. Z.; MAY, I. C.; POLLO, L. D.; TESSARO, I. C. Desenvolvimento de embalagens biodegradáveis de quitosana e avaliação do efeito da reticulação e do tratamento alcalino em suas propriedades / Development of biodegradable

chitosan packaging and evaluation of the effect of crosslinking and alkaline treatment in its properties. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 2, n. 2, p. 793–801, 2019.

PERON, T.; SANTOS, T. C. C.; SILVA, L. D. S.; ARRUDA, T. R.; JUNIOR, B.R. C. L. Embalagens ativas: uma alternativa para vegetais minimamente processados? **Research, Society and Development**, v. 11, n. 10, p. e469111033043–e469111033043, 2022.

PRIYADARSHI, R.; RHIM, J.-W. Chitosan-based biodegradable functional films for food packaging applications. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 62, p. 102346, 2020.

RIBEIRO, A. C. B. Filmes ativos de pectina e compostos fenólicos da casca da manga para aplicação em embalagens de alimentos. 2022.

RIBEIRO, A. C. B. UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ CENTRO DE CIÊNCIAS DEPARTAMENTO DE QUÍMICA ORGÂNICA E INORGÂNICA PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA. p. 100, [s.d.].

RIBEIRO-SANTOS, R.; ANDRADE, M.; MELO, N. R.; SANCHES-SILVA, A. Use of essential oils in active food packaging: Recent advances and future trends. **Trends in Food Science & Technology**, v. 61, p. 132–140, 2017.

RITCHIE, H.; ROSER, M. Plastic Pollution. **Our World in Data**, 2018.

ARRUDA, T. R.; BERNARDES, P. C.; MORAES, A. R. F.; SOARES, N. F. F. Natural bioactives in perspective: The future of active packaging based on essential oils and plant extracts themselves and those complexed by cyclodextrins. **Food Research International**, v. 156, p. 111160, 2022.

ROLIM, A. E.; CARVALHO, F. A. A.; COSTA, R. C. C.; ROSA, F. P. Chitosan Scaffolds - Physico-Chemical and Biological Properties for Bone Repair. **Revista Virtual de Química**, v. 10, p. 211–228, 2018.

SALARI, M.; KHIABANI, M. S.; MOKARRAM, R. R.; GHANBARZADEH, B.; KAFIL, H. S. Development and evaluation of chitosan based active nanocomposite films containing bacterial cellulose nanocrystals and silver nanoparticles. **Food Hydrocolloids**, v. 84, p. 414–423, 2018.

SARY, C.; CARBONERA, F.; VITAL, A. C. P.; GUERRERO, A.; LEWANDOWSKI, V.; VISENTAINER, J. V.; PRADO, I. N. DO; RIBEIRO, R. P. Clove (*Eugenia caryophyllus*) essential oil in diets for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) improves fillet quality. **Food Science and Technology**, v. 42, 2021.

SHAVISI, N.; SHAHBAZI, Y. Chitosan-gum Arabic nanofiber mats encapsulated with pH-sensitive Rosa damascena anthocyanins for freshness monitoring of chicken fillets. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 32, p. 100827, 2022.

SILVA, T. G.; GUERRA, I. C.; MESQUITA, J. A.; HERNANDES, T. Desenvolvimento de soluções filmogênicas para a produção de filmes biodegradáveis, comestíveis e com atividade antioxidante: Revisão Sistemática. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 7, p. e59511730139–e59511730139, 2022a.

SILVA, V. D. S.; SOARES, Y. B.; OLIVEIRA, A. C. OS BENEFÍCIOS DOS POLIFENÓIS E DIFERENTES CONCENTRAÇÕES PRESENTES NOS CHOCOLATES AMARGO, MEIO AMARGO E AO LEITE. **Anais do EVINCI - UniBrasil**, v. 8, n. 2, p. 127–127, 2022.

SILVA, A. E. S. E; ALMEIDA, S. S. M. S. E. Análise fitoquímica das cascas do caule do cajueiro (*Anacardium occidentale* L. – Anacardiaceae). **Estação Científica (UNIFAP)**, v. 3, n. 2, p. 81–88, 2015.

SILVA, I. D. L.; OLIVEIRA, F. S. M.; ANDRADE, M. F.; BRITO, A. M. S. S.; HALLWASS, F.; VINHAS, G. M. Avaliação das potencialidades dos extratos vegetais de jurema preta (*Mimosa tenuiflora*) e cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) para uso em embalagens ativas antimicrobianas e antioxidantes. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 26, 2021a.

