



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, SOCIAIS E AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA
AGROALIMENTAR

DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE FILME
ANTIOXIDANTE DE SEMOLINA ADICIONADO DA
CASCA (CAULE E VAGEM) DE JATOBÁ (*Hymenaea*
***Courbaril.*).**

Flávia Cosmo Guedes da silva

Bacharel em Engenharia de Alimentos

Bananeiras

2023



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, SOCIAIS E AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA
AGROALIMENTAR

**Desenvolvimento e caracterização de filme
antioxidante de semolina adicionado da casca (caule e
vagem) de Jatobá (*Hymenaea Courbaril*).**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Agroalimentar do Centro de Ciências Humanas, Sociais e Agrárias, da Universidade Federal da Paraíba, como pré-requisito para obtenção do Título de Mestre em Tecnologia Agroalimentar.

Flávia Cosmo Guedes da Silva

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Angela M. Tribuzy de M. Cordeiro

Comitê de orientação: Dr^a. Cristiani Viegas Brandão Grisi

Bananeiras

2023

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S586d Silva, Flávia Cosmo Guedes da.
DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE FILME
ANTIOXIDANTE DE SEMOLINA ADICIONADO DA CASCA (CAULE E
VAGEM) DE JATOBÁ (HYMENAEA COURBARIL) / Flávia Cosmo
Guedes da Silva. - João Pessoa, 2023.
92 f.

Orientação: Angela Cordeiro.
Coorientação: Cristiani Grisi.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCHSA.

1. Embalagem biodegradável. 2. Embalagem ativa. 3.
Filme antioxidante. 4. Jatobá. I. Cordeiro, Angela. II.
Grisi, Cristiani. III. Título.

UFPB/BC

CDU 63 (043)

Elaborado por DAVID KILDER GOMES DA SILVA - CRB-CRB-15/887

Bananeiras

2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, SOCIAIS E AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA AGROALIMENTAR

PARECER DE DEFESA DO TRABALHO DE DISSERTAÇÃO

TÍTULO: Desenvolvimento e caracterização de filme antioxidante de semolina adicionado da casca (caule e vagem) de Jatobá (*Hymenaea Courbaril*)

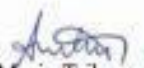
AUTOR: Flávia Cosmo Guedes da Silva

ORIENTADORA: Angela Maria Tribuzy de Magalhães Cordeiro

JULGAMENTO

CONCEITO: APROVADO

EXAMINADORES:


Prof. Dra. Angela Maria Tribuzy de Magalhães Cordeiro
Orientadora
Universidade Federal da Paraíba/UFPB


Dra. Michelle Félix de Andrade
Examinadora
Universidade Federal de Pernambuco/UFPE

 Documento assinado digitalmente
FÁBIO ANDERSON PEREIRA DA SILVA
Data: 08/03/2023 15:44:28 -0100
Verifique em: <https://verificador.br.br>

Prof. Dr. Fábio Anderson Pereira da Silva
Examinador
Universidade Federal da Paraíba/UFPB

Bananeiras, 28 de fevereiro de 2023

INFORMAÇÕES CURRICULARES DO AUTOR

Eu, Flávia Cosmo Guedes da Silva, solteira, natural da cidade de João Pessoa-PB, nascida no dia 19 de outubro de 1989, possuo graduação em Engenharia de Alimentos pelo Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba Campus I. Durante a graduação participei de alguns projetos de iniciação científica junto ao Laboratório de Biologia molecular de plantas (LBMP-UFPB), trabalhando com genética e micropropagação de plantas. Realizei estágio obrigatório do curso no laboratório de operações unitárias e secagem da UFPB campus I. Finalizando o curso de Engenharia de Alimentos, fiz meu TCC sobre a cinética do fermentado alcoólico da jabuticaba chapitalizado com mel de abelha. Entre a faculdade e vida empregatícia, trabalhei como atendente de Telemarketing.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus primeiramente, por essa graça alcançada, por me guiar, me fortalecer e sempre me manter resiliente. Com saúde, paz e compreensão sempre. Por mostrar-me o caminho a ser guiado ao longo da vida e de todos os obstáculos que surgem. Muito obrigada!

Agradeço a Minha mãe Fátima, por sempre existir no meu caminho e sempre estar do meu lado. com todo seu esforço e proteção. A pessoa que me fez hoje está nessa caminhada. Gratidão!

Agradeço aos meus familiares, em especial aos meus tios Gilvan e Rosevania sem vocês essa luta não seria a mesma. Obrigada por toda atenção, cuidado, ajuda e companheirismo. Por sempre possuir aquela palavra mágica, aquele conselho no momento certo, além de sempre estarem vibrando com todas nossas vitórias. Gratidão!

Agradeço a minha orientadora Prof^{fa}. Dr^a. Angela Cordeiro, por sua orientação, conselhos, ensinamentos, por sua disponibilidade, por sempre estar presente. Muito Obrigada!

Agradeço a minha coorientadora Dr^a. Cristiani Grisi, por estar sempre presente, muito obrigada por todos os ensinamentos ao longo dessa jornada, pelos conselhos, dica e sugestões sempre. Obrigada por ser essa pessoa tão solícita.

Agradeço aos Técnicos dos laboratórios do CTDR da UFPB e do campus I, por ajudarem sempre os alunos, obrigada pelos ensinamentos e companheirismo.

Agradeço a Fundação de apoio à pesquisa do Estado da Paraíba (FAPESQPB), pela bolsa concedida.

Á todos, meus eternos agradecimentos

*Levantarei os meus
olhos para os montes,
de onde vem o meu
socorro.
O meu socorro vem do
Senhor que fez o céu e
a terra.
Não deixará vacilar o
teu pé; aquele que te
guarda não
tosquenejará.
Eis que não
tosquenejará nem
dormirá o guarda de
Israel.
O Senhor é quem te
guarda; o
Senhor é a tua sombra
à tua direita.
O sol não te molestará
de dia nem a lua de
noite.
O Senhor te guardará
de todo o mal; guardará
a tua alma. O Senhor
guardará a tua entrada
e a tua saída, desde
agora e para sempre.*

Salmo 121.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AOAC – Association of Official Analytical Chemists

ASTM – American Society for Testing and Materials

CCJ – Casca do caule do Jatobá

CVJ– Casca da vagem do Jatobá

DSC – Calorimetria Diferencial de Varredura

DPPH – 2,2 Difenil – 1 – Picril – Hidrazil

DRX – Difração de raios-X

EAG – Equivalente de ácido gálico

FRAP – Método redutor de ferro

FH– Fator de Hausner

FTIR – Infravermelho por Transformada de Fourier

IC – Índice de compressibilidade

PVA – Permeabilidade ao vapor de água

TPTZ – 2,4,6 – tri 2-piridil – se – triazina

TG – Análise Termogravimétrica

RT – Resistência à tração

TCFT – teor de compostos fenólicos totais

ΔE – Diferença total da cor

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 01

Figura 1: Delineamento do projeto	19
Figura 2: Jatobá (<i>Hymenaea courbaril</i>): (A) árvore, (B) folha, (C) e (D) fruto imaturo, (E) fruto maduro e (F) sementes.....	31

CAPÍTULO 02

Figura 1: A) cascas da vagem, B) CCJ do Jatobá, C) Farinha da VJ, D) Farinha da CCJ do Jatobá.....	45
Figura 2: Espectros do FTIR do CCJ e do CVJ.....	54

CAPÍTULO 03

Figura 1: Extrato da casca da vagem e da casca do caule do jatobá	65
Figura 2: Fluxograma da produção dos filmes biodegradáveis.	67
Figura 3: Análise de permeabilidade ao vapor de água.....	72
Figura 4: gráfico dos perfis do valor previsto e a desejabilidade	77
Figura 5: Gráficos de Superfícies de Respostas e de Pareto, RT, PVA, FRAP, COMPOSTOS FENOLICOS e DPPH.....	78
Figura 6: Gráficos do DSC.	82
Figura 7 : curvas do DRX.....	83
Figura 8: espectros por FTIR.	84
Figura 9: Curvas do TGA.....	85

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 02

Tabela 1: Composição proximal	51
Tabela 2: Densidade aparente, compacta e real, índice de Carr e fator de Hausner.....	54
Tabela 3: Propriedades de hidratação, absorção de óleo e Ph.....	56
Tabela 4: Compostos fenólicos e atividade antioxidante dos extratos.....	57

CAPÍTULO 03

Tabela 1: Matriz do planejamento experimental.....	54
Tabela 2: Propriedades mecânicas e antioxidantes: RT- resistência à tração, PVA- permeabilidade ao vapor de água, TFT- teor de compostos fenólicos, DPPH e FRAP – atividade antioxidantes.....	57
Tabela 3: Propriedades do filme otimizado e controle	58
Tabela 4: dados referentes a estabilidade térmica.	87

Sumário

CAPÍTULO I – Considerações Gerais.....	15
1. INTRODUÇÃO	15
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	18
2.1 Embalagens para alimentos.....	18
2.2 Biopolímeros utilizados em embalagens degradáveis.....	19
2.3 Amido	21
2.3.1 Semolina.....	21
2.4 Pectina	23
2.5 Embalagem ativa antioxidantes.....	24
2.6 Aditivos naturais.....	26
2.7 Jatobá (<i>Hymenaea courbaril</i> L.)	27
3. DELINEAMENTO METODOLÓGICO	30
REFERÊNCIAS.....	32
1. INTRODUÇÃO	41
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	43
2.1 Material	43
2.2 Métodos	43
2.2.1 Obtenção do farelo do Jatobá.....	43
2.2.2 Composição proximal	44
2.3 Potencial hidrogeniônico (pH)	44
2.4 Densidades aparente	44
2.5 Densidade compactada.....	45
2.6 Densidade real	45
2.7 Índice de compressibilidade ou índice de Carr.....	46
2.8 Fator de Hausner	46
2.9 Higroscopicidade.....	46
2.10 Solubilidade em água.....	47
2.10 Capacidade de absorção de água e óleo.....	47
2.11 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE COMPOSTOS FENÓLICOS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE.....	48
2.11.1 Elaboração da extração vegetal	48
2.11.2 Compostos fenólicos	48
2.11.3 Atividade antioxidante por DPPH	48
2.11.4 Avaliação da atividade antioxidante por FRAP	49

2.12	Espectroscopia na região do infravermelho	49
2.13	Análise estatística	50
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
3.1	Composição proximal	51
3.2	Espectros de FTIR	53
3.3	Densidade, índice de Carr e fator de Hausner	54
3.4	Higroscopicidade, solubilidade, absorção em água e em óleo, atividade de água e pH	55
3.5	Atividade antioxidante e os compostos fenólicos	57
4.	CONCLUSÃO	59
	REFERÊNCIAS	60
1	INTRODUÇÃO	63
2	MATERIAL E MÉTODOS	65
2.1	Material	65
2.2	Métodos	65
2.2.1	Elaboração dos extratos vegetais	65
2.2.2	Obtenção do extrato pectinoso do maracujá amarelo	66
2.2.3	Preparo do açúcar invertido	66
2.2.4	Elaboração dos filmes	66
2.3	CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES	69
2.3.1	Teor de fenólicos totais e atividade antioxidante dos filmes	69
2.3.1.1	Compostos fenólicos	69
2.3.1.2	Atividade antioxidante por DPPH	69
2.3.1.3	Avaliação da atividade antioxidante por FRAP	70
2.3.2	Espessura	70
2.3.3	Propriedades mecânicas	70
2.3.4	Permeabilidade ao vapor de água (PVA)	71
2.3.5	Solubilidade do filme em água	71
2.3.6	Colorimetria	72
2.4	ANÁLISE DE ESTABILIDADE TÉRMICA	72
2.4.1	Análise termogravimétrica (TGA)	72
2.4.2	Calorimetria diferencial de varredura (DSC)	72
2.4.3	Espectroscopia na região do infravermelho (FTIR)	73
2.4.4	Difração de raios-X (DRX)	73
2.5	DEGRADABILIDADE	73
2.6	ANÁLISES ESTATÍSTICAS	74

3	RESULTADOS E DISCUSSÕES	75
3.2	Resultados da otimização	79
3.3	PROPRIEDADES TÉRMICAS	82
3.3.1	Calorimetria diferencial de varredura (DSC)	82
3.3.2	Curvas da Termogravimétrica (TGA)	83
3.4	Método de difração de raio X	84
3.5	Espectrofotometria por FTIR dos filmes	85
3.6	TESTE DE DEGRADABILIDADE	86
6	CONCLUSÃO	87
	REFERÊNCIAS	88

Desenvolvimento e caracterização de filme antioxidante de semolina adicionado da casca (caule e vagem) de Jatobá (*Hymenaea courbaril*).

RESUMO: As embalagens são utilizadas como uma ferramenta para a conservação dos alimentos, tornando-se uma tecnologia fundamental para garantir a segurança da cadeia de distribuição. Novas tecnologias atualmente ganham espaço no meio científico com a finalidade de atender a demanda do consumidor, minimizando os impactos ambientais, reduzindo o uso de aditivos químicos, utilizando diversas matrizes naturais e biodegradáveis. Nesse contexto, o objetivo desse trabalho foi avaliar o uso de uma nova matriz polimérica composta por amido de semolina e extrato pectinoso de maracujá como base polimérica, açúcar invertido, e sacarose, como plastificantes, e extrato das cascas (caule e vagem) do jatobá como um aditivo antioxidante, para assim, obter uma embalagem ativa com eficácias antioxidantes. Na primeira etapa do experimento, foi realizada a secagem e trituração das cascas do caule e da vagem do jatobá obtendo-se as farinhas, as quais foram investigadas quanto a composição proximal e propriedades tecnológicas. E posteriormente elaborou-se os extratos e avaliou seu potencial antioxidante. Na segunda etapa foi realizada a elaboração de filmes biodegradáveis pela técnica de casting a partir da farinha de semolina adicionadas de diferentes concentrações de extratos de jatobá como aditivo antioxidante utilizando método de superfície de resposta em um planejamento fatorial 2x2*.O filme apresentou características satisfatórias para a produção de um filme biodegradável ativo antioxidante. Sendo as condições otimizadas na faixa de 0,5% da casca do caule e 0,5% da casca da vagem do jatobá, nessas condições o filme apresentou-se homogêneo, de cor vermelho tijolo, com estabilidade térmica atingindo a temperatura máxima de 350°C, ótima atividade antioxidante e teor de compostos fenólicos, além de apresentar baixa solubilidade e permeabilidade ao vapor de água, sendo um também um material biodegradável ativo. Esse filme poder ser indicado para uma embalagem primária de frutas ou legumes.

Palavras - chave: Embalagem Biodegradável, Embalagem ativa, Filme antioxidante, Jatobá.

Development and characterization of antioxidant film of semolina added from the bark (stem and pod) of Jatoba (*Hymenaea courbaril*).

ABSTRACT: Packaging is used as a tool for food conservation, becoming a key technology to ensure the safety of the distribution chain. New technologies are currently gaining ground in the scientific community in order to meet consumer demand, minimizing environmental impacts, reducing the use of chemical additives, using various natural and biodegradable matrices. In this context, the objective of this work was to evaluate the use of a new polymer matrix composed of semolina starch and pectinous extract of passion fruit as a polymer base, invert sugar and sucrose as plasticizers, and extract of the bark (stem and pod) of jatobá as an antioxidant additive, in order to obtain an active package with antioxidant efficacy. In the first stage of the experiment, the drying and grinding of the bark of the jatobá stem and pod was carried out, obtaining the flours, which were investigated regarding their proximal composition and technological properties. And later, the extracts were elaborated and their antioxidant potential was evaluated. In the second stage, biodegradable films were prepared using the casting technique from semolina flour added with different concentrations of jatobá extracts as an antioxidant additive using the response surface method in a 2x2* factorial design. the production of an antioxidant active biodegradable film. As the conditions were optimized in the range of 0.5% of the bark of the stem and 0.5% of the bark of the jatobá pod, under these conditions the film was homogeneous, brick red in color, with thermal stability reaching a maximum temperature of 350 °C, excellent antioxidant activity and content of phenolic compounds, in addition to presenting low solubility and permeability to water vapor, being an active biodegradable material. This film can be indicated for a primary packaging of fruits or vegetables.

Keywords: Active packaging, Antioxidant film, Biodegradable Packaging, jatobá.

CAPÍTULO I – Considerações Gerais

1. INTRODUÇÃO

A importância da embalagem na cadeia de abastecimento alimentar é plenamente reconhecida. Nos últimos anos, pesquisas levaram a criação de novos materiais plásticos biodegradáveis inovadores e ambientalmente corretos para atender às características do produto e às necessidades do consumidor (GOUVEIA et al., 2019; RODRIGUES et al., 2021; ALVES-SILVA et al., 2022).

O desenvolvimento de filmes comestíveis e/ou biodegradáveis é uma alternativa para a substituição total ou parcial de polímeros sintéticos na fabricação de embalagens, tem levado a indústria a buscar inovações para o uso de novos materiais de embalagem. Alguns polímeros naturais biodegradáveis, geralmente mais utilizados na elaboração de embalagens flexíveis de alimentos, são derivados de proteínas, lipídios e polissacarídeos (ESPITIA et al., 2014; DICK et al., 2015; FERNANDES et al., 2015; EVANGELHO et al., 2019; ALVES-SILVA et al., 2022).

Várias pesquisas trazem a viabilidade do uso de fontes poliméricas aplicadas no desenvolvimento de embalagens biodegradáveis. Podem ser originados de fontes vegetais, por exemplo: a Batata doce (YONG et al., 2019), semente de toranja (WANG et al., 2019), feijão mungo com casca de romã (MOGHADAM et al., 2020), romã, jaca e mamão (HANANI et al., 2018), casca de amendoim (MENG et al., 2020), casca de abacaxi (KUMAR et al., 2021), proteína de soja (HAN et al., 2018), casca da manga (ADILAH et al., 2018), com fontes animais, como a casca do camarão (ARANCIBIA et al., 2015), quitosana (BREDA et al., 2017; MENG et al., 2020; XU et al., 2019), soro do leite (FERNANDES et al., 2015), entre outros.

Dentre os polímeros naturais, o amido é uma excelente alternativa para a produção de materiais de embalagens poliméricas pelas suas propriedades filmogênicas. Isso também é devido à grande disponibilidade deste composto em escala mundial, alto rendimento de extração e valor nutricional, baixo custo, biodegradabilidade, biocompatibilidade, além de ser comestível. São inúmeras as

fontes vegetais disponíveis para extração de amido, a exemplo de milho, trigo, arroz, mandioca e batata (SHAH et al., 2016; WANG et al., 2019; RODRIGUES et al., 2021).

A farinha de semolina (*Triticum durum*) é proveniente do trigo duro moído sendo um subproduto bastante utilizado pelas indústrias alimentícias no preparo de massas como o macarrão ou em produtos de panificação. Mais recentemente, foi direcionada para aplicação em filmes de embalagem ativa. O estudo realizado por Jafarzadeh e colaboradores (2018), mostraram que filmes compostos por nano compósitos à base de semolina e incorporados com nano argila de ZnO e caulim garantiram a qualidade de queijo muçarela durante 72 dias de armazenamento. O filme produzido apresentou boas propriedades mecânicas e de barreira de gás, garantindo um armazenamento eficaz e adequado do queijo.

No entanto, o uso do amido por si só não é suficiente para formar filmes rígidos ou elásticos com boas propriedades de barreira e mecânicas, sendo necessário adicionar plastificantes como o glicerol, pectina, sacarose, açúcar invertido, entre outro, para modificar e/ou melhorar suas propriedades (ESPITIA et al., 2014; HAN, 2014). Combinado com a necessidade de embalagens biodegradáveis, a demanda por produtos alimentícios seguros e de alta qualidade, com quantidades reduzidas de conservantes químicos na composição, e o aumento da vida de prateleira, tem impulsionado a pesquisa por novas fontes de aditivos naturais aplicados nas embalagens (VERGIS et al., 2015; MENG et al., 2020).

Compostos bioativos com efeitos antioxidantes podem ser obtidos pela incorporação de extratos vegetais (XU et al., 2019), como plantas da Caatinga (SANTANA NETO et al., 2022) e do Cerrado (BREDA et al., 2017; ALVES-SILVA et al., 2022). Além disso, vários estudos enfatizam a rica composição bioativa em produtos de origem vegetal, evidenciando maior teor de fitoquímicas em cascas, sementes e bagaços, do que na polpa (SOUSA et al., 2011; ADILAH et al., 2018; FELIX et al., 2018; MOGHADAM et al., 2020; SANTANA NETO et al., 2022).

Reconhecido pelas propriedades benéficas à saúde, a espécie *Hymenaea*, conhecido popularmente como jatobá, se destaca pelo potencial antioxidante, antimicrobiano, antiviral e antifúngico. Seu fruto e cascas tem importância econômica e social, porém tem sido pouco explorado. A casca do caule do jatobá é utilizada como chá e a polpa é consumida in natura (ROCHA et al., 2018). De composição distinta da

polpa (12,32% de proteínas, 1,94% de lipídios e 31,20% carboidratos) e na semente (5,78% de lipídios, 11,32% de proteínas e de carboidratos 8,81%), além de rico em flavonoides, taninos, ácidos graxos e fenólicos, procianidinas e cumarinas (DIAS et al., 2013; BONIFACE et al., 2017). A polpa do fruto do jatobá foi investigada para o desenvolvimento de filmes biodegradáveis como embalagens ativas (ALVES-SILVA et al., 2022).

Diante do exposto, é relevante o aproveitamento de produtos vegetais de forma a agregar valor, e oferecer novos produtos em harmonia com o meio ambiente. Assim, este estudo investiga o efeito da aplicação dos extratos antioxidantes da casca do caule e da vagem do jatobá nas propriedades físico-químicas, mecânicas, térmicas, de permeabilidade vapor de água e degradabilidade dos filmes a base de semolina, como uma embalagem ativa.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Embalagens para alimentos

As embalagens convencionais utilizadas na indústria de alimentos são provenientes de materiais poliméricos derivados do petróleo, sendo essas embalagens não degradáveis e demoram anos para se decompor devido a sua estabilidade e durabilidade. Geralmente passam cerca de 50 anos ou até mais para desintegrar totalmente, isso gerando resíduos e consequentemente afetando o equilíbrio do meio ambiente (CUI et al., 2021; DEBNATH et al., 2022; JAFARZADEH et al., 2020).

