

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
CENTRO DE CIÊNCIAS DO AMBIENTE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO  
AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE NA AMAZÔNIA

**DESENVOLVIMENTO DE FILME BIODEGRADÁVEL ATIVO  
COM EXTRATO DAS CASCAS DE TUCUMÃ-DO-  
AMAZONAS (*Astrocaryum aculeatum* Meyer)**

VALCILENE MARIA DA SILVA SOUZA

Manaus/AM

2025

**VALCILENE MARIA DA SILVA SOUZA**

**DESENVOLVIMENTO DE FILME BIODEGRADÁVEL ATIVO COM EXTRATO  
DAS CASCAS DE TUCUMÃ-DO-AMAZONAS (*Astrocaryum aculeatum* Meyer)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia (PPGCASA) da Universidade Federal do Amazonas (UFAM) como requisito para o título de Mestre em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia na área de concentração Biotecnologia e Sustentabilidade.

Orientadora: Profa. Dra. Leiliane do Socorro Sodré de Souza  
Coorientador: Prof. Dr. Anderson Mathias Pereira

Manaus/AM

2025

Ficha Catalográfica

Elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

---

- S729d Souza, Valcilene Maria da Silva  
Desenvolvimento de filme biodegradável ativo com extrato das cascas de tucumã-do-Amazonas (*Astrocaryum aculeatum* Meyer) / Valcilene Maria da Silva Souza. - 2025.  
89 f. ; 31 cm.
- Orientador(a): Leiliane do Socorro Sodré de Souza.  
Coorientador(a): Anderson Mathias Pereira.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Amazonas, Programa de Pós-Graduação Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia, Manaus, 2025.
1. Economia circular. 2. resíduos agroindustriais . 3. compostos bioativos. 4. bioeconomia. 5. bioplástico. I. Souza, Leiliane do Socorro Sodré de. II. Pereira, Anderson Mathias. III. Universidade Federal do Amazonas. Programa de Pós-Graduação Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia. IV. Título
-

**VALCILENE MARIA DA SILVA SOUZA**

**DESENVOLVIMENTO DE FILME BIODEGRADÁVEL ATIVO COM EXTRATO  
DAS CASCAS DE TUCUMÃ-DO-AMAZONAS (*Astrocaryum aculeatum* Meyer)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia como exigência para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientadora: Profa. Dra. Leiliane do Socorro Sodré de Souza  
Coorientador: Prof. Dr. Anderson Mathias Pereira

**Banca examinadora**



Documento assinado digitalmente

**German Ayala Valencia**

Data: 04/09/2025 14:25:26-0300

CPF: \*\*\*.731.718-\*\*

Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

---

Prof. Dr. Germán Ayala Valencia

Universidade Federal de Santa Catarina



Documento assinado digitalmente

**VIRGINIA MANSANARES GIACON**

Data: 04/09/2025 18:19:12-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Profa. Dra. Virgínia Mansanares Giacon

Universidade Federal do Amazonas



Documento assinado digitalmente

**WILLIAM RENZO CORTEZ VEGA**

Data: 04/09/2025 13:31:45-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. Willian Renzo Cortez-Vega

Universidade Federal do Amazonas

## **DEDICATÓRIA**

Dedico esta pesquisa à minha família, que sempre me apoiou, em especial à minha filha, Solara Dutra, cuja alegria e presença iluminam os meus dias.

## AGRADECIMENTOS

Aos meus orientadores Leiliane do Socorro Sodré de Souza e Anderson Mathias Pereira por terem aceitado me orientar e seguir durante a jornada.

Aos amigos que fiz durante as disciplinas de mestrado cursadas, as risadas, mensagens de apoio e trabalhos bem redigidos.

Aos amigos do laboratório LABPROS pelos incentivos, ensinamentos, merendas compartilhadas, risadas e claro as análises realizadas em conjunto o compartilhamento da alegria ao verificar que uma análise ou trabalho deu certo assim como os choros e tristezas compartilhadas pelo que não deu certo, porém, sempre com a persistência inabalável.

Ao laboratório da Universidade de Santa Catarina por terem realizado as análises mecânicas dos biofilmes desenvolvidos, meus sinceros agradecimentos pela parceria.