SILVA, I. D. L. et al. Development of antioxidant active PVA films with plant extract of *Caesalpinia ferrea* Martius. **LWT**, v. 144, p. 111215, 2021b.

SILVA, M. J. B. et al. Amido – Uma revisão sobre os produtos biopoliméricos e suas derivações. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 12, p. e280111234470–e280111234470, 2022b.

SILVA, M. J. B.; ALVES, F. S.; QUEIROZ, R. N.; QUEIROZ, N. I. F.; LAGO, G. V. P.; PEREIRA, G. V. DA S.; MORAES, N. S.; PESSOA, M. M. S. REGO, J. A. R. DO; BRASIL, D. S. B. Amido – Uma revisão sobre os produtos biopoliméricos e suas derivações. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 12, p. e280111234470–e280111234470, 2022c.

SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 16, n. 3, p. 144–158, 1965.

STREIT, J.; GUARNIERI, P. Capítulo 6.4 - Inclusão social de catadores de materiais recicláveis: Estudo de caso em Arinos-MG. Em: [s.l: s.n.]. p. 447.

TESTA, P. A.; ROSA, K. R. DE; FAVERO, L. BIODIVERSIDADE: PRINCIPAIS AMEAÇAS E ALERTAS. **RETEC - Revista de Tecnologias**, v. 13, n. 1, 2020.

THAKUR, R.; PRISTIJONO, P. GOLDING, J. B.; STATHOPOULOS, C. E.; SCARLETT, C.; BOWER, M.; SINGH, S. P.; VUONG, Q. V. Effect of starch physiology, gelatinization, and retrogradation on the attributes of rice starch- $\kappa$ -carrageenan film. **Starch - Stärke**, v. 70, n. 1–2, p. 1700099, 2018.

VERLEE, A.; MINCKE, S.; STEVENS, C. V. Recent developments in antibacterial and antifungal chitosan and its derivatives. **Carbohydrate Polymers**, v. 164, p. 268–283, 2017.

VERMA, M. K.; SHAKYA, S.; KUMAR, P. MADHAVI, J.; MURUGAIYAN, J.; RAO, M. V. R. Trends in packaging material for food products: historical background, current scenario, and future prospects. **Journal of Food Science and Technology**, v. 58, n. 11, p. 4069–4082, 2021.

WADHAWA, G. C.; SHIVANKAR, V. S.; NAYAK, S. S.; PATIL, P. A.; ANGRE, A. P.; PATIL, P. G.; GAIKAR, P. S. Nano biopolymer for packing of food using leaves of *Fimbristylis tetragona*. **Materials Today: Proceedings**, 2nd International Conference on

Functional Material, Manufacturing and Performances (ICFMMP-2021). v. 50, p. 2536–2540, 2022.

WU, L. T.; TSAI, I. L.; HO, Y. C.; HANG, Y. H.; LIN, C.; TSAI, M. L.; MI, F. L. Active and intelligent gellan gum-based packaging films for controlling anthocyanins release and monitoring food freshness. **Carbohydrate Polymers**, v. 254, n. 117410, 2021.

YANG, W.; OWCZAREK, J. S.; FORTUNATI, E.; KOZANECKI, M.; MAZZAGLIA, A.; BALESTRA, G. M.; KENNY, J. M.; TORRE, L.; PUGLIA, D. Antioxidant and antibacterial lignin nanoparticles in polyvinyl alcohol/chitosan films for active packaging. **Industrial Crops and Products**, v. 94, p. 800–811, 2016.

ZHANG, H.; SABLANI, S. Biodegradable packaging reinforced with plant-based food waste and by-products. **Current Opinion in Food Science**, v. 42, p. 61–68, 2021.

ZHAO, Y; LI, B.; LI, C.; XU, Y.; LUO, Y.; LIANG, D.; HUANG, C. Comprehensive Review of Polysaccharide-Based Materials in Edible Packaging: A Sustainable Approach. **Foods**, v. 10, n. 8, p. 1845, 2021.

ZHOU, X.; LIU, X.; WANG, Q.; LIN, G.; YANG, H.; YU, D. CUI, S.W.; XIA, W. Antimicrobial and antioxidant films formed by bacterial cellulose, chitosan and tea polyphenol – Shelf life extension of grass carp. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 33, p. 100866, 2022.