Conforme, a RDC ANVISA nº 91/2001 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (BRASIL, 2001), classifica-se embalagem para alimentos como sendo um “artigo que está em contato direto com alimentos, destinado a contê-los, desde a sua fabricação até a sua entrega ao consumidor, com a finalidade de protegê-los de agente externos, de alterações e de contaminações, assim como de adulterações”.

O principal objetivo das embalagens é proteger o produto, com a finalidade de preservar as características do alimento, por meio das propriedades de barreira e também referente aos fatores ambientais como exemplo a resistência à água, luz, oxigênio, a transferência de líquidos e gases, além de possuir um bom atributo mecânico e vedação a quente para assim manter a segurança e qualidade dos produtos alimentícios desde o seu processamento até ao consumidor final (ANDRADE et al., 2022; LANDIM et al., 2016).

No entanto à medida que a sociedade está se tornando cada vez mais complexa, os usuários (produtores de alimentos, processadores de alimentos, operadores logísticos, varejistas e consumidores) demandam continuamente embalagens de alimentos inovadoras e criativas para garantir a segurança, qualidade e rastreabilidade dos alimentos (VANDERROOST et al., 2014; ARROYO et al., 2019). Os grandes desafios atuais e futuros necessários para embalagens de bens de consumo de rápida movimentação incluem legislação, mercados globais, vida útil mais longa, conveniência, alimentos mais seguros e saudáveis, preocupações ambientais,

autenticidade e desperdício de alimentos (KERRY, 2014; REALINI & BEGONYA, 2014).

Nesse sentido, a tecnologia de embalagens de alimentos está evoluindo continuamente em resposta aos crescentes desafios de uma sociedade moderna, incluindo mudanças no uso de materiais que geralmente são derivados de petróleo e causam problemas no descarte de resíduos. Por isso, o desenvolvimento de novas técnicas de armazenamento de alimentos inclui revestimentos e filmes comestíveis, que apresentam potencial para substituir as embalagens convencionais, contribuindo para aumentar a vida de prateleira e garantir a qualidade e segurança dos alimentos (ARROYO et al., 2019).

Novos estudos avançam com embalagens inteligentes e ativas, ecologicamente corretas, provenientes de matrizes biodegradáveis compostas de polissacarídeos, proteínas, lipídios além de possibilitar também a incorporação de aditivos visando sempre melhorar as propriedades e características de cada filme desenvolvido. Essas inovadoras matrizes poliméricas biologicamente ativas permitem a formação de filmes com propriedades de barreiras eficientes, com possibilidades de melhorar a resistência mecânica, melhorar a estabilidade microbiológica e a estabilidade oxidativa dos alimentos embalados (AKHTER et al., 2019; CAZON et al., 2017; DE LIMA SILVA et al., 2021; WONGPHAN et al., 2022).

2.2 Biopolímeros utilizados em embalagens degradáveis

As embalagens degradáveis podem ser chamadas ou caracterizadas como filmes e revestimentos. A diferença é que os filmes são camadas preparadas separadamente por vazão ou secagem em formas adequadas como estruturas independentes. São usados para embrulhar os alimentos ou podem também ser colocados em camadas entre os produtos alimentícios. Já o revestimento é uma fina camada do material que pode ser aplicada diretamente no produto alimentício, podendo atuar como uma barreira entre os ambientes do produto durante o transporte, processamento e armazenamento. Onde o revestimento é aplicado mergulhando o produto na solução ou pulverizando diretamente sobre a superfície do produto alimentício (AMIN et al., 2021).

Nesse contexto, a aplicação de filmes à base de fontes renováveis (biopolímeros) em produtos alimentícios pode oferecer oportunidades para desenvolver novos sistemas de embalagem de alimentos. São relativamente rígidos e apresentam forte caráter hidrofílico em comparação com os filmes de embalagem convencionais. Além disso, os filmes biodegradáveis podem reduzir os problemas ambientais (CANZON et al., 2017; TADJIQUE et al., 2013; DE OLIVEIRA FILHO et al., 2019).

Atualmente, os polissacarídeos, macromoléculas abundantes na natureza, acessíveis, não tóxicos, resistentes a altas temperaturas, classificados como moléculas de atividades biológicas complexas, despertam grande atenção na área de alimentos para o desenvolvimento de pesquisas (BISHNOI et al., 2022; ZHOU et al., 2022). Dentre os principais polissacarídeos, comercialmente importantes, obtidos naturalmente, utilizados para produção de filmes e revestimentos comestíveis, destacam-se o amido, a celulose, a pectina, goma de guar, goma de alfarroba, goma de tara, goma de cássia, goma de tamarindo, konjac manano, goma arábica, goma karaya, goma ghatti e goma tragacanto (REICHEMBACH et al., 2021).

A quitosana é reconhecida como um biomaterial promissor para uso nas áreas de engenharia biomédica, para as embalagens de alimentos, cosméticos e agricultura. Isso é devido à sua boa biodegradabilidade, não toxicidade biológica e propriedades filmogênicas. Podendo assim formar películas ou revestimentos comestíveis nos alimentos, cuja principal função é proteger o produto de fatores externos. Contudo, filmes feitos a partir de polímeros naturais que possuem altas propriedades mecânicas possuem também uma boa barreira contra o oxigênio (SADY et al., 2021).

A celulose é o biopolímero mais abundante existente e pode ser obtido comercialmente de uma variedade de fontes, incluindo a madeira, algodão e outras fibras vegetais. A celulose é insolúvel em água, o que limita sua aplicação em muitos alimentos. Possuem nanoestruturas que vem sendo exploradas pelo seu potencial de utilização em várias áreas de aplicações industriais devido aos seus atributos funcionais vantajosos, como baixa densidade, baixo custo, não abrasividade, resistência ao fogo, ausência de toxicidade e biodegradabilidade (ALIZADEH-SANI et al., 2020).

2.3 Amido

O interesse pelos biopolímeros decorre de suas vantagens, como boa biodegradabilidade, biocompatibilidade, respeito ao meio ambiente, disponibilidade e até comestibilidade (MONTOLLE et al., 2021). Sendo o amido uma matéria-prima promissora que apresenta essas características.

O amido é um polímero que se encontra em matérias primas vegetais e desempenham uma propriedade de reserva. Localiza-se no interior de pequenos grânulos, cujo tamanho e aparência podem variar conforme sua fonte vegetal. Os grânulos são constituídos de traços de lipídios e proteínas, mas principalmente por dois polissacarídeos diferentes: um de estrutura linear que é a amilose e o outro de estrutura ramificada conhecida como a amilopectina. Sendo a amilose responsável pelas propriedades de formação de filme do amido (CANZON et al., 2017; ORDÓÑEZ E COLABORADORES, 2005).

Lima (2010), define pela legislação Brasileira o amido como sendo o produto amiláceo extraído das partes aéreas comestíveis dos vegetais. Embora seja uma fonte vegetal de ampla ocorrência na natureza, a extração econômica em grande escala é limitada a alguns vegetais, como: milho, mandioca, trigo e batata.

O amido possui propriedades físicas, químicas, enzimáticas e genéticas que agregam novas características na produtividade e qualidade na Gelatinização, colagem e retrogradação (JASKIEWICZ et al., 2020). Contudo, possui limitações em termos das propriedades mecânicas do material, necessitando de um possível plastificante com alta mobilidade e baixo peso molecular, sendo aplicados para melhorar a flexibilidade e processabilidade de materiais à base de amido (LIU et al., 2021; ZHOU et al., 2019).

2.3.1 Semolina

A semolina ou sêmola é a farinha de cereais parcialmente moída e purificada. O termo é principalmente utilizado para designar uma farinha grossa de trigo duro, mas também é designado o termo utilizado para farinhas grossas de outras variedades de trigo, assim como para farinhas grossas de arroz e milho. A semolina é

usada principalmente para o preparo de massas e cuscuz. Além disso, é utilizada no preparo das massas curtas como rigatoni e massas longas como espaguete (ERBAS et al., 2005; LICCIARDELLO et al., 2013; FIRMANI et al., 2020).

No Brasil as farinhas são classificadas como sendo uma farinha integral, com (95 % de extração), farinha comum (80% de extração), farinha especial (70% de extração) e sêmolas. Na qual as sêmolas são obtidas com 80% de extração, retiradas nos sensores com granulometria para passar nas peneiras 20 e serem retiradas nas peneiras 40. As semolinas são obtidas como as sêmolas, com granulometria para passar nas peneiras 40 e serem retiradas nas peneiras 60 (URGEL, 2010).

Jafarzadeh e colaboradores (2017), estudaram o melhoramento das funções físicas e protetoras de sêmola, incorporando uma mistura de nanocargas (ZnO-nr e nano-caulim). O desenvolvimento de um novo filme antimicrobiano foi desenvolvido e obtido uma atividade antibacteriana contra as bactérias Gram-negativas deteriorantes de alimentos conhecido como a *Escherichia coli* (E.coli).

Outro estudo produziu filmes nanocompósitos antimicrobianos à base de sêmola usando nanoargila de ZnO e caulim com diferentes proporções e foram utilizadas para embalagens de queijo muçarela. A propriedade mecânica e de barreira de gás dos filmes de sêmola tiveram aumentos pela incorporação dos nanomateriais. Especialmente, os filmes de nanocompósitos com incorporação de ZnO exibiram forte atividade antimicrobiana contra bactérias (*E. coli* e *Staphylococcus aureus*), levedura (*Candida albicans*) e mofo (*Aspergillus niger*). O armazenamento a longo prazo manteve a qualidade do queijo muçarela embalado com filmes à base de semolina contendo ZnO, pois inibiram o crescimento de microrganismos, além de apresentar altas propriedades sensoriais do queijo (JAFARZADEH et al., 2018).

Jafarzadeh e colaboradores (2018), estudaram também as propriedades físico-químicas e microestruturais do filme de sêmola com diferentes concentrações de sorbitol e glicerol, onde demonstrou uma relação direta na medida que o teor de plastificante aumentava, a permeabilidade ao vapor de água e ao oxigênio, a resistência à tração e o módulo de elasticidade dos filmes de semolina diminuiriam, enquanto sua solubilidade em água, o teor de umidade e alongamento na ruptura aumentaram. Filmes à base de semolina exibiram excelente absorção de luz ultravioleta e a adição de plastificantes melhorou as propriedades ópticas. Esses

estudos demonstram que a farinha de sêmola tem potencial para o preparo de filmes ativos e sua utilização em embalagens para alimentos.

2.4 Pectina

Os plastificantes são moléculas de tamanho pequeno, tais como os polióis, glicerol e sorbitol. Esses que alternam entre as cadeias de polímeros, quebram as ligações de hidrogênio e distribuem a mobilidade das cadeias poliméricas, o que aumenta a flexibilidade dos filmes. Isso leva a diminuir a temperatura de transição vítrea e maior permeabilidade de vapor de água e gás (JHA, 2020).

Após a celulose, a pectina é um dos polissacarídeos mais abundantes na natureza, é industrializada a partir de algumas matérias-primas, como exemplo, a casca cítrica, bagaço da maçã e de subprodutos procedentes de indústrias de sucos. Com a crescente demanda por ingredientes de base natural para a produção de alimentos saudáveis, aponta-se a necessidade de crescimento e desenvolvimento de pesquisas com utilização de pectinas e seu reaproveitamento agroindustrial (REICHEMBACH et al., 2021).

É considerada um biopolímero eficaz na fabricação de filmes comestíveis agregando propriedades de dureza, características muco adesivas, bioadesivas e ainda atuando com uma excelente barreira ao O₂ (AKHTER et al., 2019).

Vasco-correa & zapata (2017), relatam que a pectina possuir alto teor de metoxila precisam de uma alta concentração de açúcar e baixo pH para formar géis, por isso são usadas principalmente para geleias e conservas, mas também são comumente empregadas como estabilizantes de produtos lácteos ácidos e além de controlar a viscosidade em bebidas. A pectina com baixo teor de metoxila formam géis na presença de íons cálcio, sem necessidade de teor de açúcar, por isso são usadas para produtos com baixo teor de açúcar e sem açúcar, bem como produtos lácteos.

Um subproduto agroindustrial descartado é a casca do maracujá que apresenta grande potencial para processamento industrial e extração de pectinas (10 a 20 g/100 g de casca (matéria seca) (LIN et al., 2021). Outra fonte de pectina cítrica é derivada da casca de laranja (LI, et al., 2021).

Sani & colaboradores (2021), estudaram a pectina obtida da casca da maçã e produziram um filme composto à base de fécula da batata e adicionando nanopartículas de ZrO_2 e óleo essencial de *Zataria multiflora* microencapsulado. Esse filme foi utilizado para embalar a carne de codorna o que prolongou o tempo de prateleira. Nguyen & colaboradores (2022), estudaram a caracterização e a atividade antibacteriana de filmes compostos por quitosana e pectina da casca do maracujá incorporados ao extrato de folha de *Piper betle* L. para a conservação de berinjela roxa. Esse filme apresentou excelente atividade bacteriana possuindo potencial para utilização como embalagem ativa.

Roy & rhim (2021), formularam filmes funcionais à base de pectina/ágar integrados com nano pétalas de sulfeto de zinco para aplicações em embalagens ativas. A interação entre esses componentes melhorou as propriedades físicas sem alterar a transparência do filme, além disso, apresentou intensa atividade antibacteriana.

2.5 Embalagem ativa antioxidantes

As principais direções na pesquisa de embalagens de alimentos são voltadas para melhorias na qualidade e segurança dos alimentos. Adicionalmente, para atender às preferências e expectativas dos consumidores, as características desenvolvidas para as embalagens ativas têm recebido uma atenção maior gradativamente. Logo, novas estratégias de produção com novas matérias para esse tipo de embalagens representam uma área chave de desenvolvimento em novos materiais multifuncionais onde o uso de aditivos naturais está ganhando cada vez mais interesse e aplicação (YAO et al., 2022).

A embalagem ativa é um sistema que melhora as características funcionais através da absorção de compostos indesejados ou liberação de agentes ativos por meio de interações físicas, químicas ou biológicas. A incorporação de extratos vegetais pode conferir determinadas propriedades nesse tipo de embalagem, tais como antioxidantes e antimicrobianas, e assim prolongar a vida útil dos alimentos embalados (AZMAN et al., 2022; TYMCZEWSKA et al., 2021).

O sistema de embalagem de liberação é um tipo de embalagem ativa, na qual as substâncias ativas atingem a superfície do alimento ou o invólucro superior por difusão para inibir o crescimento microbiano ou a oxidação lipídica dos alimentos. A taxa de liberação de algumas substâncias ativas ao longo do tempo pode ser regulada por meio de algumas tecnologias para que suas concentrações na superfície dos alimentos possam ser mantidas para evitar a oxidação e deterioração dos alimentos, e prolongando a vida útil (KUAL et al., 2021).

Ahmed et al., (2022), estudaram as características desse tipo de embalagens que podem ser o primeiro sistema de eliminação ou absorção conhecido também como empacotamento não migratório, que incluem os removedores ou absorvedores de qualquer componente gasoso da embalagem para conservar os produtos embalados frescos e com vida útil prolongada. Segundo temos o sistema de embalagem de emissão ativa, que funciona como um tipo de emissor dos gases que se deseja manter no produto embalado e assim preservar a sua qualidade.

Dentro da classe das embalagens ativas, temos as chamadas embalagens antioxidantes. Onde as reações oxidativas que ocorrem nos alimentos é uma das principais causas de deterioração alimentícia. Elas são responsáveis por alterações estruturais, sabor, odor, cor e perda da qualidade nutricional. Um meio de retardar essas reações oxidativas é o uso de embalagens ativas antioxidantes que podem liberar para o alimento o aditivo antioxidante (DI GIUSEPPE et al., 2022).

Os materiais ativos com propriedades antioxidantes são de grande relevância, pois inibem as reações de oxidação indesejadas, que levam à degradação dos alimentos. Esses materiais utilizados em embalagens biodegradáveis apropriadas para produtos alimentícios, são compostas principalmente por biopolímeros incorporados com agentes bioativos naturais (YILMAZ et al., 2022).

Talón et al., (2017), estudou o extrato de tomilho, como uma fonte de polifenóis naturais para o desenvolvimento de antioxidantes aplicados em filmes utilizados na conservação dos alimentos. Rodrigues et al., (2021), preparam filmes ativos e revestimentos de amido de frutas e extrato fenólico da casca do caule do jatobá de *Spondias purpurea* L. O extrato apresentou alta atividade antioxidante e antimicrobiana contra bactérias Gram-negativas e Gram-positivas. O extrato alterou significativamente as propriedades do filme, como a redução gradativa do módulo da

elasticidade e resistência à tração, o alongamento e a opacidade dos filmes apresentaram as propriedades ativas antioxidantes e absorventes de UV.

Ju & song (2019), analisaram um filme biodegradável, sendo desenvolvido a partir de amido de *teff* (*Eragrostis tef*) contendo extrato de camu-camu como material de embalagem antioxidante. Eles obtiveram boas propriedades mecânicas e de barreira ao vapor d'água, e ótimo bloqueio a luz UV e boa atividade antioxidante.

Ma et al., (2022), estudaram um filme antioxidante a base de amido, polifenóis da casca de batata e nanopartículas de quitosana. O filme apresentou uma excelente atividade antioxidante, uma vez que diminuiu a oxidação do queijo e prolongou a vida de prateleira.

Piñeros-hernandez et al., (2017), pesquisaram filmes para embalagens ativas comestíveis à base de fécula de mandioca, glicerol e polifenóis naturais extraídos de folhas de alecrim. Wenbo et al., (2020), estudaram a capacidade antioxidante de extratos de casca e pele de amendoim e seus efeitos sobre as propriedades físicas e estruturais do filme a base de amido e quitosana.

2.6 Aditivos naturais

Os vegetais são fontes de fitoquímicas, ricos em polifenóis e flavonoides, com comprovadas ações bioativas. Portanto, os extratos vegetais são considerados aditivos para filmes de embalagens biodegradáveis, isso porque também podem ajudar a prevenir a oxidação lipídica e a deterioração microbiana nos alimentos (MEDINA-JARAMILLO et al., 2017; PIÑEROS-HERNANDEZ et al., 2017).

Os extratos de ervas aromáticas, especiarias e plantas medicinais são usados para conferir sabor e propriedades funcionais aos produtos alimentícios. Algumas das propriedades apresentadas pelos extratos vegetais incluem antioxidante, antiulcerogênico, antimalárico, anticancerígeno e anti-inflamatório, entre outros. Em particular, a atividade antioxidante dos extratos vegetais é atribuída principalmente à presença de compostos fenólicos, voláteis e não voláteis, como flavonoides, ácidos fenólicos e terpenos (VEGGI et al., 2014).

Entre os diversos tipos de aditivos, os compostos fenólicos são constantemente os mais selecionados. Pois é um grupo bastante difundido e universal de antioxidantes

naturais e compostos antibacterianos que provem de fontes vegetais além de serem seguros para a aplicação em embalagens biodegradáveis (WU et al., 2020).

Adilah et al., (2018), trabalharam com extratos da casca de manga (*Mangifera indica* L.); Vargas-Torrico et al., (2022), estudaram o extrato de abacate com aplicação em filmes; De lima silvia et al., (2021), estudaram o extrato da *Caesalpinia férrea martius*; Yun et al., (2022), estudaram extrato bruto de *Loropetalum chinense* var.; Wang et al., (2019), pesquisaram a aplicação do extrato de tegumento de semente de soja preta de em filmes a base de quitosana; Luzi et al., (2022), aplicaram extrato de *Lemna minor* em filmes biodegradáveis.

São muitos estudos que buscam nos vegetais fontes de substâncias bioativas para serem incorporados em matrizes poliméricas para o desenvolvimento de embalagens biodegradáveis e ativas.

2.7 Jatobá (*Hymenaea courbaril* L.)

O Brasil não só possui um dos maiores níveis de biodiversidade do mundo, como também possui várias espécies de plantas com potenciais e efeitos fitoterápicos com alto valor econômico elevado (VEGGI et al., 2014). O bioma do cerrado é a segunda maior formação vegetal brasileira, onde se encontram diversas espécies frutíferas, cujos frutos são consumidos pela população local in natura ou na forma de sucos, sorvetes, geleias e doces em geral, apresentando elevados teores de açúcares, proteínas, sais minerais ácidos graxos essenciais e vitaminas. Entre as espécies frutíferas do cerrado, destaca-se o Jatobá, cujos frutos são vagens arredondadas e apresentam uma polpa amarelo-pálida, farinácea, adocicada, comestível, de sabor e aroma característico (COHEN, 2010).

O jatobá (figura 1), é uma leguminosa arbórea, da mesma família (*leguminosae*) do feijão, do baru, da copaíba e do pau-brasil (COHEN, 2010). O gênero *Hymenaea* apresenta 14 espécies, sendo que 13 se encontram distribuídas pela América Central, América do Sul, oeste das Índias e uma espécie tem ocorrência no leste da África. No Brasil, a *Hymenaea courbaril* possui uma distribuição vasta, ocorrendo desde a floresta amazônica até a floresta estacional no sudeste do país, com diversas variedades dessa planta (TIAGO et al., 2020).

Figura 1: Jatobá (*Hymenaea courbaril*): (A) árvore, (B) folha, (C) e (D) fruto imaturo, (E) sementes.

A



B



C



D



E



Fonte: Google imagens

A árvore do jatobá é uma espécie tropical que mede de 4 a 6 metros de altura, sendo mais encontrada em terreno seco, muitas vezes, de pouca fertilidade. Já o fruto do jatobá apresenta comprimento entre 6 e 18 cm e diâmetro de 3 a 6 cm; sua polpa farinácea, de cor creme, envolve de 3 a 6 sementes. A polpa farinácea do jatobá apresenta forte potencial para o enriquecimento de preparações que utilizam farinhas, tais como bolos, pães e biscoitos (DA SILVA et al., 2020).