Ao laboratório de Ensaio Físico-Q mico LFQM/FT da Universidade Federal do Amazonas pelas análises de propriedades térmicas realizadas nos biofilmes.

Meus agradecimentos a todos os professores que contribuíram com meu aprendizado durante o curso e que de alguma forma contribuíram para minha forma o acad mica.

Meus sinceros agradecimentos ao PPGCASA pela oportunidade a FAPEAM pelo apoio financeiro ao disponibilizar a bolsa de estudo e ao LABPROS pela estrutura onde pude desenvolver os biofilmes.

Agradeço a minha mãe, Wanderl ia F. Silva e irmã, Patrícia M. S. Souza que cuidaram da minha filha nos momentos em que não pude estar presente.

Ao meu esposo Rosenildo B. Dutra, pelas conversas motivadoras e pelas discussões enriquecedoras que foram essenciais para o meu empenho durante o mestrado.

A Leandra P. Rocha e S mia G. S , amigas que fiz durante o curso e que levarei para toda a vida. Sempre estavam incentivando, houve momentos de coaching, esses sem d vida foram de fundamental importância. Aos sábados e domingos compartilhados no laboratório a grande ajuda que ambas proporcionaram durante a realiza o da pesquisa, aos momentos fora da faculdade aos passeios que fizemos juntas.

Agradeço imensamente a todos!

## RESUMO

A preocupação cada vez maior com a poluição causada pelo grande consumo de embalagens derivadas de fontes fósseis, especialmente as de uso único, tem impulsionado pesquisas no desenvolvimento de biofilmes biodegradáveis ativos. O objetivo desta pesquisa foi incorporar extrato das cascas de tucumã-do-Amazonas (*Astrocaryum aculeatum* Meyer) na matriz de amido para a confecção de um biofilme biodegradável ativo. Os biofilmes (amido, glicerol e H<sub>2</sub>O) foram desenvolvidos pelo método de casting usando extrato hidroalcoólico das cascas de tucumã com os percentuais de incorporação de 0, 5, 10 e 15% em relação ao volume total de água. Foram realizadas as análises nos biofilmes sendo: espessura, umidade, solubilidade, teor de fenólicos totais, atividade antioxidante, espectroscopia do infravermelho por transformada de Fourier (FTIR), difração de raio X (DR X), ângulo de contato com a água, cor, capacidade de barreira a luz e transparência foram determinadas em 600 nm. Para análise mecânica, as amostras foram submetidas a testes de tração, módulo de elasticidade e alongamento à ruptura. A morfologia de superfície dos biofilmes foi analisada usando microscopia eletrônica de varredura (MEV). As propriedades térmicas foram analisadas sob atmosfera de nitrogênio. A biodegradabilidade foi analisada durante 3 meses. Os biofilmes desenvolvidos apresentaram-se maleáveis e de fácil manuseio. Biofilmes controle apresentaram uma espessura de 0,32 mm e variaram de 0,25 a 0,28 mm para amostras contendo extrato. Os testes de umidade apresentaram diferenças significativas entre si, inferindo-se que a incorporação de extrato alterou a capacidade de barreira das amostras. A solubilidade em água das amostras controle apresentou os menores valores, sendo de  $17,45 \pm 0,81$ . Os biofilmes apresentaram valores de fenólicos totais apenas para amostras contendo 10% e 15% de extrato. Amostras contendo 15% de extrato apresentaram uma capacidade antioxidante de 90%, característica satisfatória para o objetivo deste estudo. A partir das análises de FTIR ficou evidenciada a similaridade dos espectros não demonstrando mudanças significativas em relação aos picos principais. A partir do DRX verificou-se que a estrutura cristalina das amostras não foi alterada. Os resultados de ângulo de contato com a água demonstraram que os biofilmes são hidrofílicos. O extrato propiciou biofilmes com capacidade de redução da luz ultravioleta, ou seja, biofilmes incorporados com extrato oferecem proteção aos alimentos evitando a fotodegradação. As análises mecânicas evidenciaram que a resistência a tração foi significativamente reduzida a partir da incorporação do extrato, assim como a elasticidade ficou comprometida. No entanto, o alongamento a ruptura foi a propriedade beneficiada pelo extrato tendo um aumento maior que 1500% em relação às amostras controle. A partir da análise MEV verificou-se o aparecimento de grânulos e materiais insolúveis, indicando que a gelatinização do amido não foi completa. Biofilmes incorporados com extrato apresentaram estabilidade térmica até 80 °C e as amostras controle apresentaram estabilidade até 45 °C. Os testes de biodegradabilidade evidenciaram que as amostras contendo extrato apresentaram crescimento de fungos a partir da primeira semana coberta com solo. Ao final, concluímos que o uso dos compostos bioativos presentes na casca de tucumã agrega a propriedade antioxidante aos biofilmes desenvolvidos, e pequenos ajustes na formulação permitem a obtenção de um produto de qualidade que poderá contribuir com a economia circular e a sustentabilidade no estado do Amazonas além de agregar valor as cascas do tucumã-do-Amazonas.

**Palavras-chave:** economia circular; resíduos agroindustriais; compostos bioativos; bioeconomia; bioplástico

## ABSTRACT

The rising concern about pollution from excessive fossil-based packaging materials, particularly single-use plastics, has prompted research into the creation of active biodegradable biofilms. This study aimed to incorporate an extract from the peels of *Astrocaryum aculeatum* Meyer, commonly known as tucumã-do-Amazonas, into a starch-based matrix to produce an active biodegradable biofilm. The biofilms, which were composed of starch, glycerol, and water, were prepared using the casting method. The hydroalcoholic extract from tucumã peels was incorporated at levels of 0%, 5%, 10%, and 15%, based on the total volume of water used. The developed films were evaluated for thickness, moisture content, solubility, total phenolic content, antioxidant activity, Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR), X-ray diffraction (XRD), water contact angle, color, UV-light barrier capacity, and transparency at 600 nm. Mechanical properties were assessed through tensile strength, Young's modulus, and elongation at break. Surface morphology was examined using scanning electron microscopy (SEM), and thermal properties were analyzed under a nitrogen atmosphere. Biodegradability was assessed over three months. The resulting films were flexible and easy to handle. Control films had a thickness of 0.32 mm, while those containing extract ranged from 0.25 to 0.28 mm. Moisture content varied significantly among samples, indicating that the incorporation of extract affected the films' barrier properties. Control films showed the lowest water solubility, at  $17.45 \pm 0.81\%$ . Total phenolic content was detected only in films containing 10% and 15% extract. The 15% extract samples exhibited antioxidant activity of up to 90%, a favorable result for the intended application. FTIR analysis revealed similar spectral profiles among samples, indicating no significant shifts in principal peaks. XRD results confirmed that the crystalline structure remained unchanged. Water contact angle measurements indicated that the films were hydrophilic. Films containing extract exhibited UV-light reduction capacity, offering photodegradation protection for packaged foods. Mechanical testing revealed a significant decrease in tensile strength and elasticity upon incorporation of the extract. However, elongation at break increased by more than 1500% compared to control samples. SEM analysis revealed the presence of granules and insoluble materials, suggesting incomplete starch gelatinization. Extract-containing films exhibited thermal stability up to 80 °C, while control films were stable up to 45 °C. Biodegradability tests revealed fungal growth on samples containing extract as early as the first week under soil coverage. In conclusion, incorporating bioactive compounds from tucumã peels imparted antioxidant properties to the biofilms developed. With minor adjustments to the formulation, it is possible to create a high-quality product that supports the circular economy and sustainability in the state of Amazonas, while also enhancing the value of the residues from *Astrocaryum aculeatum*.