O jatobá, em específico suas cascas e folhas possuem propriedades antioxidantes naturais, e tem sido usado pelos populares como anódino, anti-séptico, expectorante, laxante, purgativo, sedativo, estimulante e tônico na medicina popular; seu chá de casca é recomendado para diarreia, disenteria e cólicas intestinais. Essas atividades têm sido atribuídas à presença de diterpenos, sesquiterpenos, compostos fenólicos como flavonoides e oligossacarídeos. O extrato de casca de Jatobá apresenta uma alta atividade inibitória da 5-lipoxigenase. Além disso, é utilizado na indústria cosmética devido à presença de policatequina, um agente hidratante e clareador da pele (VEGGI et al., 2014).

Sabe-se que o alto teor de compostos fenólicos nos extratos de jatobá se deve à presença de procianidinas. Essas são taninos condensados, uma subclasse de flavonoides. São conhecidas por possuírem alta atividade antimicrobiana, antifúngica e antioxidante, sendo utilizadas como agentes anticarcinogênicos (mama, próstata, pele e estômago), anti-inflamatórios, anti-inflamatórios e cicatrizantes; eles ainda protegem contra doenças renais e hepáticas e podem inibir a transcriptase reversa do HIV (VEGGI et al., 2014).

O jatobá atinge até 10m de altura. No cerrado e cerradão, o florescimento ocorre de dezembro a março, frutificando de julho a outubro. Seus frutos são de forma de vagens arredondadas, de cor escura, com sementes envolvidas por uma polpa amarelo pálida, farinácea, adocicada, comestível, de sabor e aroma característicos (COHEN, 2010).

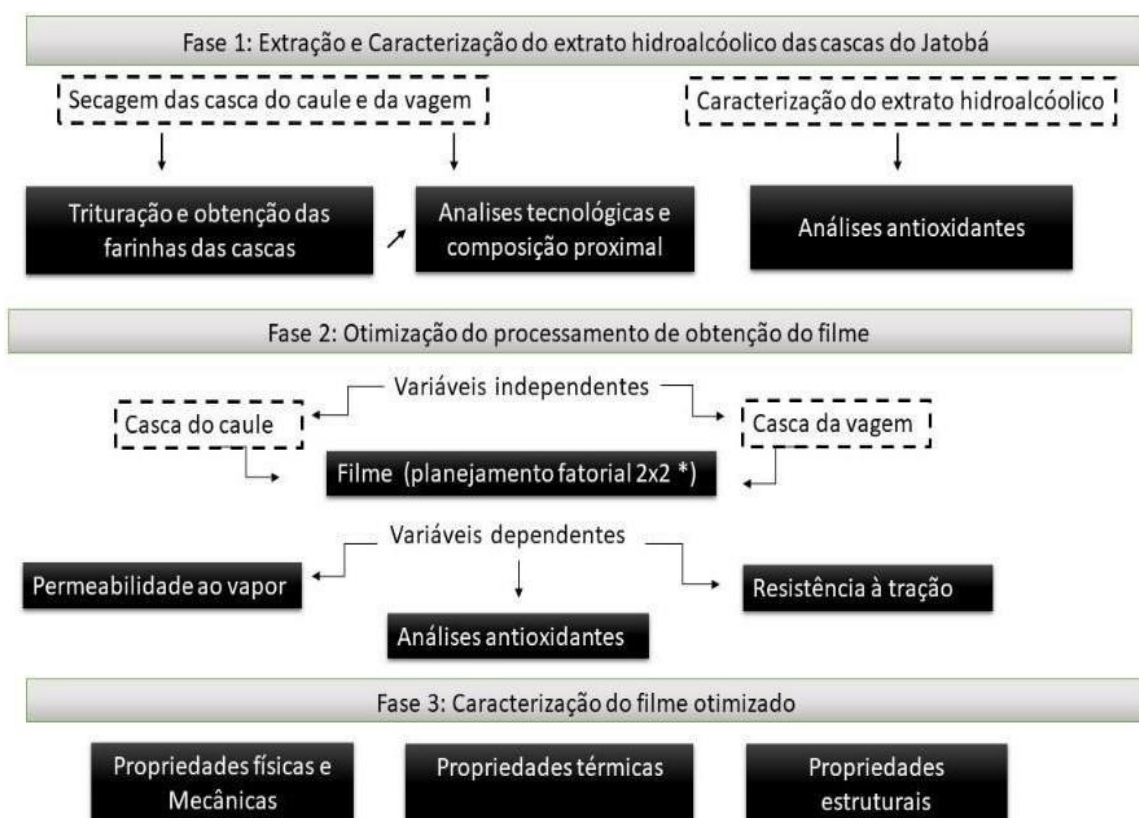
O jatobazeiro pode ser utilizado na produção de inúmeros produtos. Sua árvore é considerada ornamental, própria para arborização urbana, com madeira apreciada para a construção civil e naval, podendo-se extrair da sua entrecasca, por meio de cozimento, uma tinta de cor vermelha. Sua polpa é utilizada na medicina popular como laxante. O jatobá é ricamente aproveitado na alimentação humana, sendo sua polpa

farinácea utilizada para produzir geleias, licores, bolos, pães, mingaus; além de poder ser consumida in natura (COHEN, 2010). Visto que, na literatura já é encontrado aplicação da polpa do jatobá aplicado em filmes biodegradáveis.

3. DELINEAMENTO METODOLÓGICO

O desenvolvimento do projeto foi realizado em três etapas como pode ser observado na Figura 1. Os experimentos foram realizados nos laboratórios do Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional (CTDR/UFPB), Centro de Ciências Exatas e da Natureza - (CCEN/UFPB) no laboratório do LACON e no centro de tecnologia, nos laboratórios de ciências dos materiais, todos localizados no campus da Universidade Federal da Paraíba.

Figura 1: Delineamento do projeto



Fonte: Próprio autor, 2023.

Para 1ª etapa do projeto, as cascas foram secas e trituradas, transformadas em farelos e armazenadas para a execução das análises. Posteriormente, obtidos os extratos hidroalcóolicos. Os farelos foram caracterizados quanto as propriedades tecnológicas e a composição proximal. Os extratos foram analisados quanto ao teor de compostos fenólicos e atividade antioxidante pelos métodos de DPPH e FRAP.

Na 2ª etapa, os filmes degradáveis foram produzidos utilizando a metodologia de superfície de resposta em um planejamento fatorial 2^2 + configuração estrela*, tendo como variáveis independentes os extratos da vagem e da casca do caule do jatobá com concentrações variando de 0 -1 %. O processo foi otimizado através dos parâmetros de menor permeabilidade ao vapor de água (PVA), maior resistência à tração (RT) e maior eficácia antioxidante quanto aos métodos DPPH e FRAP. A formulação otimizada foi caracterizada quanto as propriedades físicas, mecânicas, térmicas, estruturais e comparada ao controle.

REFERÊNCIAS

- ADILAH, A. N., JAMILAH, B., NORANIZAN, M. A., & HANANI, Z. A. N. Utilization of mango peel extracts on the biodegradable films for active packaging. (2018). doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.01.006
- AMIN, Usman et al. Potentials of polysaccharides, lipids and proteins in biodegradable food packaging applications. *International Journal of Biological Macromolecules* , v. 183, p. 2184-2198, 2021.
- AHMED, M. W., HAQUE, M. A., MOHIBBULLAH, M., et al., Review on active packaging for quality and safety of foods: Current trends, applications, prospects and challenges. In *Food Packaging And Shelf Life*. Vol.33, 2022. doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.100913
- AKHTER, R., MASOODI, F. A., WANI, T. A., & RATHER, S. A. Functional characterization of biopolymer based composite film: Incorporation of natural essential oils and antimicrobial agents. *International Journal of Biological Macromolecules*, Vol. 137, P.1245–1255. 2019. doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.06.214
- ALIZADEH-SANI, M., MOHAMMADIAN, E., & MCCLEMENTS, D. J. Eco-friendly active packaging consisting of nanostructured biopolymer matrix reinforced with TiO₂ and essential oil: Application for preservation of refrigerated meat. *Food Chemistry*, 322. 2020. doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126782
- ALTAN, A., AYTAC, Z., & UYAR, T. Carvacrol loaded electrospun fibrous films from zein and poly(lactic acid) for active food packaging. *Food Hydrocolloids*, 81, 48–59. 2018. doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.02.028
- ALVES-SILVA, G. F., ROMANI, V. P., MARTINS, V.G., Jatobá (*Hymenaea stigonocarpa*) pulp films: Properties, antioxidant potential and biodegradability. *Food Packaging and shelf life*. v. 34, pages. 100923, 2022. https://doi.org.ez15.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.fpsl.2022.100923
- AMIN, U., KHAN, M. U., MAJEED, Y., REBEZOV, M., et al., Potentials of polysaccharides, lipids and proteins in biodegradable food packaging applications. In *International Journal of Biological Macromolecules* (Vol. 183, pp. 2184–2198). Elsevier B.V. 2021. doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.05.182
- ANDRADE, M. S., ISHIKAWA, O. H., COSTA, R. S., et al., Development of sustainable food packaging material based on biodegradable polymer reinforced with cellulose nanocrystals. *Food Packaging and Shelf Life*, 31. 2022. doi.org/10.1016/j.fpsl.2021.100807

AKHILA, V., LAXMIKANT S., BADWAIK. Recent advancement in improvement of properties of polysaccharides and proteins based packaging film with added nanoparticles: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*. Vol. 203, Pages 515-525. 2022.

doi-org.ez15.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.ijbiomac.2022.01.181

AZMAN, N.H., KHAIRUL, W.M. E SARBON, N.M., A comprehensive review on biocompatible film sensor containing natural extract: Active/intelligent food packaging. *Food Control*. Vol. 141, Pages 109189. 2022. <https://doi-org.ez15.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.foodcont.2022.109189>

BABBAR, N., OBEROI, H. S., UPPAL, D.S., PATIL, R.T. Total phenolic content and antioxidant capacity of extracts obtained from six important fruit residues. *Food Research International*. Vol. 44, P. 391-396, 2011. <https://doi-org.ez15.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.foodres.2010.10.001>

BRASIL - MINISTÉRIO DA SAÚDE. ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC no 91/2001, de 13 de junho de 2001 Regulamento Técnico - Critérios Gerais e Classificação de Materiais para Embalagens e Equipamentos em Contato com Alimentos. 2001, p. 1–6.

BONIFACE, P. K., FERREIRA, S. B., KAISER, C. R., Current state of knowledge on the traditional uses, phytochemistry, and pharmacology of the genus *Hymenaea*. *Journal of Ethnopharmacology*. Vol. 206, Pages 193-223, 2017. <https://doi-org.ez15.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.jep.2017.05.024>

CAZÓN, P., VELAZQUEZ, G., RAMÍREZ, J. A., & VÁZQUEZ, M. Polysaccharide-based films and coatings for food packaging: A review. *Food Hydrocolloids*, 68, 136–148.2017. doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.09.009

CHENG, H., CHEN, L., MCCLEMENTS, D. J., et al., Starch-based biodegradable packaging materials: A review of their preparation, characterization and diverse applications in the food industry. In *Trends in Food Science and Technology*, Vol. 114, pp. 70–82. Elsevier Ltd. 2021. doi.org/10.1016/j.tifs.2021.05.017

CUI, H., GAO, W., LIN, Y., et al., Development of microwave-assisted extraction and dispersive liquid–liquid microextraction followed by gas chromatography–mass spectrometry for the determination of organic additives in biodegradable mulch films. *Microchemical Journal*, 160. 2021. doi.org/10.1016/j.microc.2020.105722

COHEN, K.O., Jatobá-do-cerrado: composição nutricional e beneficiamento dos frutos. Documentos/Embrapa cerrados, ISSN 1517-5111, ISSN online 2176-5021; 280. Planaltina-DF, Agosto de 2010.

Daniloski, D., Petkoska, A. T., Lee, N. A., Bekhit, A. E. D., Carne, A., Vaskoska, R., & Vasiljevic, T. (2021). Active edible packaging based on milk proteins: A

route to carry and deliver nutraceuticals. In Trends in Food Science and Technology (Vol. 111, pp. 688–705). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.03.024>

DA SILVA, E. F., BATISTA, E. M., DO NASCIMENTO ALMEIDA, É. J., et al. Caracterização física, físico-química e centesimal do fruto de jatobá-do-cerrado, *Hymenaea stigonocarpa* Mart. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, 15(2), 139-145. 2020

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 Self Life, v. 34, pages 100937, 2022. <https://doi.org.ez15.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.fpsl.2022.100937>

DE LIMA SILVA, I.D., DE MORAES FILHO, L.M.P.T., CAETANO, V.F., et al. Development of antioxidant active PVA films with plant extract of *Caesalpinia ferrea* Martius. Lwt. Vol. 144, pages 111215, 2021. <https://doi.org.ez15.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.lwt.2021.111215>

DE OLIVEIRA FILHO, J. G., RODRIGUES, J.M., FERNANDES, A.C., et al. Active food packaging: Alginate films with cottonseed protein hydrolysates. Food Hydrocolloids. Vol. 92, pages 267-275, 2019. <https://doi.org.ez15.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.foodhyd.2019.01.052>

Di Giuseppe, F., Coffigniez, F., Aouf, C., Guillard, V., & Torrieri, E. (2022). Activated gallic acid as radical and oxygen scavenger in biodegradable packaging film. Food Packaging and Shelf Life, 31. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.100811>

ERBAS, M., ERTUGAY, M.F., CERTEL, M., Moisture adsorption behaviour of semolina and farina. Journal of Food Engineering. Volume 69, Issue 2, July 2005, Pages 191-198. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.07.017>

FIRMANI, P. NARDECCHIA, A., NOCENTE, F., et al. Multi-block classification of Italian semolina based on Near Infrared Spectroscopy (NIR) analysis and alveographic indices. Food Chemistry. Vol. 309, Pages 125677, 2020. <https://doi.org.ez15.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.foodchem.2019.125677>

GUARIENTI, E. M., Qualidade industrial de trigo. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 36p. 2ed. 1996.

JAFARZADEH, S., ARIFFIN, F., ALIAS, A.K., et al., CHARACTERIZATION OF SEMOLINA BIOPOLYMER FILMS ENRICHED WITH ZINC OXIDE NANO RODS. Italian Journal of food Science. Vol. 29, Issue 2. May 12, 2017.

JAFARZADEH, S., ALIAS, A.K., ARIFFIN, F., MAHMUD, S., Physico-mechanical and microstructural properties of semolina flour films as influenced by different sorbitol/glycerol concentrations. *International Journal of food properties*. Volume 21, Issue 1, pages 983-995. 2018. Doi: doi-org.ez15.periodicos.capes.gov.br/10.1080/10942912.2018.1474056

JAFARZADEH, S., JAFARI, S. M., SALEHABADI, A., NAFCHI, A. M., UTHAYA KUMAR, U. S., & KHALIL, H. P. S. A. Biodegradable green packaging with antimicrobial functions based on the bioactive compounds from tropical plants and their by-products. In *Trends in Food Science and Technology*. Vol. 100, pp. 262–277. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.04.017>

JHA, P. Effect of plasticizer and antimicrobial agents on functional properties of bionanocomposite films based on corn starch-chitosan for food packaging applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 160, 571–582. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.05.242>

KUAI, L., LIU, F., CHIOU B.S., et al., Controlled release of antioxidants from active food packaging: A review. *Food Hydrocolloids*. Vol.120, p. 106992, 2021. Doi-org.ez15.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.foodhyd.2021.106992

JU, A., & SONG, K. BIN,. Development of teff starch films containing camu-camu (*Myrciaria dubia* Mc. Vaugh) extract as an antioxidant packaging material. *Industrial Crops and Products*, 141. 2019. doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111737

LANDIM, A. P. M., BERNARDO, C. O., MARTINS, I. B. A., et al., Sustentabilidade quanto às embalagens de alimentos no Brasil. *Polimeros*, 26, 82–92. 2016. doi.org/10.1590/0104-1428.1897

LI, Y., LU, J., TIAN, X., et al., Alginate with citrus pectin and pterostilbene as healthy food packaging with antioxidant property. *International Journal of Biological Macromolecules*, 193, 2093–2102. 2021. doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.11.041

LICCIARDELLO, F., RIZZO, V., GRILLO, O., et al., Bread-making performances of durum wheat semolina, as affected by ageing. *Journal of Cereal Science*, 57(3), 372–376. 2013. doi.org/10.1016/j.jcs.2013.01.002

LIN, Y., AN, F., HE, H., et al., Structural and rheological characterization of pectin from passion fruit (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) peel extracted by high-speed shearing. *Food Hydrocolloids*. V. 144, 2021. <https://doi-org.ez15.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.foodhyd.2020.106555>

LIU, Y., ZHANG, S., CHEN, S., et al., Controlling plasticizer migration based on crystal structure and micromorphology in propionylated starch-based food packaging nanocomposites. *Carbohydrate Polymers*, 273. 2021. doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118621

LUZI, F., DEL BUONO, D., ORFEI, B., et al., Lemna minor aqueous extract as a natural ingredient incorporated in poly (vinyl alcohol)-based films for active food packaging systems. *Food Packaging and Shelf Life*, 32. 2022. doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.100822

MA, Y., ZHAO, H., MA, Q., et al. Development of chitosan/potato peel polyphenols nanoparticles driven extended-release antioxidant films based on potato starch. *Food Packaging and Shelf Life*. Vol. 31, p. 100793, 2022. https://doi-org.ez15.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.fpsl.2021.100793

MEDINA-JARAMILLO, C., OCHOA-YEPES, O., BERNAL, C., & FAMÁ, L. Active and smart biodegradable packaging based on starch and natural extracts. *Carbohydrate Polymers*, 176, 187–194. 2017. doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.08.079

MONTOILLE, L., MORALES VICENCIO, C., FONTALBA, D., et al., Study of the effect of the addition of plasticizers on the physical properties of biodegradable films based on kefiran for potential application as food packaging. *Food Chemistry*, 360. 2021. doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129966

MOGHADAM, M., SALAMI, M., MOHAMMADIAN, M., KHODADADI, M., & EMAM-DJOMEH, Z. Development of antioxidant edible films based on mung bean protein enriched with pomegranate peel. *Food Hydrocolloids* , v.104 , 2020. 105735.

NGUYEN, T. T. T., LE, T.Q., NGUYEN, T.A., et al. Characterizations and antibacterial activities of passion fruit peel pectin/chitosan composite films incorporated Piper betle L. leaf extract for preservation of purple eggplants. *Heliyon*. Vol. 8, n. 8, pages 10096, 2022. https://doi-org.ez15.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.heliyon.2022.e10096

PIÑEROS-HERNANDEZ, D., MEDINA-JARAMILLO, C., LÓPEZ-CÓRDOBA, A., & Goyanes, S. Edible cassava starch films carrying rosemary antioxidant extracts for potential use as active food packaging. *Food Hydrocolloids*, 63, 488–495. 2017. doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.09.034

PRIYADARSHI, R., & RHIM, J. W. Chitosan-based biodegradable functional films for food packaging applications. In *Innovative Food Science and Emerging Technologies* (Vol. 62). Elsevier Ltd. 2020. doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102346

REICHEMBACH, L. H., & LÚCIA DE OLIVEIRA PETKOWICZ, C. Pectins from alternative sources and uses beyond sweets and jellies: An overview. In *Food Hydrocolloids*, Vol. 118. Elsevier B.V. 2021. doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106824

RODRIGUES, F. A. M., DOS SANTOS, S. B. F., LOPES, M. M. DE A., et al., (2021). Antioxidant films and coatings based on starch and phenolics from *Spondias purpurea* L. *International Journal of Biological Macromolecules*, 182, 354–365. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.04.012>

RONG, L., SHEN, M., WEN, H., et al., Preparation and characterization of hyacinth bean starch film incorporated with TiO₂ nanoparticles and *Mesona chinensis* Benth polysaccharide. *International Journal of Biological Macromolecules*, 190, 151–158. 2021. doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.08.180

ROCHA, L. A., GONÇALVES, D.A., ARAKAKI, D.G., et al., Data on elemental composition of the medicinal plant *Hymenaea martiana* Hayne (Jatobá). *Data in Brief*; v. 19, 959-964. 2018.

ROY, S., & RHIM, J.W. Preparation of pectin/agar-based functional films integrated with zinc sulfide nano petals for active packaging applications. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. Vol. 207, Pages 111999. 2021. <https://doi.org.ez15.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.colsurfb.2021.111999>

SANI, M. A., TAVASSOLI, M., HAMISHEHKAR, H., et al. Carbohydrate-based films containing pH-sensitive red barberry anthocyanins: Application as biodegradable smart food packaging materials. *Carbohydrate Polymers*. Vol. 255, p. 117488, 2021. <https://doi-org.ez15.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.carbpol.2020.117488>

SADY, S., BŁASZCZYK, A., KOZAK, W., et al., Quality assessment of innovative chitosan-based biopolymers for edible food packaging applications. *Food Packaging and Shelf Life*, 30. 2021. doi.org/10.1016/j.fpsl.2021.100756

SEIXAS, F.L., FUKUDA, D.L., TURBIANI, F.R.B.F., et al., Extraction of pectin from passion fruit peel (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) by microwave-induced heating. *Food hydrocolloids*. V. 38, pages 186-192, 2014. <https://doi-org.ez15.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.foodhyd.2013.12.001>

TALÓN, E., TRIFKOVIC, K. T., NEDOVIC, V. A., et al., Antioxidant edible films based on chitosan and starch containing polyphenols from thyme extracts. *Carbohydrate Polymers*, 157, 1153–1161. 2017. doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.10.080

TADJIQUE, S., MAGHSOUDLOU, Y., KHODAIYAN, F., et al., Soluble soybean polysaccharide: A new carbohydrate to make a biodegradable film for sustainable green packaging. *Carbohydrate Polymers*. Vol. 97, Pages 817-824, 2013. <https://doi-org.ez15.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.carbpol.2013.05.037>

TARIQUE, J., SAPUAN, S. M., KHALINA, A., ILYAS, R. A., & ZAINUDIN, E. S. (2022). Thermal, flammability, and antimicrobial properties of arrowroot (*Maranta arundinacea*) fiber reinforced arrowroot starch biopolymer

composites for food packaging applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 213, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.05.104>

TIAGO, P. V., LAROCCA, D., DA SILVA, I. V., et al. Morpho-anatomical, Phytochemical, and Histochemical characterization of *Hymenaea courbaril* (Leguminosae), occurring in Southern Amazon. *Rodriguésia*, v. 71, 2020. <http://dx.doi.org/10.1590/2175-7860202071063>

TYMCZEWSKA, A., SZYDŁOWSKA-CZERNIAK, A., & NOWACZYK, J. (2021). Bioactive packaging based on gelatin incorporated with rapeseed meal for prolonging shelf life of rapeseed. *Food Packaging and Shelf Life*, 29. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2021.100728>

URGEL, A. L., *Matérias-Primas dos alimentos*. São Paulo: Blucher, 2010. ISBN 978-85-212-0529-6.