**Keywords:** circular economy; agro-industrial waste; bioactive compounds; bioeconomy; bioplastic.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fonte e tipos de polímeros e biopolímeros biodegradáveis e não biodegradáveis e suas aplicabilidades no mercado.....	16
Tabela 2 - Desenvolvimento de bioplástico biodegradável ativo e inteligente com a incorporação de resíduos da casca de frutas proveniente da agroindústria. ....	23
Tabela 3 - Pesquisas voltadas para a utilização das cascas de tucumã ( <i>Astrocaryum aculeatum</i> Meyer) visando os potenciais biotecnológicos.....	30
Tabela 4 - Percentuais de incorporação de extrato das cascas de tucumã ( <i>Astrocaryum aculeatum</i> Meyer) na base de amido para obtenção dos biofilmes ativo .....	39
Tabela 5 - Características físicas dos 100 frutos de tucumã-do-Amazonas ( <i>Astrocaryum aculeatum</i> Meyer).....	48
Tabela 6 - Médias de umidade e cinzas das cascas de tucumã-do-Amazonas .....	50
Tabela 9 – Ângulo de contato com a água dos biofilmes controle e incorporados com extrato das cascas de tucumã-do-Amazonas. Letras sobrescritas diferentes na mesma coluna indicam que as médias são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). ....	64
Tabela 10 – Cor dos biofilmes controle e incorporados com extrato das cascas de tucumã-do-Amazonas. Letras sobrescritas diferentes na mesma coluna indicam que as médias são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). ....	65
Tabela 11 – Opacidade, T280 e T470 dos biofilmes controle e incorporados com extrato das cascas de tucumã-do-Amazonas. Letras sobrescritas diferentes na mesma coluna indicam que as médias são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). ....	66
Tabela 12 – Propriedades mecânicas dos biofilmes controle e incorporados com extrato das cascas de tucumã-do-Amazonas. Letras sobrescritas diferentes na mesma coluna indicam que as médias são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). ....	67

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Capacidade de produção global de bioplástico de 2023 e previsão estimada até 2029 .....	19
Figura 2 – A = Triagem dos frutos de tucumã ( <i>Astrocaryum aculeatum</i> Meyer); B = Frutos após a higienização; C = Separação do perianto dos frutos.....	32
Figura 3 – Mensuração dos frutos de tucumã ( <i>Astrocaryum aculeatum</i> Meyer) usando paquímetro. A = comprimento do fruto; B = diâmetro do fruto; C = pesagem do fruto.....	33
Figura 4 – Partes do fruto de <i>Astrocaryum aculeatum</i> Meyer; A: polpa; B: casca; C: amêndoa e parte lenhosa (C).....	33
Figura 5 – A: cascas de tucumã ( <i>Astrocaryum aculeatum</i> Meyer) secas; B: trituração das cascas em moinho de facas; C: tamisação das cascas em peneira granulométrica.....	34
Figura 6 – Cascas de tucumã em pó (A); e cascas imersas em solução hidroalcóolica (B). ....	35
Figura 7 – Obtenção do extrato a partir do pó das cascas de tucumã ( <i>Astrocaryum aculeatum</i> Meyer). A = solução na Shaker; B = filtração à vácuo do extrato; C = extrato armazenada em frasco âmbar .....	36
Figura 8 - Curva padrão de ácido gálico.....	37
Figura 9 – A: extrato seco das cascas de tucumã; B: extrato solubilizado em metanol; C: processo de homogeneização do extrato em vórtex .....	38
Figura 10 – Desenvolvimento dos biofilmes incorporados com extrato das cascas de tucumã ( <i>Astrocaryum aculeatum</i> Meyer). A: agitação mecânica da solução filmogênica; B: extrato das cascas; C: método casting.....	40
Figura 11 – A: soluções filmogênicas incorporadas com extrato das cascas de tucumã acondicionadas na estufa; B: biofilme retirado da placa de petri; C: biofilme armazenado em saco de polietileno .....	40
Figura 12 – Sequência da análise de solubilidade das amostras desenvolvidas com incorporação de extrato das cascas de tucumã ( <i>Astrocaryum aculeatum</i> Meyer) e amostra controle (sem extrato). A = pesagem dos biofilmes; B = biofilmes acondicionados em shaker; C = biofilmes secos em estufa .....	42
Figura 13 – Sequência de passos para análise do teor de fenólicos totais dos biofilmes incorporados com extrato das cascas de tucumã ( <i>Astrocaryum aculeatum</i> Meyer) e biofilme controle (sem extrato). A = pesagem dos biofilmes; B = extrato aquoso dos biofilmes após 24 horas em shaker; C = análise do teor de fenólicos totais.....	43