Vargas-Torrico, M. F., von Borries-Medrano, E., & Aguilar-Méndez, M. A. (2022). Development of gelatin/carboxymethylcellulose active films containing Hass avocado peel extract and their application as a packaging for the preservation of berries. *International Journal of Biological Macromolecules*, 206, 1012–1025. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.03.101>

VASCO-CORREA, J. & ZAPATA, ADZ., Enzymatic extraction of pectin from passion fruit peel (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) at laboratory and bench scale. *LWT*. Volume 80, pages 280-285, 2017. <https://doi-org.ez15.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.lwt.2017.02.024>

VEGGI, P. C., PRADO, J. M., BATAGLION, G. A., et al. Obtaining phenolic compounds from jatoba (*Hymenaea courbaril* L.) bark by supercritical fluid extraction. *Journal of supercritical fluids*. Vol. 89, p. 68-77, 2014. <https://doi-org.ez15.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.supflu.2014.02.016>

Wang, X., Yong, H., Gao, L., Li, L., Jin, M., & Liu, J. (2019). Preparation and characterization of antioxidant and pH-sensitive films based on chitosan and black soybean seed coat extract. *Food Hydrocolloids*, 89, 56–66. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.10.019>

WANG, P., GAO, Y., WANG, D., et al., Amidated pectin with amino acids: Preparation, characterization and potential application in Hydrocolloids. *Food Hydrocolloids*. Vol. 129, pages 107662, 2022. <https://doi-org.ez15.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.foodhyd.2022.107662>

WENBO, M., SHI, J., ZHANG, X., et al., Effects of peanut shell and skin extracts on the antioxidant ability, physical and structure properties of starch-chitosan active packaging films. *International Journal of Biological Macromolecules*. Vol. 152, Pages 137-146. 2020. <https://doi-org.ez15.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.ijbiomac.2020.02.235>

WONGPHAN, P., PANRONG, T., & HARNKARNSUJARIT, N. (2022). Effect of different modified starches on physical, morphological, thermomechanical, barrier and biodegradation properties of cassava starch and polybutylene adipate terephthalate blend film. *Food Packaging and Shelf Life*, 32. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.100844>

Wu, C., Li, Y., Sun, J., Lu, Y., Tong, C., Wang, L., Yan, Z., & Pang, J. (2020). Novel konjac glucomannan films with oxidized chitin nanocrystals immobilized red cabbage anthocyanins for intelligent food packaging. *Food Hydrocolloids*, 98. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105245>

XIE, Y., PAN, Y., & CAI, P. Cellulose-based antimicrobial films incorporated with ZnO nanopillars on surface as biodegradable and antimicrobial packaging. *Food Chemistry*, 368. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130784>

YAO, X., LIU, J., HU, H., et al., Development and comparison of different polysaccharide/PVA-based active/intelligent packaging films containing red pitaya betacyanins. *Food Hydrocolloids*, 124. (2022). <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107305>

YUN, D., HE, Y., ZHU, H., et al. Smart packaging films based on locust bean gum, polyvinyl alcohol, the crude extract of *Loropetalum chinense* var. *rubrum* petals and its purified fractions. *International Journal of Biological Macromolecules*, 205, 141–153. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.02.068>

ZHOU, S., HUANG, G., & HUANG, H. Extraction, derivatization and antioxidant activities of onion polysaccharide. *Food Chemistry*, 388. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133000>

CAPÍTULO II- Farelos das cascas do caule e da vagem do jatobá: caracterização físico-química, tecnológica e atividade antioxidante.

RESUMO - O objetivo desse estudo foi definir as propriedades funcionais, quanto as características físico-químicas, tecnológicas, e atividade antioxidante do farelo da casca do caule (CCJ) e da casca da vagem (CVJ) do Jatobá (*Hymenaea courbaril* L.). Os farelos foram obtidos pelo método de secagem em estufa com circulação forçada de ar por 24h à 40 °C, após a secagem, foi realizada a trituração das cascas em moinho de facas industrial e armazenados em embalagem a vácuo até à realização das análises. Os parâmetros analisados dos farelos foram, umidade, atividade de água, densidades, higroscopicidade, solubilidade, absorção de água e óleo, fator de Hausner, índice de Carr e a composição proximal. Foram analisados os extratos hidroalcóolicos obtidos dos farelos de jatobá, por meio das análises do teor de compostos fenólicos, atividade antioxidante pelos métodos sequestrador de radical livre – DPPH e pelo método redutor de ferro – FRAP. O farelo da CVJ apresentou maior higroscopicidade(13,14g/100g), capacidade de absorção em água (2,91g/100g) e óleo (2,37g/100g). Esses dados resultaram em uma densidade de 0,54 e 0,79 para o farelo da casca e da vagem, respectivamente. A atividade antioxidante pelo método de FRAP, foi de 152,43 mg ESuf. Fer/g da CCJ e 50,83 mg ESuf. Fer/g da vagem. O extrato hidroalcóolico proveniente da CCJ apresentou uma maior concentração de compostos fenólicos com maior eficiência como antioxidante.

PALAVRAS – CHAVE - *Hymenaea courbaril* L. Farelo. Jatobá. Antioxidante.

1. INTRODUÇÃO

O jatobá é uma espécie arbórea de ampla distribuição geográfica, possui cerca de 30 espécies, chegando a uma altura de 15 a 20m, é adaptável em solos arenosos, argilosos, continental e de alta várzea. A árvore possui folhas compostas por dois folíolos, inflorescência em panículas terminais e frutos em forma de vagens indeiscentes. As vagens são robustas, envoltas por uma farinha comestível conhecida como arilo, de grande valor nutritivo e cheiro característico do fruto (FALLER et al., 2020; DIAS et al., 2013; TIAGO et al., 2020; DE MENEZES FILHO et al., 2019).

De acordo com a RESOLUÇÃO-RDC Nº 263, DE 22 DE SETEMBRO DE (2005), classifica-se como farelo o produto resultante do processamento de grãos de cereais e ou leguminosas, constituídos principalmente de casca e ou do gérmen, podendo conter partes do endosperma.

De acordo com o conhecimento popular, as cascas do caule e folhas do jatobá possuem ação antifúngica, antibacteriana, antiespasmódica, antioxidante, descongestionante, anti-inflamatória, fortificante, vermífuga, expectorante, laxante, purgativo, sedativo, estimulante e tônico (ROCHA et al., 2018; VEGGI et al., 2014). DIAS et al. (2013), estas atividades fitoquímica conhecidas pela medicina popular se deve elevada atividade antioxidante. Eles quantificaram a atividade antioxidante do jatobá pelo método de DPPH em torno de 22,19% na polpa do fruto e de 83,49% na semente, isso se deve a presença de compostos fenólicos em torno de 8,60 mg EAG/g para a polpa e 3,43 mg EAG/g para a semente.

Na literatura existem estudos sobre diversas partes da planta do jatobá, de acordo com da silva et al. (2020), estudou a caracterização físico-química do fruto de jatobá do cerrado, concluindo assim, que todas as partes do fruto possuir fonte consideráveis de nutrientes, possibilitando a sua utilização para novos produtos alimentícios. Veggi et al. (2014), discutiram a obtenção dos compostos fenólicos obtidos através da casca por extração de fluido supercrítico onde a extração rendeu 18% de extrato, com teor de compostos totais de 335 mgEAG/g, teor de taninos totais de 2,67 g / 100 g de casca de jatobá que possuem uma alta atividade antioxidante. Dias, luzia & jorge (2013), estudaram as propriedades físico-químicas e bioativas da polpa e a fração lipídica da semente, e encontram um teor de lipídios em ambas as

frações inferior a 6%, além disso observaram uma presença significativa de minerais, principalmente sódio, potássio e fósforo.

No entanto, não há estudos na literatura utilizando a casca do caule (CCJ) e a casca da vagem do jatobá (CVJ) para desenvolver um farelo que poderá ser utilizado como aditivo natural antioxidante. Neste contexto, avaliou-se as propriedades funcionais dos farelos obtido da CCJ e da CVJ, caracterizando quanto as propriedades físico-química, tecnológica, e atividade antioxidante.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material

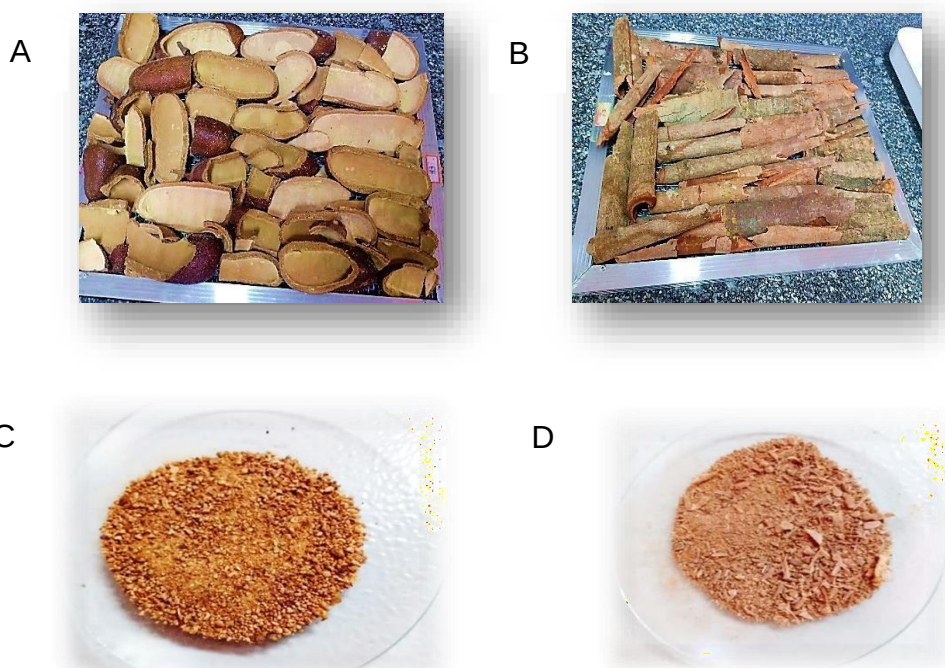
As cascas da vagem e do caule do jatobá (*Hymenaea courbaril* L.), a farinha de semolina, foram adquiridos nos centros comerciais da Paraíba, Brasil. Todos os reagentes utilizados foram de grau analítico das marcas Sigma-Aldrich, Perkin-Elmer e NEON.

2.2 Métodos

2.2.1 Obtenção do farelo do Jatobá

As cascas do caule e da vagem (figuras 1A e B) foram quebradas manualmente e depois submetidas a secagem à 40°C em estufa com circulação forçada de ar por 24h. Em seguida, foram trituradas em moinho de facas industrial até a obtenção da farinha (figuras 1C e D) que foram embaladas em sacos para vácuo e armazenadas sob temperatura ambiente até o momento das análises físico-químicas e tecnológicas.

Figura 1: A) CCJ , B) CVJ, C) Farelo da CVJ, D) Farelo da CCJ



Fonte: Próprio autor, 2023

2.2.2 Composição proximal

As análises de composição proximal foram conduzidas de acordo com os métodos da AOAC (1995). As análises foram realizadas em triplicata. A umidade foi determinada por secagem em estufa a 105 °C sem circulação de ar; as proteínas foram quantificadas pelo método de Kjeldahl utilizando fator de correção 5,75 para produtos de origem vegetal; os lipídios foram extraídos por folch com clorofórmio, metanol e uma solução de sulfato de sódio 1,5%. O valor energético total proveniente dos nutrientes foi expresso em quilocalorias (kcal)/100g, estimado a partir dos fatores de conversão de Atwater: kcal = (4 x g proteína) + (4 x g carboidratos) + (9 x g lipídios) (MERRIL; WATT, 1973). As fibras totais foram determinadas pelo método de Hennemberg com ácido sulfúrico 1,25%, hidróxido de sódio 1,25%, álcool etílico e éter etílico. Cinzas foram quantificadas por incineração em mufla a 550 °C e os carboidratos totais por diferença (100g – gramas totais de umidade, proteína, lipídeos e cinzas).

2.3 Potencial hidrogeniônico (pH)

O pH das amostras foram determinados de forma direta através do potenciômetro digital CIENLAB-MPA-210-BRASIL, à 25 °C, previamente calibrado com soluções tampão de pH 7,0 e 4,0.

2.4 Densidades aparente

A densidade aparente foi determinada segundo o método utilizado por Achor et al. (2015), com algumas modificações. Foram pesados 5 g do farelo de jatobá em uma proveta graduada de 10 mL, sem compactação, para determinação do volume total ocupado pelo sólido. A densidade aparente foi calculada conforme equação 1:

$$P_a = \frac{ms}{V_t} \quad (1)$$

Em que:

p_a - densidade aparente, g.mL⁻¹;

m_s - massa do sólido, g;

V_t - volume total, mL

2.5 Densidade compactada

Para a determinação da densidade compactada, foi pesado uma massa do farelo até completar o volume total em uma proveta graduada de 10 mL. O resultado foi determinado a partir da massa de farelo contida na proveta depois de ser batida manualmente 50 vezes de batidas manual sobre a superfície de bancada a uma altura de 10 cm e, calculada pela equação 2 (Achor et al., 2015).

$$P_c = \frac{m_s}{V_c} \quad (2)$$

Em que:

p_c - densidade compactada, g.mL⁻¹; m_s

- massa do sólido, g,

V_c - Volume do sólido após compactação, mL.

2.6 Densidade real

A densidade real foi determinada pelo método de deslocamento de líquido utilizando o óleo como fluido imersor como descrito por Pragati; Genitha e Ravish (2014). Inicialmente, pesou 1g da amostra em uma proveta graduada de 10 mL. Em seguida, transferiu o óleo contido em uma bureta de 25 mL para a proveta até a quantidade de líquido necessária para completar as 10 mL na proveta, e fez a leitura da quantidade de óleo que sobrou na bureta. Deixa em repouso por 5 h e completou o volume deslocado pelo óleo. Então, obteve o volume total gasto na bureta. A densidade real foi obtida pela relação de massa do sólido em gramas e o volume gasto de óleo em milímetros subtraído do fator 10, conforme a equação 3

$$P_r = \frac{m_s}{10 - V_g} \quad (3)$$

Em que:

ρ_r - densidade real, g.mL⁻¹

m_s - massa do sólido, g

V_c - Volume gasto de óleo, mL.

2.7 Índice de compressibilidade ou índice de Carr

O índice de compressibilidade (IC) é utilizado para avaliar indiretamente as propriedades de fluxo de pós através da relação da densidade aparente (ρ_a) e da densidade compactada (ρ_c) do pó, e foi calculado pela equação 4:

$$IC = \frac{\rho_c - \rho_a}{\rho_c} \times 100 \quad (4)$$

2.8 Fator de Hausner

O fator de Hausner (FH) é determinado pela relação da densidade aparente (ρ_a) e de compactação (ρ_c), de acordo com a metodologia de Hausner (1967). sendo calculado conforme equação 5:

$$FH = \frac{\rho_c}{\rho_a} \quad (5)$$

2.9 Higroscopicidade

A higroscopicidade foi determinada de acordo com o método proposto por Caparino et al. (2012). Um total de 1 g de amostra foi pesado em recipiente hermético e colocado no dessecador com umidade relativa de 75% (em solução saturada de NaCl) à 25 °C. Após 7 dias de acondicionamento, a amostra foi pesada. O resultado foi calculado pela equação 6.

$$H = \frac{m_a}{P_i} \times 100 \quad (6)$$

Em que, H – higroscopicidade (g/100g);

ma - massa de água absorvida (g);

Pi - massa inicial da amostra (g).

2.10 Solubilidade em água

A solubilidade foi obtida conforme metodologia descrita por Dacanal e Menegalli (2009). Um total de 1 g de amostra foi pesado em erlenmeyer e foi adicionado 100 mL de água destilada a 25 °C. Em seguida, a amostra foi agitada durante 1 minuto. Após a agitação, as amostras foram filtradas em papel filtro, e o material retido foi seco em estufa a 105 °C por 24 h. A solubilidade foi determinada de acordo com a equação 7.

$$SOL = \left[\frac{m_2 - m_1}{m_s} \right] \times 100 \quad (7)$$

Em que: m1 - massa do filtro;

m2 - massa de amostra remanescente no filtro após estufa;

ms - massa inicial da amostra analisada.

2.10 Capacidade de absorção de água e óleo

O método de descrito por Drakos et al., (2017) foi usado para determinar a capacidade de absorção de água e de óleo. Inicialmente, 10 mL de água destilada ou óleo de soja foram adicionados a 1 g da amostra em tubos de centrifuga. As suspensões foram homogeneizadas durante 3 min através de um agitador de tubos. Em seguida, as amostras foram deixadas em repouso por 30 min. Posteriormente, os tubos foram fechados e centrifugados por 10 min a 1624 G. O sedimento remanescente no após a retirada do sobrenadante foi pesado e as capacidades de absorção da água e do óleo foram calculadas de acordo com as Equações 8 e 9, respectivamente:

$$\text{capacidade de absorção em água} = \frac{\text{Massa do sedimento hidratado}}{\text{Massa seca}} \quad (8)$$

$$\text{Capacidade de absorção de óleo} = \frac{\text{Massa do sedimentado insolúvel}}{\text{Massa seca}} \quad (9)$$

2.11 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE COMPOSTOS FENÓLICOS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE

2.11.1 Elaboração da extração vegetal

Os extratos foram obtidos pela metodologia descrita por Grisi et al. (2020) onde, um total de 10 g do farelo obtido no item 2.2.2, foi dissolvido em uma mistura de 50 mL de etanol e 50 mL de água destilada (50/50%, v/v) na proporção (1:10, m/v). O tempo de extração utilizado foi de 2 h à 40 °C sob agitação constante. Em seguida, a solução foi filtrada sob pressão, e o extrato resultante foi concentrado em rota-evaporador a 60 °C por 10min. Os extratos concentrados foram armazenados ao abrigo da luz à 5°C até a realização das análises.

2.11.2 Compostos fenólicos

O teor de compostos fenólicos totais foi determinado de acordo com a metodologia descrita por Rossi & Singleton (1965), utilizando o reagente Folin-Ciocalteu pelo método espectrofotométrico UV-VIS à 760 nm, e com a concentração inicial de 5 mg/mL. Um total de 0,3 mL das amostras foram diluídas com 2,610 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 1,0 e 20,0 mg/L, foi utilizada para calcular os resultados expressos em mg de EAG (equivalente de ácido gálico) por g do extrato.

2.11.3 Atividade antioxidante por DPPH

Para atividade antioxidante in vitro foi utilizado o método sequestrador de radicais livres (2,2-difenil-1-picril-hidrazil) DPPH de acordo com metodologia descrita por Brand-Williams, Cuvelier e Berset, (1995). Inicialmente, 10 mg do extrato foi diluído em 10 ml de etanol. Em seguida adicionou-se 2,7 mL da solução de DPPH nos tubos de ensaio foram mantidos em repouso por 30 min ao abrigo da luz. A medida

da absorbância foi realizada em espectrofotômetro UV/VIS no comprimento de onda de 517 nm, utilizando uma cubeta de quartzo com 1 cm. O controle foi a solução de DPPH pura. Os ensaios foram realizados em triplicata. A atividade antioxidante foi calculada em relação à atividade de eliminação do radical (%) de acordo com a equação 10.

$$\% \text{ Inibição DPPH} = ([\text{Abs}]_{\text{cont}} - [\text{Abs}]_{\text{Amostra}}) / ([\text{Abs}]_{\text{cont}}) \times 100 \quad (10)$$

2.11.4 Avaliação da atividade antioxidante por FRAP

A determinação da atividade antioxidante pelo método de redução do Fe^{3+} (FRAP), foi determinada de acordo com a metodologia de Rufino et al. (2006). O método espectrofotométrico UV-VIS com leitura em 595 nm. O reagente FRAP foi obtido a partir da combinação de 25 mL de tampão acetato de sódio - ácido acético 0,3 M, (pH 3,6), 2,5 mL de uma solução de TPTZ 10 mM (2,4,6-tris (2-piridil)-triazina) e 2,5 mL de uma solução aquosa de cloreto férrico 20 mM. seguindo assim, foram utilizados do extrato da casca de jatobá 90 μL , mais 270 μL de água destilada e 2,7 mL da solução FRAP preparada. Realizado em triplicata com tubos de Falcon, ficando no escuro por 30 min, para em seguida realizar a leitura em um espectrofotômetro.

2.12 Espectroscopia na região do infravermelho

As análises foram realizadas no espectrofotômetro FTIR (Shimadzu, modelo IR Prestige-2). Os espectros foram obtidos no modo ATR na faixa de 4000 a 500 cm^{-1} , resolução de 4 cm^{-1} e 40 de varreduras, de acordo com ASTM D5477-11 (ASTM, 2011).

2.13 Análise estatística

Todas as análises foram realizadas em triplicata e os resultados foram expressos em média $\pm$ desvio padrão (n=3) e no formato de tabelas. Os resultados da caracterização dos farelos foram avaliados através do teste de t para identificar a existência das diferenças significativas com 95% de confiança ($p < 0,05$), utilizando um software Assistat 7.7.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Composição proximal

A composição proximal dos farelos analisados apresentou diferença estatísticas significativas ($p < 0,05$) entre as amostras, estão dispostos na (tabela 1). De modo geral, o farelo da casca do caule do jatobá apresentou maiores porcentagens de cinzas, proteínas e fibra bruta. Para o farelo da casca da vagem, foram observados maiores teores de lipídeos, impactando no valor energético total.

Tabela 1: Composição proximal dos farelos da casca do caule do jatobá (CCJ) e da casca da vagem do jatobá (CVJ)

Composição/amostras	Farelo da CCJ	Farelo da CVJ
Umidade (g/100g)	6,73±0,06 ^a	6,63±0,07 ^a
Cinzas (g/100g)	4,83±0,01 ^a	1,87±0,0 ^b
Proteínas (g/100g)	3,23±0,17 ^a	1,68±0,03 ^b
Lipídios (g/100g)	0,60±0,04 ^b	12,04±0,14 ^a
Acidez (g/100g)	1,13±0,01 ^a	0,43±0,01 ^b
Fibras brutas (g/100g)	40,85±1,73 ^a	39,79±3,31
Carboidratos totais(g/100g)*	84,61	77,78
Valor energético (Kcal/100g)	356,76	426,20

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de t ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$). * Os carboidratos totais incluem as fibras brutas foi calculado por diferença.

Fonte: Próprio autor, 2023

O valor que corresponde a umidade realizada nos farelos está de acordo com as recomendações da legislação sendo abaixo de 15 g /100 g para farelos (ANVISA, Resolução nº263, 2005). Sendo importante para o controle das reações químicas e microbiológicas do produto alimentício, contribuindo para sua estabilidade. Devido também possuir um alto teor de polissacarídeos, esses farelos são de natureza hidrofílicas e propensos a absorver umidade e, portanto, sendo indicado a ser

mantidos em ambiente com baixo teor de umidade, evitando assim a deterioração e aumentando a vida útil desse alimento (RESENDE et al., 2020).

Os valores obtidos de cinzas diferem estatisticamente entre ambos farelos, sendo para CCJ de 4,83% e da CVJ de 1,87%, porém está de acordo com a literatura que dizer que o teor de cinzas do jatobá ficar em torno de 3,38% - 4,20% (COHEN, 2010). Valores próximos foram encontrados por Silva et al., (2022), estudaram a farinha de pequi onde apresentou valor de cinzas de 2,10 g/100 g. RESENDE et al., (2020), encontrando para a farinha proveniente da casca da jabuticaba encontrou os valores entre 3,34 - 7,87 g/100g.

O teor de proteínas dispostos na tabela 1 para os farelos apresentam diferença significativa ($p < 0,05$), onde o farelo da CCJ apresentou maior teor proteico do que o farelo da CVJ. Da silva et al., (2020), encontraram para a farinha da casca do jatobá o teor de proteína 2,08%, para a farinha da polpa foi encontrado 7,07%, essa variação na mesma espécie de planta pode ser explicada pela origem do material vegetal e outro ponto também se refere as condições climáticas que a planta se originar.

O mesmo ocorre quando se comparar o teor de lipídios disponível em ambos farelos, onde possuímos uma diferença significativa ($p < 0,05$), variando de 0,6 g/100g a 12,04 g/100g. De menezes filho et al., (2019), analisaram a farinha da casca da vagem do jatobá e encontraram 4,03% de fração lipídica, de 1,57 % para a farinha do arilo e de 3,49 % na farinha da semente, respectivamente. O mesmo foi encontrado na acidez analisada em ambos farelos onde houve diferença significativa entre as amostras analisadas.

O teor de fibra total foi consideravelmente maior em ambos farelos analisados de 40%, apresentando um potencial para a aplicação em produtos alimentícios que contenham baixo teor de fibras. Dias et al., (2013), estudaram a farinha da semente e polpa do jatobá, obtendo valores de fibras de 50,02% e 72,14% respectivamente. Segundo DA SILVA et al., (2020), essa diferença pode estar relacionada ao tipo de matéria prima adquirida, estado de maturação, local de cultivo, dentre outras características que podem influenciar.

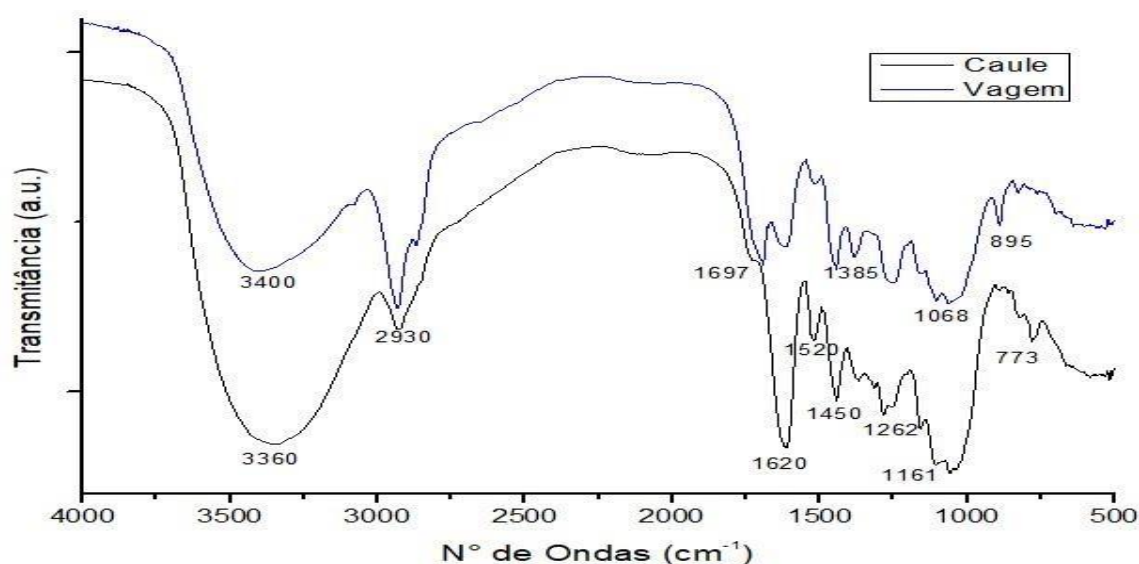
Comprovado assim, que todas as análises realizadas estão de acordo com literatura, e os farelos podem ser utilizado para agregar em algum tipo de produto

alimentício, onde requer a necessidade de realizar um estudo mais aprofundado com análises microbiológicas, sensoriais e avaliações físicas.

3.2 Espectros de FTIR

Essa análise foi utilizada para estudar as interações químicas dos farelos de jatobá, visto que, apresentam um comportamento muito semelhante entre as bandas largas e fortes (figura 2).

Figura 2: Espectros do FTIR do CCJ e do CVJ



Fonte: próprios autores, 2023

As bandas 3400 e 3360 cm^{-1} são referentes ao grupo vibracional O-H, que se é atribuindo a umidade e aos compostos fenólicos ali presentes. Os picos de 1697 cm^{-1} e 1620 cm^{-1} são características de grupos carboxila esterificados e não esterificados da pectina que estar presente em ambos farelos (RESENDE et al., 2020).

O pico de 2930 cm^{-1} é correspondente ao grupo funcional C-H, representando o estiramento vibracional simétrico e assimétrico desse mesmo grupo, e dos grupos metílicos (JACOB & GOPI, 2021).

O pico 1161 cm^{-1} pertencente ao estiramento assimétrico O-C-O e 1385 cm^{-1} atribuído a curvatura de CH_2 ambos podendo ser atribuído a celulose. O comprimento de onda 1050 cm^{-1} ao é atribuído ao estiramento C-O-C, glicosídico. Atribuindo a uma hemicelulose (RESENDE et al., 2020). O pico 1262 cm^{-1} ao alongamento C-O atribuído a uma pectina. 1161 cm^{-1} ao alongamento simétrico O-C-O equivalente a uma ligação glicosídica da celulose, pectina. O pico 1068 cm^{-1} ao alongamento C-O e -alongamento de CC (pectina e celulose). O pico 1520 cm^{-1} a uma vibração de flexão N-H de amins primarias (YING et al., 2017).

verifica-se que ambos farelos provenientes das cascas do jatobá encontra-se altos teores de polissacarídeos como exemplo a pectina, hemicelulose e celulose. Dentre compostos fenólicos e glicoproteínas, algo característico encontrado nas paredes celulares dos vegetais e frutas (YING et al., 2017).

3.3 Densidade, índice de Carr e fator de Hausner

Os valores das densidades, o índice de CARR e o Fator de Hausner estão dispostos na tabela 2.

Tabela 2 – Densidade aparente, compacta e real, índice de Carr e Fator de Hausner.

Caracterização	Farelo da casca do caule	Farelo da casca da vagem
Densidade aparente (g/mL)	$0,41 \pm 0,01^a$	$0,54 \pm 0,04^a$
Densidade compacta (g/mL)	$0,52 \pm 0,00^a$	$0,78 \pm 0,03^b$
Densidade real (g/mL)	$0,11 \pm 0,01^a$	$0,11 \pm 0,00^a$
Índice de CARR	$18,87 \pm 0,12^a$	$8,4 \pm 0,20^b$
Fator de Hausner	$1,23 \pm 0,00^a$	$1,09 \pm 0,00^b$

Os valores são representados como média $\pm$ desvio padrão (n=3). As letras diferentes na mesma linha indicam diferenças significativas ($p < 0,05$).

A densidade é analisada por influenciar diretamente na seleção da embalagem e seu transporte, ou seja, quanto maior a sua densidade maior o espaço ocupado pelo

produto. A densidade aparente não diferiu significativamente entre as amostras dos farelos analisados com ($p < 0,05$).

De menezes filho et al. (2019), estudaram a densidade aparente da farinha do jatobá, com valores da casca de 0,6 g/mL e da semente de 0,72 g/mL. A densidade real é semelhante aos analisados nesse trabalho, visto que, esses resultados influencia as características das amostras.

O índice de compressibilidade (IC) e o fator de Hausner (FH) são medidas indiretas características do fluxo para uma determinada farinha ou farelo. As propriedades de fluxo com o fator de Hausner pode ser atribuído aos seguintes parâmetros: para uma propriedade excelente o fator de FH deverá está entre 1,00 – 1,11, bom 1,12 – 1,18, razoável 1,19 – 1,25, aceitável 1,26 – 1,34, difícil 1,35 – 1,45, muito difícil 1,46- 1,59, extremamente difícil $> 1,60$.

Valores de IC entre 15-20% têm boa fluidez, entre 20-35 pobre fluidez, entre 35-45% fluidez ruim e IC $> 45\%$ fluidez muito ruim (DOS SANTOS et al., 2018). Considera-se assim, que os farelos obtidos possuem uma boa fluidez. Diferente do encontrado por Dos santos et al. (2018), que obtiveram uma baixa fluidez com a farinha de amêndoas de manga, obtendo 41,56%, respectivamente.

Nesse contexto, o farelo da casca do caule obteve uma fluidez boa e da casca da vagem do jatobá com uma fluidez boa, estatisticamente não ocorreu diferença significativa entre as amostras (LUMAY et al., 2012). Valores esses que estão de acordo com a literatura analisada por DE MENEZES FILHO et al., (2019) onde ambas as farinhas da casca e semente, apresentam maior densidade, sendo consideradas farinhas pesadas.

3.4 Higroscopicidade, solubilidade, absorção em água e em óleo, atividade de água e pH

Na tabela 3, estão expressos os resultados de propriedades hidrofílicas, absorção de óleo e pH, apresentam diferença estatística significativa ($p < 0,05$).

Tabela 3 – Propriedades de hidratação, absorção de óleo e pH.

Caracterização	Farelo CCJ	Farelo CVJ
Higroscopicidade (g/100g)	7,41±5,17 ^a	13,14±0,87 ^a
Solubilidade (g/100g)	58,46±0,05 ^b	73,83±0,02 ^a
Absorção de água (g/100g)	3,14±0,32 ^a	2,90±0,06 ^a
Absorção de óleo (gÓleo/g)	2,80±0,53 ^a	2,34±0,28 ^a
Atividade de água (à 25°C)	0,46±0,00 ^a	0,57±0,00 ^a
pH (à 25°C)	5,06±0,01 ^a	4,92±0,01 ^b

Os valores são representados como média ± desvio padrão (n=3). As letras diferentes na mesma linha indicam diferenças significativas (p<0,05).

A higroscopicidade do farelo da CVJ foi de 13,14 (g/100g), valor consideravelmente alto em relação ao farelo CCJ de 7,41 g/100g. Santos et al. (2018) ao estudarem farinha de amêndoas de manga obtiveram valores próximo desse trabalho, exatamente de 11,46%, onde essa comparação se dar ao teor de carboidratos disponível na matéria prima analisada, pois a higroscopicidade representa justamente o teor de água em equilíbrio disponível na planta ou matéria-prima, o que muda de acordo com suas características botânicas.

As solubilidades dos farelos apresentaram uma diferença significativa, onde CVJ é mais solúvel em água que a CCJ. Essa diferença pode ser atribuída à baixa quantidade de substâncias solúveis em água, como exemplo os minerais, e que pode ser relacionada ao baixo valor de cinzas da CVJ. De menezes filho et al., (2019), observaram que a farinha do arilo contém 42,52% de solubilidade, para a da casca foi de 8,33% de solubilidade e da semente de 7,19%.

A capacidade de absorção de água do farelo da CCJ apresentou maior sorção do que a da vagem, ou seja, quanto maior for a quantidade de farelo da CCJ adicionado em água, maior será a absorção desse produto. O índice de absorção de água é uma propriedade importante nas características sensoriais dos produtos alimentícios, isto porque pode expressar a capacidade do grânulo de amido em absorver a água (SANTANA et al., 2017).

A capacidade de absorção em óleo não apresentar diferença estatística significativa entre os farelos (p<0,05), com valores variando de 2,08 a 2,34 gÓleo/g. Santana et. (2017), observaram que os índices de absorção em óleo, poderá definir

se o farelo será utilizado em produtos cárneos ou produtos feitos a partir do processo de emulsificação.

A atividade de água (a_w) obtida para os farelos não diferiu significativamente, e obtiveram valores inferiores a 0,60, consideradas estáveis ao desenvolvimento microbiano. Estes resultados obtidos podem ser considerados como produtos farináceos. Pois, quanto mais baixa for a a_w , menor a ação enzimática e menor ação por degradação exercida por microrganismos deterioradores (DE MENEZES FILHO et al., 2019).

Em relação ao potencial de hidrogênio (pH), os farelos do CCJ e da CV se mostraram pouco ácidos, variando de 5,06 e 4,92, respectivamente. A acidez é um parâmetro de importância na questão de avaliação do estado de conservação em alimentos

3.5 Atividade antioxidante e os compostos fenólicos

Na tabela, estão descritos os resultados do teor de compostos fenólicos totais, atividade antioxidante frente ao radical DPPH e habilidade quelante do íon ferro dos extratos hidroalcoólico das amostras casca do caule e casca da vagem do jatobá. Em todos os parâmetros foram observadas diferenças estatísticas significativas ($p < 0,05$) em ambos os extratos.

Tabela 4 – Compostos fenólicos e atividade antioxidante dos extratos

Caracterização	Casca do caule (CCJ)	Casca da vagem (CVJ)
Compostos fenólicos (mgEAG/g)	197,52±2,98 ^a	144,86±8,41 ^b
DPPH (%)	81,81±0,15 ^b	82,91±0,08 ^a
FRAP (mg ESU _f Fer/g)	152,43±5,01 ^a	50,83±2,04 ^b

Os valores são representados como média ± desvio padrão. As letras diferentes na mesma linha indicam diferenças significativas ($p < 0,05$).

Os compostos fenólicos dos extratos hidroalcoólicos são considerados alto, sendo a CCJ mais rica nestes compostos bioativos que a CVJ. As amostras CCJ e CVJ. A atividade antioxidante pelo método DPPH é bastante elevada com valores acima de 80%. Esses resultados demonstraram que ambos farelos apresentaram

importante ação antioxidante, podendo ser atribuídos a prevenção a ação de radicais livres.

As frutas do cerrado brasileiro apresentam diferentes perfis qualitativos e quantitativos de teor de compostos fenólicos, essa diferença ocorre justamente devido a que parte da planta é analisada sendo ela a casca, polpa ou semente .

Valores semelhantes a essa pesquisa também é encontrado por de menezes filho et al., (2019), ao analisarem outras partes do jatobá, com valores variando de 79,31% a 89,27% pelo método DPPH. A atividade pelo mecanismo de redução de Fe (FRAP) apresentou valores três vez maior do que CCJ quando comparado a CVJ.

4. CONCLUSÃO

Os farelos são indicados para produtos que requerem baixa retenção de água e de gordura, para melhorar as características sensoriais e aumentar a sensação e a retenção do sabor do produto. Podendo até ter mais estudos sobre os desenvolvimentos de novos produtos à base desses farelos. Além disso, poder ser constatado que é possível a extração de compostos bioativos das cascas do jatobá de ambas as partes da planta, mostrando uma ótima eficiência no teor de compostos fenólicos e atividade antioxidante. Os farelos possuem fatores que podem ser utilizados com um aditivo natural, com função antioxidante, ou seja, de retardar os processos oxidativos dos alimentos.

Pesquisas realizadas sobre o teor de compostos fenólicos e a atividade antioxidante presentes em plantas nativas na região nordeste podem promover o reconhecimento de alimentos nativos ricos em compostos fenólicos com ótima atividade antioxidante, aumentar o consumo de alimentos provenientes dessas matérias-primas.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, W.M.C., MONTEBELLO, N. P.M., BOTELHO, R. B. A., BORGIO, L.A. Alquimia dos alimentos. Revisão técnica. Série Alimentos e Bebidas. 3ª edição. Brasília. Editora Senac, 2017. ISBN: 978856264383.
- ACHOR M, et al. Physicochemical Properties of Cassava Starch Retrograded in Alcohol. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, v. 5, n. 10, p. 126–131, 2015.
- BRASIL - MINISTÉRIO DA SAÚDE. ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC Nº 263, de 22 de setembro de 2005 Regulamento Técnico para Produtos de Cereais, Amidos, Farinhas e Farelo. 2005, p. 6.
- CAPARINO OA, et al. Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine “Carabao” var.) powder. *Journal of Food Engineering*, v. 111, n. 1, p. 135–148, 2012.
- FALLER BV, AMORIM RS, OLIVEIRA IA, JARDIM IN. Efeito da poda radicular e do hidrogel no crescimento de mudas de jatobá. *Nativa Sinop*. 2020; v.8, n. 4, 476-483.
- DA SILVA EF, BATISTA EM, ALMEIDA EJN, LEMOS MR, BARCELOS CS, et al. Physical, physicochemical and centesimal characterization of jatobá-do-cerrado (*Hymenaea stigonocarpa* Mart.). *Editora verde*. 2020; 15:2, 139-145.
- DACANAL GC, MENEGALLI FC, Experimental study and optimization of the agglomeration of acerola powder in a conical fluid bed. *Powder Technology*, v. 188, n. 3, p. 187–194, 2009.
- DE MENEZES FILHO ACP, SILVIA MA, PERREIRA AV, OLIVEIRA FILHO JG, CASTRO CFS. Parâmetros físico-químicos, tecnológicos, atividade antioxidante, conteúdo de fenólicos totais e carotenóides das farinhas dos frutos do jatobá-do-cerrado (*Hymenaea stigonocarpa* Mart. ex Hayne). *Multi-Science Journal*. 2019; v.2, n 1 ,93-100.
- DIAS LS, LUZIA DMM, JORGE N, Propriedades físico-químicas e bioativas da polpa e fração lipídica da semente de *Hymenaea courbaril* L. *Culturas e Produtos Industriais*. 2013 v. 49, p. 610-618.
- DRAKOS A, et al. Influence of jet milling and particle size on the composition, physicochemical and mechanical properties of barley and rye flours. *Food Chemistry*, v. 215, n. 1, p. 326–332, 2017.
- FELKER, F. C. et al. Comparison of properties of raw pulse flours with those of jetcooked, drum-dried flours. *LWT - Food Science and Technology*, v. 96, n. February, p. 648–656, 2018.

HAUSNER HH, Friction conditions in a mass of metal powder. Powder Metall, v.3, p.7-13, 1967.

PRAGATI S, GENITHA I, RAVISH K, Comparative Study of Ripe and Unripe Banana Flour during Storage. Journal of Food Processing & Technology, v. 5, n. 11, p. 1–6, 2014.

SARABANDI KH, PEIGHAMBARDOUST SH, PEIGHAMBARDOUST ARS, SAMAEI SP. Effect of different carriers on microstructure and physical characteristics of spray dried apple juice concentrate. J Food Sci Technol. 55(8):3098–3109. 2018. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3235-6>

SANTOS FS, FIGUEIRÊDO RMF, DE LIMA TLM, DE LIMA ARC, QUEIROZ AJM. Caracterização física de farinha de amêndoas de manga. Congresso técnico científico de engenharia e da agronomia.CONTECC. Maceió-A. 2018.

SILVIA OS, TASSI EMM, PASCOAL GB. Ciência dos Alimentos princípios de Bromatologia. 1a reimpressão. Rio de Janeiro: Rubio; 2021.

SILVIA EF, BATISTA EM, ALMEIDA EJN, LEMOS MR, BARCELOS SC, SOUZA PA. Physical, physicochemical and centesimal characterization of jatobá-docerrado (*Hymenaea stigonocarpa* Mart.). Editora verde CVAA. 2020; 15:2; 139-145.

TIAGO PV, LAROCCA D, SILVIA IV, CARPEJANI AA, TIAGO AV, DARDENGO JFE, ROSSI AAB. Caracterização morfoanatômica, fitoquímica e histoquímica de *Hymenaea courbaril* (Leguminosae), ocorrente na Amazônia Meridional. Rodriguésia. 2020.

LUMAY, G., BOSCHINI, F., TRAINA, K., BONTEMPI, S., REMY, JC, CLOOTS, R., & VANDEWALLE, N. (2012). Medindo as propriedades de fluxo de pós e grãos. Tecnologia de pó , 224 , 19-27.

VEGGI PC, PRADO JM, BATAGLION GA, EBERLIN MN, MEIRELES AA. Obtaining phenolic compounds from jatoba (*Hymenaea courbaril* L.) bark by supercritical fluid extraction. The journal of supercritical Fluids. 2014; v. 89, 68-77.

CAPÍTULO III: Filme ativo contendo farinha de semolina e extratos de jatobá: propriedades físicas, mecânicas, térmicas, de barreira e antioxidante.

Resumo:

O objetivo deste estudo foi desenvolver filmes pela técnica de *casting*, a partir de uma solução filmogênica aquosa, com amido de semolina (6%, m/m), extrato de pectina do maracujá (1%, m/m), açúcar invertido (1% m/m) e sacarose (1% m/m), aditivados com os extratos da casca do caule (CCJ) e da casca da vagem do jatobá (CVJ). Os filmes foram avaliados quanto às suas propriedades de permeabilidade ao vapor de água (WVP), resistência à tração (TS), atividade antioxidante (por DPPH e FRAP) e teor de compostos fenólicos (TFT). O filme otimizado (0,5% CCJ e 0,5% CVJ) apresentou a menor WVP ($1,60 \cdot 10^{-4}$ mm/m².hmmHg), maior TS (5,62 Mpa), melhor TFT (8,88 mgEAG/g), e a melhor atividade antioxidante (por DPPH 75,97 % e 5,62 mmol Fe₂SO₄/g). Além disso, apresentou um teor de compostos fenólicos de 8,80 mgEAG/g e a atividade antioxidante pelo método de DPPH foi de 75,28 % e pelo método de FRAP foi de 6,02 mmol/g. O filme otimizado apresentou uma degradabilidade em solo de 83,47% em 15 dias. Portanto, o filme desenvolvido pode ser indicado como material polimérico para embalagem primária, podendo ser usado para desenvolver embalagem ativa antioxidante para a indústria de alimentos.

Palavras-chave: Antioxidante. Biodegradável. Filme. Processo de Otimização.

1 INTRODUÇÃO

Na área de embalagens de alimentos surge o interesse no desenvolvimento de novos materiais ativos biodegradáveis, esses que contribuíram para a redução de plásticos sintéticos quando para uma maior vida útil dos produtos alimentícios ali embalados por meio de incorporação de substâncias ativas, sendo antioxidante ou antimicrobiana (TALÓN et al., 2017).

Para ocorrer a substituição total ou parcial dos materiais plásticos sintéticos não biodegradáveis, é essencial desenvolver novas embalagens de alimentos, provenientes de fontes naturais derivados de polissacarídeos, lipídios ou proteínas. Essas moléculas são provenientes de fontes orgânicas, além de serem degradados em curtos períodos de tempo, devido a ação microbiana. Além disto, existe uma demanda de um novo mercado consumidor mas consciente a respeito das questões ambientalistas (DONG et al., 2022).

Em comparação entre as embalagens provenientes do petróleo e os plásticos constituídos por uma matriz biológica, apresentam propriedades mecânicas baixas e uma maior sensibilidade à umidade diferente, dificultando suas aplicações. Portanto, uma alternativa para superar esse problema, é a inclusão de plastificantes, tais como o sorbitol, glicerol, entre outros, que têm sido utilizados para reduzir as forças intermoleculares e melhorar a flexibilidade e extensibilidade dos filmes (ABDORREZA et al., 2011; LIU et al., 2022).

Os biopolímeros plastificados à base de amido têm apresentado ótimas propriedades formadoras de filme, resultando em materiais flexíveis e extensíveis com superfície homogênea e lisa (JARAMILLO et al., 2015). O amido de semolina (*Triticum durum*) é proveniente do trigo duro moído, é um subproduto utilizado pelas indústrias alimentícias no preparo de massas como o macarrão ou em produtos de panificação.

A segurança de aditivos sintéticos é comumente adicionada como conservantes de alimentos, é questionada devido aos potenciais efeitos de toxicidade, carcinogenicidade e teratogenicidade. Os ativos naturais, são justamente uma alternativa como melhorar as propriedades mecânicas em filmes de embalagem, pois seu desempenho pode ser aprimorado ao evitar a deterioração microbiana e oxidativa

dos alimentos, melhorando a qualidade e a vida útil dos produtos embalados (CHOO et al., 2021).

O jatobá pode ser uma fonte de alternativa como um aditivo natural, por possuir em abundância os compostos fenólicos, terpenos, taninos, flavonóides, diterpenos fenólicos, com estudos que comprovam sua riqueza nestas substâncias fitoquímicas antioxidantes e antimicrobiana (VEGGI et al., 2014; DA SILVA et al., 2019; DIAS et al., 2013).

Na literatura, há estudos realizados quanto ao melhoramento das funções físicas e protetoras dos filmes de sêmola incorporados com uma mistura de nanocargas para embalagens ativas e sobre a fabricação e caracterização de filmes antimicrobianos à base de sêmola derivados de combinações de nanobastões e de ZnO e nanocaulim (JAFARZADEH et al., 2017). Na literatura não existia nenhum trabalho a respeito de filmes de jatobá, porém, recentemente foi publicado um trabalho sobre filmes celulósicos de Jatobá (*Hymenaea stigonocarpa*): analisando as propriedades mecânicas, o potencial antioxidante e a biodegradabilidade (ALVES-SILVA, et al., 2022). Até onde observamos, não há estudos utilizando o amido da farinha da semolina, adicionado de plastificantes naturais e pectina do maracujá com extratos vegetais provenientes das cascas do caule e da vagem do jatobá como um material bioativo para aplicação em filmes biodegradáveis.

Neste contexto, o objetivo deste estudo foi desenvolver e avaliar as propriedades físicas, mecânicas, térmicas, de barreira e antioxidante dos filmes ativos provenientes da farinha de semolina, extrato de pectinas do maracujá, aditivado com extratos de jatobá.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material

A casca do caule e a vagem do jatobá (*Hymenaea courbaril*) foram adquiridas no comercio local da cidade de Patos, Paraíba, Brasil. As cascas do maracujá utilizadas para extração da pectina foram adquiridas no comercio local da cidade de João Pessoa, Paraíba, Brasil. As amostras foram selecionadas quanto ao seu estágio maduro, de coloração amarela na casca e levadas ao laboratório de análises físico-química do (CTDR/UFPB). A sacarose, o açúcar invertido e a farinha de Semolina utilizados como plastificantes e amido foram adquiridos no mercado local da cidade de João Pessoa, Paraíba, Brasil.

Todos os reagentes químicos utilizados foram de grau analítico (PA), das marcas Merck, Sigma-Aldrich, Perkin-Elmer e NEON, tais como: reagente Folin Ciocalteu, etanol, DPPH (2,2- difenil-1-picril-hidrazil).

2.2 Métodos

2.2.1 Elaboração dos extratos vegetais

As cascas do caule do jatobá (CCJ) e da vagem do jatobá (CVJ) foram submetidas à secagem a 40°C em estufa com circulação forçada de ar por 24h. Em seguida, trituradas em moinho de facas. Para a obtenção dos extratos foi utilizado 10g de pó obtido da moagem dissolvido em 100mL de solvente (1:10, m/v), onde os solventes utilizados foram etanol/água (50/50%, v/v). O tempo de extração utilizado foi de 2 horas à 40 °C sob agitação constante em uma incubadora Shaker, em seguida a solução foi filtrada sob pressão, e o extrato resultante foi concentrado em rotaevaporador, em banho-maria por 10min (ALCÂNTARA et al., 2019). Os extratos concentrados (Figura 1) foram armazenados ao abrigo da luz à, até a realização das análises.

Figura 1: extrato da casca da vagem e da casca do caule do jatobá



Fonte: próprios autores, 2023.

2.2.2 Obtenção do extrato pectinoso do maracujá amarelo

Os maracujás foram lavados em água correntes e sanitizados. Posteriormente, foram cortados ao meio para retirada da polpa e sementes. Após esse procedimento, o albedo (parte branca) e a casca foram cortadas em pedaços menores. Foram pesadas 500g de água destilada, 200g de albedo e 20g de suco de limão como acidificante. Primeiramente, a água juntamente com o albedo foi aquecida até o amolecimento. Em seguida, o suco de limão foi adicionado e a mistura foi aquecida novamente por mais 10 min. Por fim, o extrato pectinoso do maracujá foi armazenado em recipiente de vidro e resfriado em temperatura ambiente, e por fim armazenado a 4° C (GRISI, 2019).

2.2.3 Preparo do açúcar invertido

A mistura contendo sacarose e água (1:1) foi homogeneizada manualmente e aquecida (120°C) para total diluição durante 20 min. O suco de limão (Tahiti) (3,6 mL) foi adicionado e aquecido novamente até à fervura (5 min). Por fim, o açúcar invertido foi resfriado em recipiente de vidro e armazenado a temperatura ambiente (BRIGHENTI et al., 2011).

2.2.4 Elaboração dos filmes

Os filmes foram preparados (Figura 2), utilizando método de casting, conforme metodologia de Souza, Silva & Druzian (2012), com algumas modificações. Os filmes foram produzidos a partir de uma solução filmogênica aquosa, com farinha de

semolina (6%, m/m), extrato de pectina do maracujá (1%, m/m), açúcar invertido (1% m/m) e sacarose (1% m/m), foram adicionados em forma de aditivos naturais na forma de extratos da CCJ e CVJ em substituição do teor de água.

A solução aquosa foi aquecida em micro-ondas até a temperatura de gelificação do amido de 65°-70°C. A solução filmogênica foi pesada (45g) em placas de petri de poliestireno de 140x15mm e desidratadas em estufa de circulação de ar à 40°±2°C de 7 a 12h. Os filmes obtidos foram armazenados à 75% UR (com solução saturada de NaCl) a 25 °C, durante 10 dias antes de serem caracterizados.

Figura 2: Fluxograma da produção dos filmes biodegradáveis.



Fonte: próprio autor, 2023

As formulações foram determinadas por delineamento composto central rotacional (DCCR), com um modelo de ordem 2^2 com configuração estrela, com 4 pontos axiais e 3 pontos centrais, totalizado 11 formulações (Tabela 1). Variando as concentrações de 0 - 1% dos extratos de jatobá.

Tabela 1 – Matriz do planejamento experimental

Variáveis	Níveis				
	$-\alpha$	-1	0	+1	$+\alpha$
Extrato do CCJ (%)	0,00	0,15	0,50	0,85	1,00
Extrato do CVJ (%)	0,00	0,15	0,50	0,85	1,00

Fonte: próprios autores, 2023

Os filmes foram produzidos pela técnica de casting descrita por Souza, Silva & Druzian (2012), com adaptações. As condições de obtenção dos filmes foram realizadas e otimizadas utilizando a metodologia de superfície de resposta em um planejamento fatorial 2^2 + configuração estrela* com 4 pontos axiais e 3 pontos centrais, com total de onze experimentos, sendo três repetições por unidade experimental. O intervalo entre as variáveis independentes foi determinado com base em experimentos preliminares. As variáveis de respostas foram a permeabilidade ao vapor de água (WVP), a resistência à tração (TS), atividade antioxidante pelos métodos de DPPH e FRAP, além do teor de compostos fenólicos (TFT). O filme otimizado foi caracterizado quanto as propriedades físicas, mecânicas, de barreira, antioxidantes e térmicas. Após a realização dessas análises foi comparado ao filme controle (CO) esse sem adição de extrato vegetal.

2.3 CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES

2.3.1 Teor de fenólicos totais e atividade antioxidante dos filmes

Para verificar o teor de compostos fenólicos totais e a atividade antioxidante, 100 mg dos filmes foram homogeneizados com 10 mL de água destilada por 2 h. Após o período de homogeneização foram centrifugados e o sobrenadante foi utilizado para realização das análises.

2.3.1.1 Compostos fenólicos

O teor de compostos fenólicos totais foi determinado de acordo com a metodologia descrita por Rossi & Singleton (1965), utilizando o reagente Folin Ciocalteu pelo método espectrofotométrico UV-VIS à 760 nm, e com a concentração inicial de 5 mg/mL. Um total de 0,3 mL das amostras foram diluídas com 2,610 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 1,0 e 20,0 mg/L, foi utilizada para calcular os resultados expressos em mg de EAG (equivalente de ácido gálico) por g do extrato.

2.3.1.2 Atividade antioxidante por DPPH

Para atividade antioxidante in vitro foi utilizado o método sequestrador de radicais livres (2,2-difenil-1-picril-hidrazil) DPPH de acordo com metodologia descrita por Brand-Williams, Cuvelier e Berset, (1995). Inicialmente, 10 mg do extrato foi diluído em 10 ml de etanol. Em seguida adicionou-se 2,7 mL da solução de DPPH nos tubos de ensaio foram mantidos em repouso por 30 min ao abrigo da luz. A medida da absorbância foi realizada em espectrofotômetro UV/VIS no comprimento de onda de 517 nm, utilizando uma cubeta de quartzo com 1 cm. O controle foi a solução de DPPH pura. Os ensaios foram realizados em triplicata. A atividade antioxidante foi

calculada em relação à atividade de eliminação do radical (%) de acordo com a equação 1.

$$\% \text{ Inibição DPPH} = \frac{ABS_{controle} - ABS_{amostra}}{ABS_{controle}} \times 100 \quad (1)$$

2.3.1.3 Avaliação da atividade antioxidante por FRAP

A determinação da atividade antioxidante pelo método de redução do Fe³⁺ (FRAP), foi determinada de acordo com a metodologia de Rufino et al. (2006), método espectrofotométrico UV-VIS com leitura em 595 nm. O reagente FRAP foi obtido a partir da combinação de 25 mL de tampão acetato de sódio - ácido acético 0,3 M, (pH 3,6), 2,5 mL de uma solução de TPTZ 10 mM (2,4,6-tris (2piridil)-triazina) e 2,5 mL de uma solução aquosa de cloreto férrico 20 mM. seguindo assim, foram utilizados do extrato da casca de jatobá 0,09 mL, mais 270 mL de água destilada e 2,7 mL da solução FRAP preparada. Realizado em triplicata com tubos de Falcon, ficando no escuro por 30 min, para em seguida realizar a leitura em um espectrofotômetro.

2.3.2 Espessura

A determinação da espessura dos filmes foi realizada com base na norma ASTM d-8136-17 (ASTM, 2017), por meio de um paquímetro digital de inox com resolução de 0,01mm, sendo resultante da média de 10 medições das posições laterais e central.

2.3.3 Propriedades mecânicas

A resistência à tração (RT) e a porcentagem de alongamento (PA) foram medidos usando um instrumento de ensaios estáticos da marca Shimadzu(japão), operando conforme as especificações da ASTM D882-12 (ASTM, 2012). Os corpos de prova foram recortados em formato de tiras de com tamanho 10 x 1,5 mm.A posição inicial da garra foi de 50 mm e a velocidade de puxamento de 12,5 mm/min.

Foram realizadas dez medidas para cada amostra e os resultados expressos em PA como % e RTt como MPa, bem como em percentual de perda das propriedades em relação ao controle (Co).

2.3.4 Permeabilidade ao vapor de água (PVA)

As amostras foram caracterizadas pelo método gravimétrico segundo o método ATSM E96/E96M-16 (ASTM, 2016), com adaptações. Os filmes com 5 cm de diâmetro foram inseridos e vedados nos recipientes de acrílico contendo sílica em gel. Em seguida, o sistema recipiente-filme foi acondicionado em dessecador (25°C) à 75% (com solução saturada de NaCl) (Figura 3). As amostras foram pesadas em balança analítica a cada 24 h por 7 dias. A permeabilidade dos filmes foi avaliada em triplicata, com resultados expressos em gH₂O.mm/m².h.mmHg.

2.3.5 Solubilidade do filme em água

A solubilidade em água foi determinada de acordo com a metodologia descrita por Ojagh et al., (2010), com adaptações. Os filmes foram cortados em quadrados de medindo 2 x 2 cm. A determinação da matéria seca inicial foi determinada por meio de secagem em estufa, a 60°C, por 24 h. Após a primeira pesagem, as amostras foram imersas em um Erlenmeyer de 250 mL com 50 mL de água destilada e mantidas sob agitação a 100 rpm (MultiShaker) por 24 h, a 25 °C. Após este período, a água foi removida por meio de secagem em estufa com circulação de ar a 60 °C por 24 h e feita a medição da massa da matéria seca que não se dissolveu em água. A solubilidade, expressa em porcentagem, foi calculada conforme a Equação 2.

$$S(\%) = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100 \quad (2)$$

Em que, P_i - massa inicial do material seco e P_f - massa final do material seco que não se dissolveu.

2.3.6 Colorimetria

A análise de colorimetria foi realizada em colorímetro da marca GRETAG MACBETH - COLOREYE 2180, utilizando o sistema CIELAB Ttan D65, ângulo de leitura de 10° e com área de visão de uma polegada quadrada, de acordo com ASTM E308-17 (ASTM, 2017b) e adaptações propostas por Jaramillo et al. (2015). A leitura de cor segue o sistema, onde L* (±) é a luminosidade, a* varia do verde (-) ao vermelho (+) e b* varia do azul (-) ao amarelo (+). A diferença total da cor (ΔE) foi calculada pela equação 3, entre as amostras contendo os aditivos naturais e a placa padrão contendo o filme sem aditivos naturais (C1).

$$\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (3)$$

2.4 ANÁLISE DE ESTABILIDADE TÉRMICA

2.4.1 Análise termogravimétrica (TGA)

A análise termogravimétrica (TGA) dos filmes foi obtida em um analisador térmico SHIMADZU modelo DTG-60H. O teste não-isotérmico foi realizado utilizando aproximadamente 10 mg de amostra, em cadinho de alumina com atmosfera ar sintético, fluxo de 50 mL/min, com razão de aquecimento de 10 °C/min, variando de 25-700 °C.

2.4.2 Calorimetria diferencial de varredura (DSC)

Os parâmetros térmicos dos filmes foram avaliados também por meio da calorimetria diferencial de varredura em equipamento SHIMADZU, modelo DSC-60, operado com gás nitrogênio a 20 mL/min. A massa das amostras variou de 5 a 9 mg e foi acondicionada em recipiente de alumínio fechado. Posteriormente, as amostras foram aquecidas até 500 °C a uma taxa de 10 °C/min.

2.4.3 Espectroscopia na região do infravermelho (FTIR)

A análise foi realizada da marca SHIMADZU modelo IR Prestige-2, Japão. Utilizando o método de reflectância atenuada (ATR). Os espectros foram obtidos no modo de transmitância, na faixa de 4000 a 500 cm^{-1} , com resolução de 4 cm^{-1} e 40 varreduras, de acordo com ASTM D5477-11 (ASTM, 2011).

2.4.4 Difração de raios-X (DRX)

A análise de difração de raios X (DRX) foi obtida através dos parâmetros propostos por Spagnol et al. (2018). Foi utilizado um difratograma de raios X com uma tensão aplicada de 40 kV e uma corrente de 30 mA (radiação $\text{CuK}\alpha = 1,5418 \text{ \AA}$), na faixa de $2\theta = 10\text{-}50^\circ$ e uma velocidade de $2^\circ.\text{min}^{-1}$.

2.5 DEGRADABILIDADE

A avaliação da degradabilidade dos filmes foi verificada através da perda de massa quando exposto à microbiota natural encontrada no solo por um período de 15 dias. As amostras foram cortadas em forma retangular (2x2cm), pesadas e enterradas em recipientes de plásticos. No sétimo dia corrido de análise e no décimo quinto foi realizado justamente a análise com os filmes, onde foram desenterrados e lavados com água destilada para eliminar os resquícios de terra, em seguida, foram secos em estufa a 40 °C por 24 h e pesadas (CHANDRA; RUSTGI, 1997).

2.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Todas as análises foram conduzidas em triplicata. Os dados obtidos do planejamento fatorial foram utilizados para gerar as superfícies de resposta com auxílio do software Statistica versão 7.0. O modelo otimizado foi repetido nas condições ótimas indicadas pela função desejabilidade.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Resultados das análises experimentais das formulações dos filmes

As onze formulações dos filmes com extrato do jatobá e o controle (CO), foram investigados quanto à sua tração, permeabilidade, teor de compostos fenólicos e teor de atividade antioxidante por DPPH e FRAP, estão descritos na tabela 2.

Tabela 2: Propriedades mecânicas e antioxidantes: RT- resistência à tração, PVA- permeabilidade ao vapor de água, TFT- teor de compostos fenólicos, DPPH e FRAP – atividade antioxidantes.

Variáveis independentes (X e Y)			Variáveis dependentes				
Formulações	CCJ(%)	CVJ(%)	RT (Mpa)	PVA 10 ⁻⁴ mm/m2 .h.mmHg.	TFT (mgEAG/g)	DPPH (%)	FRAP (mmol Fe2S O4/g)
F1	0,15	0,15	2,84	1,41	4,28	0,00	0,91
F2	0,15	0,85	6,10	2,10	11,68	34,05	4,28
F3	0,85	0,15	3,14	1,74	5,28	5,02	1,43
F4	0,85	0,85	10,52	1,77	13,57	58,12	6,08
F5	0,00	0,50	7,06	1,67	6,08	16,25	2,75
F6	1,00	0,50	6,34	1,87	8,53	25,48	3,26
F7	0,50	0,00	3,45	1,12	8,55	32,57	2,83
F8	0,50	1,00	5,25	1,36	16,51	76,74	7,19
F9	0,50	0,50	7,37	1,84	9,94	74,89	5,73
F10	0,50	0,50	3,83	1,81	8,25	77,16	5,52
F11	0,50	0,50	5,68	1,17	8,45	75,87	5,63
CONTROLE	-	-	7,44	1,31	-	-	-

Fonte: próprio autor, 2023.

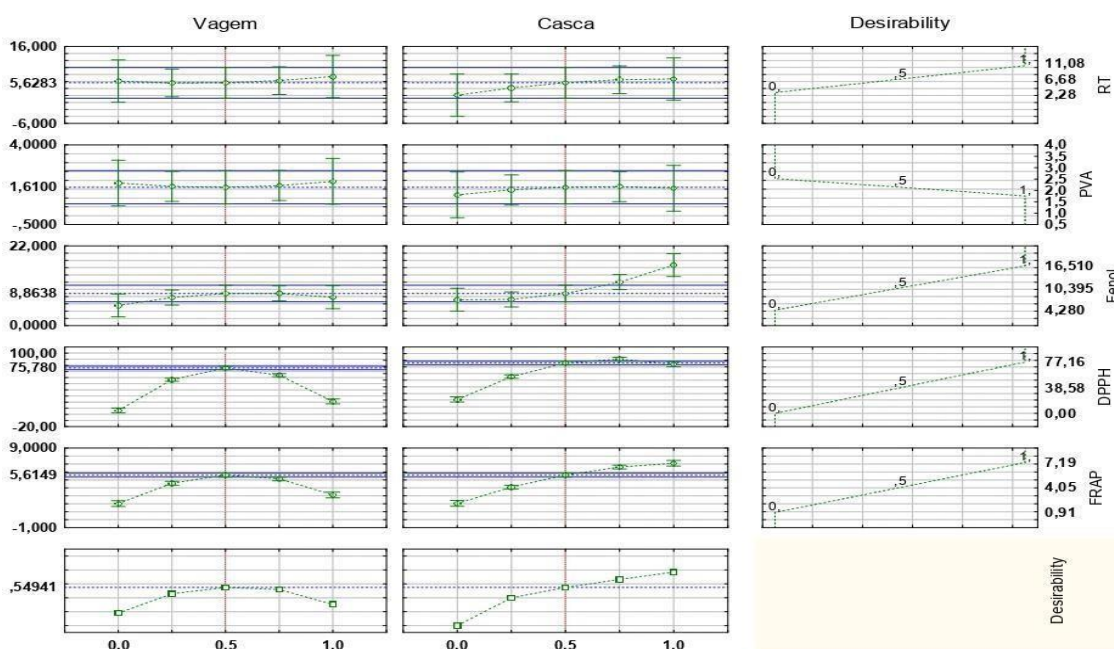
Os valores experimentais em relação as variáveis independentes expressos na tabela 2, variaram de acordo com o teor de extratos adicionados ao em cada

formulação. A formulação F4(0,85% de CCJ e 0,85% de VJ) foi a que obteve maior resistência a tração, já a F1 (0,15% de CCJ e 0,15 % de VJ) obteve a menor resistência a tração e menores atividade antioxidantes e de compostos fenólicos totais.

Os menores valores de permeabilidade ao vapor de água foram observados nas formulações F7 (0,50 % da CCJ e 0,00% da VJ) e F11 (0,50 % da CCJ e 1,00% da VJ) 1,12 e 1,17 em 10^{-4} mm/m² .h.mmHg, respectivamente, são valores de permeabilidade menores em relação a formulação controle. O que pode ser associado as características das interações intramoleculares dos polímeros após a adição dos extratos (HAN & SONG, 2021).

Com a aplicação da função de desejabilidade (Figura 4), foi possível conferir que a região onde está contido os tratamentos 9,10 e 11 compreendidos no intervalo de 0,5% CCJ e 0,5% da CVJ, correspondem às variáveis de otimizadas, indicadas pela superfície de resposta. O ponto central apresentou as melhores características de qualidade a respeito dos demais tratamentos onde foi considerado aquela formulação que melhor apresentou as condições para obtenção do filme.

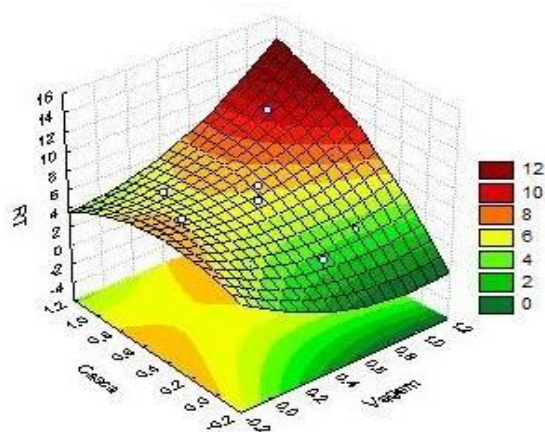
Figura 4: gráfico dos perfis para o valor previsto e a desejabilidade



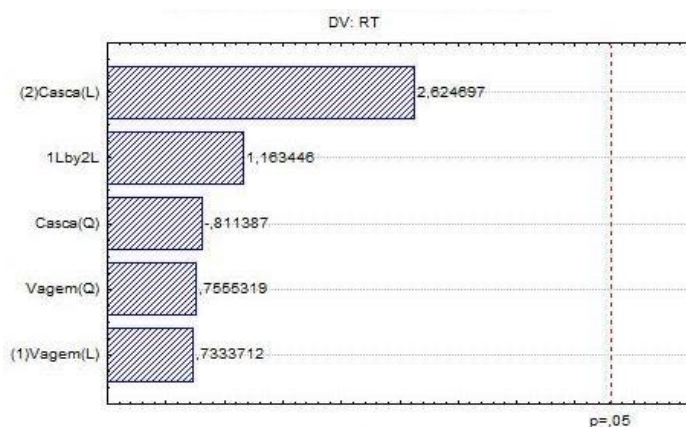
A análise dos gráficos de superfície de resposta e de Pareto (Figura 5), gerado a partir dos dados experimentais da otimização do processamento do filme,

mostraram que, entre os parâmetros analisados de RT e PVA, não ocorreu nenhum efeito significativo entre as matérias primas estudadas. O que foi diferente com os parâmetros de respostas correspondentes a atividade antioxidante e o teor de compostos fenólicos, visto que, a concentração do extrato da casca do caule foi um fator que teve influência linear na função de resposta do DPPH, FRAP e compostos fenólicos.

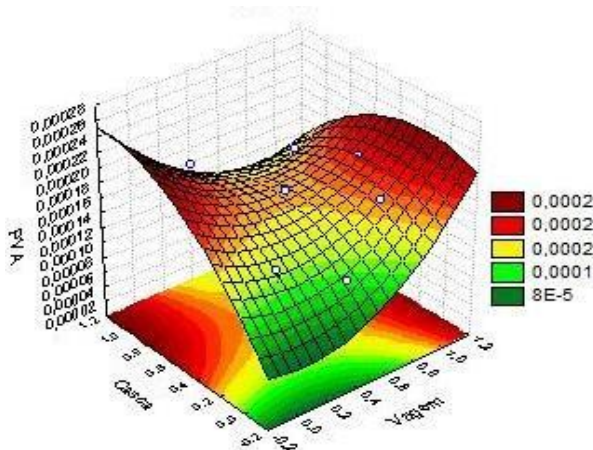
Figura 5: Gráficos de Superfícies de Respostas e de Pareto, RT, PVA, FRAP, COMPOSTOS FENOLICOS e DPPH



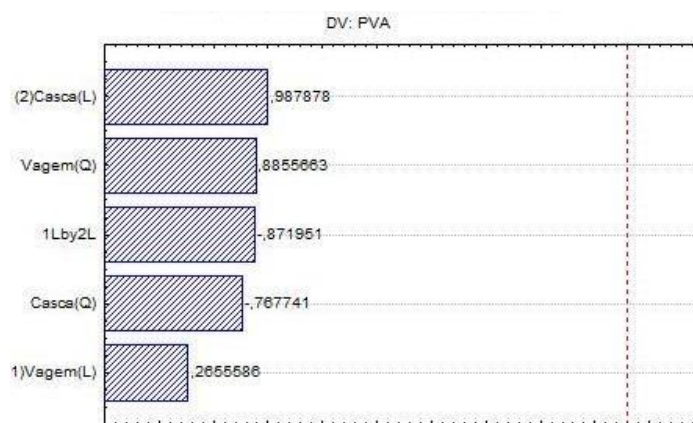
$$RT = 4,66 - 7,44x + 4,54x^2 + 5,34y - 4,86y^2 + 8,41xy.$$



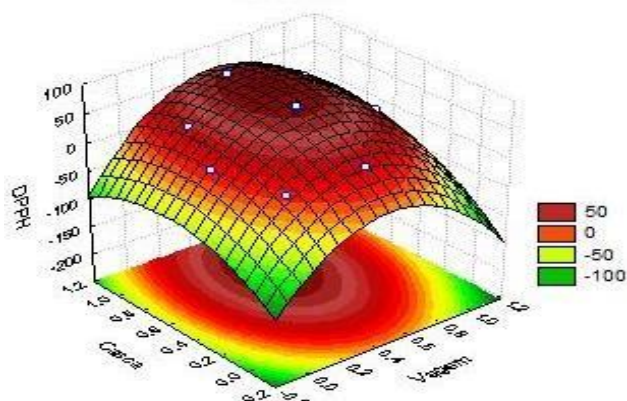
p=,05



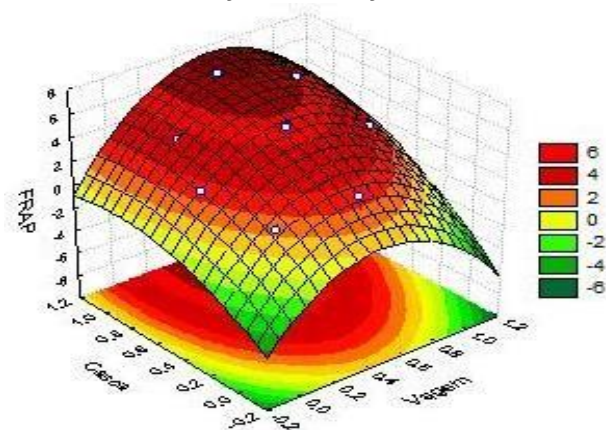
$$PVA = 1,072 - 0,37x + 1,13x^2 + 2,03y - 0,99y^2 - 1,34xy$$



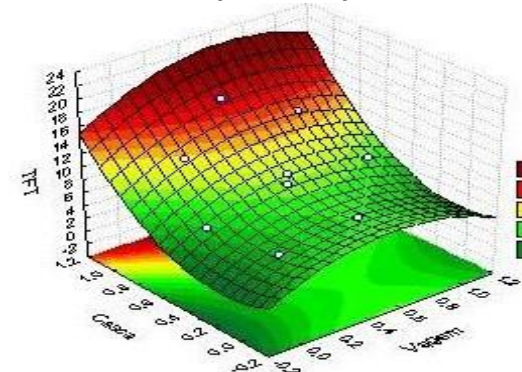
p=,05



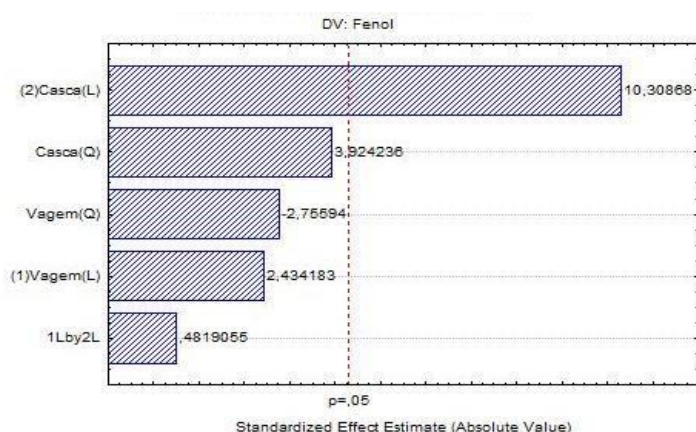
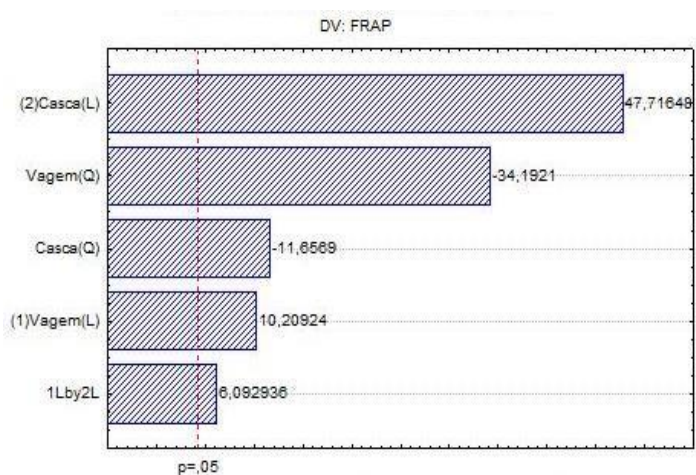
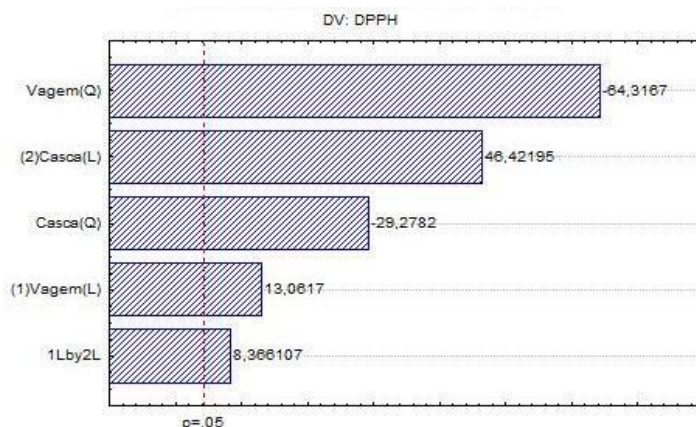
$$\text{DPPH} = -38,79 + 243,60x - 248,09x^2 + 146,61y - 112,93y^2 + 38,87xy$$



$$\text{FRAP} = -,86 + 11,94x - 12,16x^2 + 7,87y - 4,14y^2 + 2,61xy$$



$$\text{TFI} = 4,32 + 9,97x - 8,62x^2 - 3,61y + 12,27y^2 + 1,81xy$$



Os resultados obtidos nesse estudo mostraram que a interação dos extratos não interferiu negativamente nas propriedades do filme, como aconteceu com a WVP (Figura 5). A interação entre as variáveis de independentes RT e WVP não foram

significativas, considerando um intervalo de confiança de 95%. A partir da superfície de resposta da resistência à tração (Figura 5) gerada pela equação correspondente, pode-se afirmar que as variações na concentração do extrato influenciam na atividade antioxidante. A seleção do ponto central combina com alta resistência à tração e baixa permeabilidade ao vapor de água, atribuindo ótimas propriedades ao filme.

Com base nas condições obtidas pela a desejabilidade onde estão apresentados os dados obtidos também nas Figuras 4 e 5, a obtenção do filme que foi validada de acordo com os parâmetros de resistência a tração, permeabilidade ao vapor de água, atividade antioxidante por DPPH e FRAP e o teor de compostos fenólicos, para as variáveis de respostas sendo os extratos da casca do caule e a casca da vagem.

Os compostos bioativos presentes no jatobá, como exemplo os compostos fenólicos estão disponíveis em grande quantidade, e possuem atividade antioxidante que pode inibir os efeitos da oxidação nos alimentos (ALVES-SILVA et al., 2022). O teor de compostos fenólicos encontrados foi de 8,80 mgEAG/g e a atividade antioxidante pelo método de DPPH foi de 75,28 % e pelo método de FRAP foi de 6,02 mmol/g.

3.2 Resultados da otimização

Encontra-se na tabela 3 os dados referentes a propriedade física, a resistência a tração e alongamento e de permeabilidade ao vapor de água referente ao filme otimizado na concentração de extrato de 0,5% em comparação ao filme controle cujo é sem adição de compostos bioativos.

Tabela 3: resultados da propriedade física, a resistência a tração e alongamento e de permeabilidade ao vapor de água.

Parâmetros	Otimizado	Controle
Espessura (mm)	0,170	0,160
Alongamento (%)	15,75±2,24	8,6±3,21
RT (Mpa)	5,24±1,58	7,44±2,73
PVA (10 ⁻⁴ mm/m ² .hmmHg)	1,79±0,19	1,31±1,13

Fonte: próprio autor, 2023.

Os resultados da espessura do filme otimizado foram próximos aos previstos na literatura para filmes obtidos a partir do Jatobá de 0,170 mm. os autores NASCIMENTO et al. (2012), analisaram filme a base de amido da farinha do mesocarpo de maracujá e alcançando uma espessura média de 0,133 a 0,185 mm.

ALVES-SILVA et al. (2022), obtiveram uma espessura de 0,09 - 0,20 mm em filmes adquirido da polpa do jatobá incorporado com glicerol. JAFARZADEH et al. (2017), obtiveram a espessura de 0,14 mm em filmes compostos de farinha da semolina. O aumento da espessura pode estar associado a uma maior concentração de sólidos solúveis presentes na solução filmogênica do filme proveniente das cascas do jatobá.

O filme otimizado apresentou um alongamento de 15,75% diferente do filme controle que obteve 8,6%. Essa diferença primeiramente ocorreu devido a incorporação dos extratos a solução filmogênica. O que também é observado a diminuição na resistência a tração do filme otimizado em comparação ao controle. Pois essa adição dos extratos à solução preenche o espaço que ficar vazio entre as moléculas presentes, sendo elas provenientes do amido, da pectina e dos plastificantes, enfraquecendo assim as interações dos biopolímeros, aumentando o volume livre e a mobilidade das cadeias poliméricas dentro da matriz do filme (NGUYEN et al., 2022). Alves-silva et al., (2022), alcançaram um alongamento de 11,86% no desenvolvimento de um filme proveniente da polpa do jatobá.

A solubilidade em água do filme otimizado foi de 54,15 e do controle 41,42. A diferença entres esses resultados advém da matéria-prima utilizada, o amido da farinha de semolina, que é um polissacarídeo solúvel em água devido a interação das pontes de hidrogênio entre a água e o amido, ocorrendo então uma alta capacidade de absorção (JAFARZADEH et al., 2017).

Com a incorporação do extrato vegetal obtido do jatobá, verifica-se que um aumento na permeabilidade ao vapor de água, exatamente de $1,79 \cdot 10^{-4}$ mm/m².hmmHg em relação ao filme controle que foi de $1,31 \cdot 10^{-4}$ mm/m².hmmHg respectivamente. Os extratos aumentaram a hidrofobicidade da superfície reduzindo a sorção de vapor. Contudo a difusão molecular possuiu um efeito importante a respeito da permeabilidade na mistura dos componentes do filme, isso facilitando uma maior difusão de água (WONGPHAN et al., 2022).

As características de cor na tabela 4, são de primordial importância pois estará influenciando diretamente na aceitação do produto ao consumidor final.

Na tabela 4, constar os dados referentes a atividade ótica do filme otimizado.

Parâmetros	Filme otimizado (FO)	Filme controle (C1)
L*	49,93±1,30	59,77±0,88
a*	4,24±0,72	-2,02±0,15
b*	20,16±1,36	1,23±0,30
AE	54,04±0,76	59,82±0,88

Fonte: próprio autor, 2023.

Os parâmetros de cor (L*, a* e b*) variaram de acordo com o tipo de material que é constituído o filme. O filme controle foi relativamente transparente em comparação ao filme otimizado que diminuiu a luminosidade (L*) e aumentou os valores obtidos das cores de vermelho (a*) e amarelo (b*) respectivamente, foram as cores que prevaleceram no FO, e está de acordo com o que foi produzido, um filme de cor opaca, escura.

Essa característica ocorreu devido a adição do extrato à matriz polimérica, pois a cor deles era bem forte, sendo um meio amarelo escuro o da CVJ e o outro vermelho tijolo, o da CCJ., VARGAS et al. (2017), obteve resultados próximos analisando filmes de arroz vermelho (*oryza glaberrima*) obtendo um filme mas escuro e mais avermelhado. Essa característica pode ser oriunda das moléculas dos taninos e proantocianidinas que contém no jatobá e podem influenciar justamente nos parâmetros de cor. O aumento do amarelo no filme otimizado pode ser devido à reação de Maillard que ocorre entre as amins e grupos carbonilas possivelmente presentes nas cascas do jatobá.

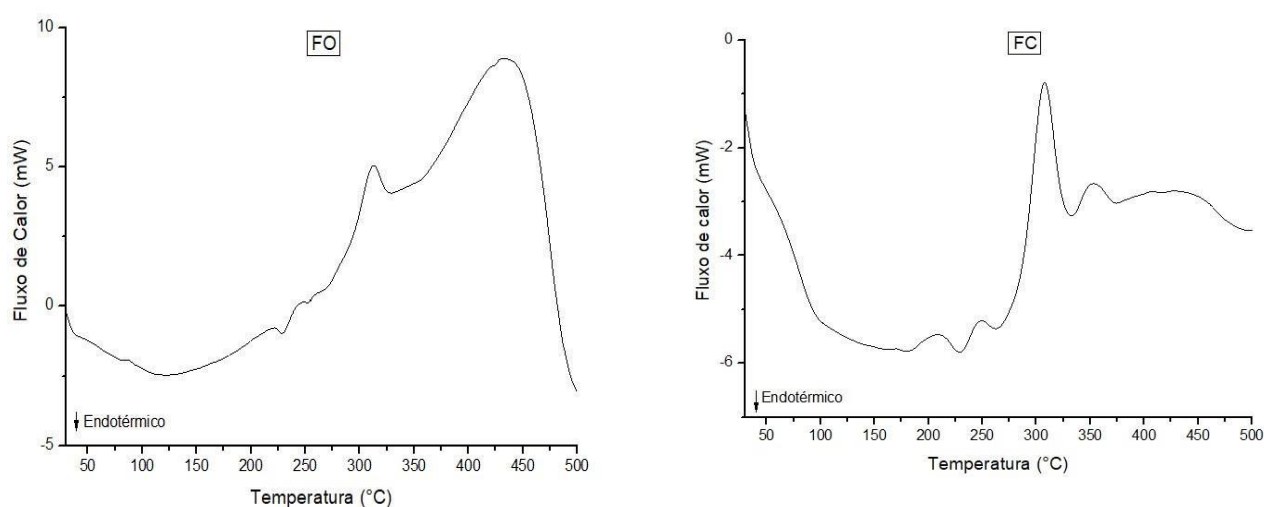
Ocorrendo essa característica devido a adição dos extratos contidos na formulação filmogênica, podendo então esse FO ser indicado para embalar produtos lipídicos a fim de evitar a foto-oxidação.

3.3 PROPRIEDADES TÉRMICAS

3.3.1 Calorimetria diferencial de varredura (DSC)

O comportamento térmico dos filmes foi analisado por DSC (figura 6), onde contém os termogramas dos filmes otimizado (FO) e controle (C1).

Figura 6: Gráficos do DSC



Fonte: próprios autores, 2023.

Os picos entre (120-150°C) nos filmes FO e FC são atribuídos a processos endotérmicos, na faixa da temperatura de fusão onde é atribuído a formação de cristais, esses formados durante a retrogradação do amido. Visto que, a adição do extrato vegetal não afetou esse processo do amido devido a complexibilidade de formação da base dos filmes controle. Cabe destacar que, alguns aditivos ou componentes podem levar à diminuição da temperatura de fusão em matérias termoplásticas (MEDINA-JARAMILLO et al., 2017).

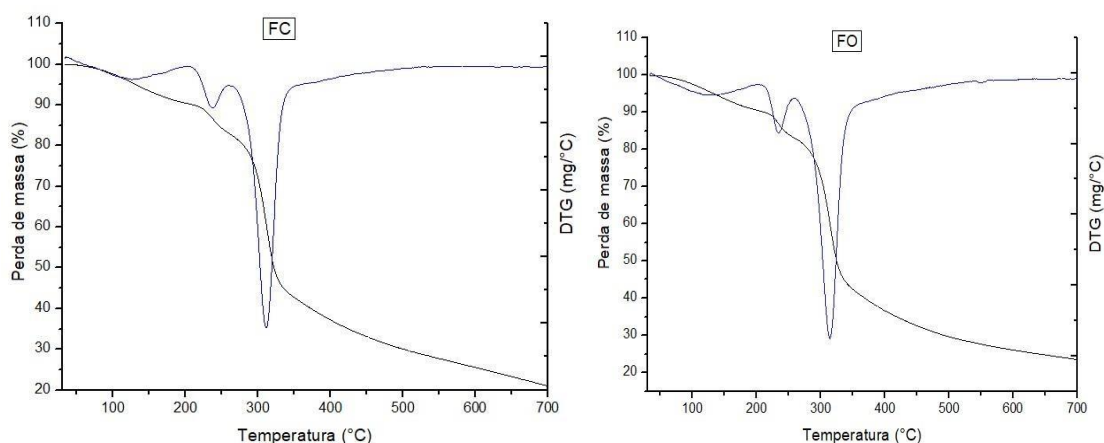
O primeiro pico em 250°C, também é um evento endotérmico relativo à umidade do material. Na faixa de 325°C, corresponde a um evento exotérmico relativo ao início da degradação. Verifica-se que a fusão no filme otimizado começa na faixa (300 – 350°C), diferente do filme controle que se inicia em na faixa de (200-250°C),

isso se dever a interação do efeito das moléculas constituídas dos extratos adicionados.

3.3.2 Curvas da Termogravimétrica (TGA)

O estudo da estabilidade térmica é utilizado para o processamento dos filmes realizando uma variação de perda de massa em função da temperatura. A figura 9, representa o comportamento da degradação térmica dos materiais produzidos, correspondendo a sua perda de massa.

Figura 9: Curvas do TGA



Fonte: próprios autores, 2023.

Os termogramas expressos na (Figura 9), exibiram três estágios (tabela 4) de perda de massa com comportamentos semelhantes, algo característico nos materiais poliméricos produzidos a partir do amido (CAETANO et al., 2018). O primeiro estágio ocorreu entre (59-125°C) equivalente a evaporação da água contida no processor de produção dos filmes com perda de massa de 8-9% a 125°C.

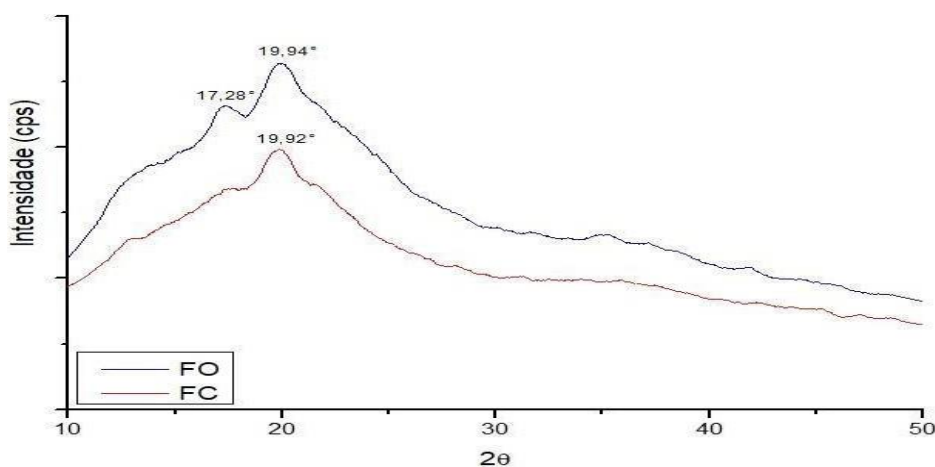
O segundo estágio ocorre entre (212-237°C), é atribuído as reações de degradação das estruturas dos polímeros, que pode estar associado as moléculas dos plastificantes e da pectina. Já na terceira etapa ocorre entre (276-313°C) sendo referente a decomposição dos componentes orgânicos com a massa residual do filme otimizado de 24 % e do filme controle de 33%.

CAETANO et al. (2018), obtiveram um comportamento parecido com filmes há base de fécula de mandioca e compostos naturais, com uma degradação completa entre 290 e 500°C. DASH et al. (2019) obtiveram uma degradação total na faixa de 290 -425 °C, avaliando filmes de batata doce e pectina de resíduo de limão. JAFARZADEH et al. (2018) estudaram as características de filmes de farinha de sêmola em diferentes concentrações de sorbitol/glicerol, encontrando valores de degradação térmica entre (50-209°C).

3.4 Método de difração de raio X

O método de difratograma de raios X (Figura 7), é utilizada para avaliar a cristalinidade e o arranjo atômico de uma amostra. O espectro contém dois picos entre $17,28^\circ \leq 2\theta \leq 19,94^\circ$, mostrando uma estrutura amorfa-cristalina do filme otimizado (EL-KADER & RAGAB, 2012).

Figura 7: curvas do DRX



Fonte: próprios autores, 2023.

De acordo com o gráfico do filme FC, apresentou apenas um pico o que se refere a uma molécula de amido. Após a adição dos extratos, o filme FC apresentou algumas alterações de picos de difração, sendo o filme FO com picos entre $17,28^\circ$ e $19,94^\circ$.

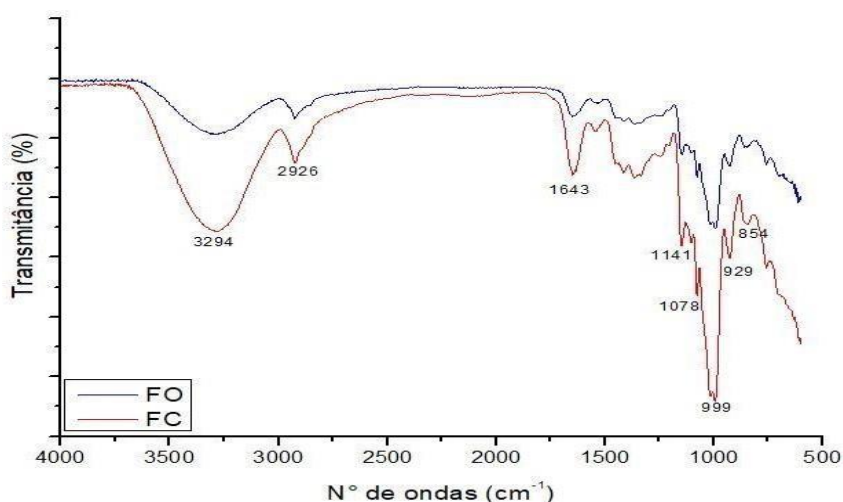
BISWAS et al. (2022), estudaram o processamento da sêmola, encontrando picos de difração entre $15,09^\circ$ e $17,87^\circ$ após esse tudo realizou uma adição da farinha

com enzimas, obtendo picos entre $19,95^\circ$ e $20,34^\circ$, representando assim um amido tipo A. o que cabe destacar, que o amido é de natureza semicristalina, sendo formado por fases amorfas e cristalinas que são definidas por seus componentes primários, as cadeias lineares de amilose e as moléculas ramificadas de amilopectina.

3.5 Espectrofotometria por FTIR dos filmes

A análise FTIR foi realizada para estudar as interações entre a matriz de amido-extrato, cujos resultados estão expressos na Figura 8.

Figura 8: espectros por FTIR



Fonte: próprios autores, 2023.

O filme otimizado e o controle foram realizados na faixa de 4.000 a 500 cm^{-1} , para com isso detectar a presença de grupos funcionais. o pico 3294 cm^{-1} é atribuído ao surgimento de uma amina A. (FLORENTINO et al., 2022). O pico de 2926 cm^{-1} foi atribuído uma ligação simples do grupo C-H e o 1643 cm^{-1} ao alongamento das ligações C=O e C=C (RODRIGUES et al., 2021). O pico 1078 cm^{-1} com mas representatividade no filme controle refere-se ao alongamento do grupo funcional CO (JACOB & GOPI, 2021).

A banda localizada no número de onda 1078 cm^{-1} corresponde adição dos plastificantes. A vibração de estiramento que compreender amida está associado ao

pico 1643 cm^{-1} com maior intensidade na formulação otimizada do que na formulação controle, tendo em vista essa diferença devido a adição do extrato (SHIMA et al., 2018).

Logo, verifica-se que não houve alterações química na estrutura do filme FO quando comparado ao FC.

3.6 TESTE DE DEGRADABILIDADE

A degradabilidade dos filmes foi realizada em terra de jardim. verifica-se que filme otimizado obteve uma ligeira degradação com alta taxa de perda de massa, realizada durante 15 dias consecutivos, sendo no 7 dia com uma perda de massa de 72,95%. No decimo quinto dia aumentou um pouco essa perda de massa, chegando a 83,47%. Diferente do filme controle esse que não contem adição de extrato vegetal, onde no 7 dia não apresentou nenhuma degradação, iniciando sua decomposição no décimo quinto dia em contato com a areia de jardim, apresentando uma degradação de 9,3%.

Esses resultados indicam que o filme otimizado pode ser degradado naturalmente sem o uso de nenhuma ação por produtos químicos ou até então outros métodos de degradação.

Alves-silva et al. (2022), obtiveram resultados próximos quando realizaram a biodegradabilidade em solo, areia da praia e água do mar, obtendo uma degradação até o sétimo dia em ambos testes realizados. O filme produzido foi obtido da polpa do jatobá adicionado plastificante proveniente do glicerol.

Os filmes podem ser considerados biodegradáveis por uma ação biológica quando contém menos de 90% de sua matéria-prima degradada em um período de até 180 dias. O que foi alcançado nesse estudo confirmando o grande potencial dos filmes provenientes do jatobá como matérias biodegradáveis, podendo ser uma alternativa para realizar a substituição dos polímeros sintéticos.

6 CONCLUSÃO

Os biopolímeros analisados apresentaram características satisfatórias para a produção de um filme biodegradável. Sendo as condições otimizadas na faixa de 0,5% da casca do caule e 0,5% da casca da vagem do jatobá, nessas condições o filme se apresentou homogêneo, de cor vermelho tijolo, com uma estabilidade térmica razoável, além de apresentar baixa solubilidade e permeabilidade ao vapor de água, um material biodegradável.

A embalagem incorporada com os extratos hidroalcóolicos derivados das cascas do caule e da vagem do jatobá, podem ser classificadas como embalagens ativas antioxidantes, ricas em compostos fenólicos e poderá ser utilizada como uma embalagem primária, com aplicações para frutas ou legumes.

REFERÊNCIAS

- ALCÂNTARA, M. A. et al. Effect of the solvent composition on the profile of phenolic compounds extracted from chia seeds. *Food Chemistry*, v. 275, p. 489– 496, 2019.
- ABDORREZA, M.N., CHENG, L.H., & KARIM, A.A. Effects of plasticizers on thermal properties and sealability of sago starch films. *Food hidrocolóides* , 25 (1), 56-60. 2011.
- ALVES-SILVA, G. F., ROMANI, V. P., MARTINS, V.G., Jatobá (*Hymenaea stigonocarpa*) pulp films: Properties, antioxidant potential and biodegradability. *Food Packaging and shelf life*. v. 34, pages. 100923, 2022. <https://doi.org.ez15.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.fpsl.2022.100923>
- ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D5477-11 Standard Practice for Identification of Polymer Layers or Inclusions by Fourier Transform Infrared Microspectroscopy (FT-IR), 2011.
- ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D813617 Standard Test Method for Determining Plastic Film Thickness and Thickness Variability Using a Non-Contact Capacitance Thickness Gauge, 2017.
- ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D88212 Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting, Philadelphia, 2012.
- ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM E96/E96M-16 Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials, 2016.
- BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, v. 28, n.1, p.25-30, 1995.
- BRIGHENTI, D. M. et al. Inversion of sucrose using citric acid and lemon juice to prepare an energy diet for *Apis mellifera* Linnaeus, 1758. *Ciencia e Agrotecnologia*, v. 35, n. 2, p. 297–304, 2011.
- BISWAS, P., JAYASEELAN, P., DAS, M., SIKDER, A., CHAUDHURY, K., & BANERJEE, R. Processamento da sêmola, um recurso maravilhoso para a produção de amido resistente: digestibilidade in vitro e avaliação bioquímica. *International Journal of Biological Macromolecules* , 222 , 19181924. 2022.

CRISI, C. V. B., Libidibia ferrea (JUCÁ): PRODUÇÃO DE FARINHA, BIOADITIVO E EMBALAGEM ATIVA ANTIOXIDANTE. Tese (doutorado em engenharia química)- Universidade Federal de Campina Grande. 2019.

CHANDRA, R.; RUSTGI, R. Biodegradation of maleated linear low-density polyethylene and starch blends. *Polymer Degradation and Stability*, v. 56, n. 2, p. 185–202, 1997.

CHOO, K.W., LIN, M., & MUSTAPHA, A. Composite films of chitosan/acetylated starch incorporated with essential oils: physicochemical and antimicrobial properties. *Food Bioscience* , 43 , 101287. 2021.

DASH, K.K., ALI, N.A., DAS, D., MOHANTA, D. Complete evaluation of edible films based on sweet potato starch and lemon residue pectin with inclusions of nanotitania for food packaging applications. *Jornal internacional de macromoléculas biológicas* , 139 , 449-458. 2019.

DIAS L.S., LUZIA D.M.M., JORGE N., Physical-chemical and bioactive properties of the pulp and lipid fraction of the seed of *Hymenaea courbaril* L. *Crops and Industrial Products*. v. 49, p. 610-618. 2013.

DOS SANTOS CAETANO, K., LOPES, NA, COSTA, TMH, BRANDELLI, A., RODRIGUES, E., FLÔRES, SH, & CLADERA-OLIVERA, F. (2018). Characterization of active biodegradable films based on cassava starch and natural compounds. *Food packaging and shelf life*, 16 , 138-147.

DONG, Z., DU, Z., WU, X., ZHAI, K., WEI, Z., RASHED, M.M. Fabrication and characterization of ZnO nanofilms using pectin extracted from *Premna microphylla* Turcz leaves and carboxymethylcellulose. *International Journal of Biological Macromolecules* , 209 , 525-532. 2022.

EL-KADER, M.F. H., RAGAB, H.S., DC conductivity and dielectric properties of maize starch/methylcellulose blend films. *Studies in ecological economics. Ionics* 19, 361–369 (2013). <https://doi.org/10.1007/s11581-012-0742-8>.

FLORENTINO, G.I.B., LIMA, D.A.S., SANTOS, M.M.F., DA SILVA FERREIRA, V.C., GRISI, C.V.B., MADRUGA, M.S., DA SILVA, F.A.P. Characterization of a new food packaging material based on fish by-product proteins and passion fruit pectin. *Food Packaging and Shelf Life* , 33 , 100920. 2022.

HAN, H. S.; NONI, SONG, K.B. fruit polysaccharide films containing blueberry (*Vaccinium corymbosum*) leaf extract as an antioxidant packaging material. *Food Hydrocoll*, v. 112, p. 1-8, 2021.

JACOB, J., GOPI, S. Isolation and physicochemical characterization of biopolymers. pp.45-79. Elsevier. 2021. doi.org/10.1016/B978-0-12-8192405.00003-1 .

JAFARZADEH, S., ARIFFIN, F., ALIAS, A.K., et al., CHARACTERIZATION OF SEMOLINA BIOPOLYMER FILMS ENRICHED WITH ZINC OXIDE NANO RODS. Italian Journal of food Science. Vol. 29, Issue 2. May 12, 2017.

JAFARZADEH, S., ALIAS, A.K., ARIFFIN, F., MAHMUD, S., Physico-mechanical and microstructural properties of semolina flour films as influenced by different sorbitol/glycerol concentrations. International Journal of food properties. Volume 21, Issue 1, pages 983-995. 2018. Doi: doi-org.ez15.periodicos.capes.gov.br/10.1080/10942912.2018.1474056

JAFARZADEH, S., JAFARI, S. M., SALEHABADI, A., NAFCHI, A. M., UTHAYA KUMAR, U. S., & KHALIL, H. P. S. A. Biodegradable green packaging with antimicrobial functions based on the bioactive compounds from tropical plants and their by-products. In Trends in Food Science and Technology. Vol. 100, pp. 262–277. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.04.017>

LIU, Y., LIU, M., ZHANG, L., CAO, W., WANG, H., CHEN, G., & WANG, S. Characterization of a new food packaging material based on fish by-product proteins and passion fruit pectin Food Hydrocolloids , 130 , 107690. 2022.

OJAGH, S. M.; REZAEI, M.; RAZAVI, S. H.; HOSSEINI, S. M. H. Effect of chitosan coatings enriched with cinnamon oil on the quality of refrigerated rainbow trout. Food chemistry, v.120, n.1, p.193-198. 2010. doi: 10.1016/j.foodchem.2009.10.006.

ROSSI, J. A. J.; SINGLETON, V. L. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic phosphotungstic acid reagents. American Journal of Enology and Viticulture, v. 16, p. 144–158, 1965.

RODRIGUES, F. A. M., DOS SANTOS, S. B. F., LOPES, M. M. DE A., et al., (2021). Antioxidant films and coatings based on starch and phenolics from *Spondias purpurea* L. International Journal of Biological Macromolecules, 182, 354–365. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.04.012>

RODRIGUES, M. Á. V., MARANGON, CA, MARTINS, V.D.C.A., DE GUZZI PLEPIS, AM. Chitosan/gelatin films with jatobá resin: Control of properties by inclusion of vegetable resin and modification of the degree of acetylation. International Journal of Biological Macromolecules , 182 , 1737-1745. 2021.

RUFINO, M. DO S. M. et al. Metodologia Científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pelo método de redução do ferro (FRAP). Comunicado Técnico Embrapa, v. 125, p. 1–4, 2006.

SOTHORNVIT, R.; HONG, S.I.; AN, D.J.; RHIM, J. W. Efeito do teor de argila nas propriedades físicas e antimicrobianas dos filmes compostos de proteína de soro de leite/organo-argila. LWT-Food Science and Technology, v.43, n.2, p.279284, 2010. doi: 10.1016/j.lwt.2009.08.010.

SOUZA, C. O. DE; SILVA, L. T.; DRUZIAN, J. I. Comparative study of the characterization of biodegradable cassava starch films containing mango and acerola pulps. *New chemistry*, v. 35, n. 2, p. 262–267, 2012.

LIU, Y., ZHANG, S., CHEN, S., et al., Controlling plasticizer migration based on crystal structure and micromorphology in propionylated starch-based food packaging nanocomposites. *Carbohydrate Polymers*, 273. 2021. doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118621

NASCIMENTO, T.A., CALADO, V., & CARVALHO, C.W.P. Development and characterization of a flexible film based on starch and passion fruit mesocarp flour with nanoparticles. *Food Research International* , 49 (1), 588-595. 2012.

NGUYEN, T. T. T., LE, T.Q., NGUYEN, T.A., et al. Characterizations and antibacterial activities of passion fruit peel pectin/chitosan composite films incorporated Piper betle L. leaf extract for preservation of purple eggplants. *Heliyon*. Vol. 8, n. 8, pages 10096, 2022. <https://doi.org.ez15.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.heliyon.2022.e10096>

MEDINA-JARAMILLO, C., OCHOA-YEPES, O., BERNAL, C., & FAMÁ, L. Active and intelligent biodegradable packaging based on starch and natural extracts. *Carbohydrate Polymers* , 176 , 187-194. 2017.

TALÓN, E., TRIFKOVIC, K. T., NEDOVIC, V. A., et al., Antioxidant edible films based on chitosan and starch containing polyphenols from thyme extracts. *Carbohydrate Polymers*, 157, 1153–1161. 2017. doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.10.080

VEGGI, P. C., PRADO, J. M., BATAGLION, G. A., et al. Obtaining phenolic compounds from jatoba (*Hymenaea courbaril* L.) bark by supercritical fluid extraction. *Journal of supercritical fluids*. Vol. 89, p. 68-77, 2014. <https://doi.org.ez15.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.supflu.2014.02.016>

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A área atribuída as embalagens de alimentos é um campo bastante promissor que está ganhando espaço a cada dia no desenvolvimento de novos produtos, principalmente quando se falar do meio ambiente. O desenvolvimento de filmes biodegradáveis a cada dia crescer e isso é um ponto positivo para o ecossistema. Nesse sentido, sugere-se a continuidade desse trabalho com o objetivo de explorar alguns aspectos que não foram abordados como:

- Realizar testes que aumente a resistência do material frente a umidade através do amido;
- Melhora as propriedades térmicas e permeabilidade ao vapor de água;
- Desenvolver pesquisas que utilize o material ativo como um inseticida para mosquitos;
- O desenvolvimento de pesquisas com o material ativo para cura de doenças, infecções em humanos ou animais.