Figura 14 – Biofilmes desenvolvidos com extrato da casca de tucumã do Amazonas. A: biofilme controle; B: biofilme com 5% de extrato; C: biofilme com 10% de extrato; D: biofilme com 15% de extrato .....	52
Figura 15 - Maleabilidade dos biofilmes desenvolvidos .....	52
Figura 16 - Umidade e Solubilidade em água dos biofilmes controle e incorporados com extrato das cascas de tucumã ( <i>Astrocaryum aculeatum</i> Meyer).....	53
Figura 17 - Atividade antioxidante dos biofilmes controle e incorporados com extrato das cascas de tucumã ( <i>Astrocaryum aculeatum</i> Meyer) .....	56
Figura 18 – Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier dos biofilmes desenvolvidos .....	58
Figura 19 -Microscopia eletrônica de varredura da superfície dos biofilmes. A = biofilme controle; B = biofilme incorporado com 5% de extrato; C = biofilme incorporado com 10% de extrato; D = biofilme incorporado com 15% de extrato.....	60
Figura 20 - Microscopia eletrônica de varredura da seção transversal dos biofilmes desenvolvidos: A = biofilme controle; B = biofilme incorporado com 5% de extrato; C = biofilme incorporado com 10% de extrato; D = biofilme incorporado com 15% de extrato ...	61
Figura 21 – Difração de raio X dos biofilmes desenvolvidos .....	62
Figura 22 – Termograma do biofilme controle .....	68
Figura 23 – Termograma do biofilme incorporado com 5% de extrato das cascas de tucumã ( <i>Astrocaryum aculeatum</i> Meyer).....	69
Figura 24 – Termograma do biofilme contendo 10% de extrato das cascas de tucumã ( <i>Astrocaryum aculeatum</i> Meyer).....	69
Figura 25 - Termograma do biofilme contendo 15% de extrato das cascas de tucumã ( <i>Astrocaryum aculeatum</i> Meyer).....	70
Figura 26 – Biodegradabilidade dos biofilmes controle; A: amostra sendo colocada no solo e, B: amostra após uma semana coberta com solo .....	71
Figura 27 – Biodegradabilidade dos biofilmes incorporados 15% de extrato das cascas de tucumã do Amazonas; A = amostra sendo colocada no solo e B = amostra após 7 dias coberta com solo.....	72

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	12
2.	OBJETIVOS.....	14
2.1	Objetivo Geral .....	14
2.2	Objetivos Específicos .....	14
3.	REVISÃO DE LITERATURA .....	15
3.4.1	Importância econômica do tucumã-do-Amazonas .....	28
3.4.2	Potenciais usos biotecnológicos da casca do tucumã-do-Amazonas.....	29
4.	METODOLOGIA.....	32
4.1	Matéria-prima .....	32
4.2	Caracterização física da matéria-prima .....	32
4.3	Preparo das amostras .....	33
4.4	Determinação da umidade e cinzas da matéria prima .....	34
4.5	Obtenção do extrato hidroalcolico das cascas de tucumã.....	35
4.6	Caracterização dos extratos .....	36
4.7	Desenvolvimento dos biofilmes biodegradáveis incorporados com extrato das cascas de tucumã .....	38
4.7.1	Caracterização dos biofilmes biodegradáveis ativos.....	40
4.7.1.1	Espessura .....	40
4.7.1.2	Umidade .....	41
4.7.1.3	Solubilidade.....	41
4.7.1.4	Teor de Fenólicos Totais .....	42
4.7.1.5	Atividade antioxidante.....	43
4.7.1.6	Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier – FTIR .....	43
4.7.1.7	DRX.....	44
4.7.1.8	Ângulo de contato com a água .....	44
4.7.1.9	Cor, propriedades de barreira à luz e opacidade.....	44
4.7.1.10	Propriedades mecânicas.....	45
4.7.1.11	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Propriedades Térmicas (TGA).....	46
4.7.1.12	Biodegradabilidade em solo .....	47
4.8	Análise Estatística.....	47
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	48
5.1	Características físicas dos frutos de tucumã .....	48
5.2	Percentual de umidade e cinzas das cascas de tucumã.....	49
5.3	Caracterização do extrato das cascas de tucumã-do-Amazonas.....	50
5.3.1	Teor de fenolicos totais das cascas de tucumã .....	40
5.3.2	Capacidade antioxidante das cascas de tucumã.....	51
5.4	Efeito das incorporações do extrato das cascas de tucumã-do-Amazonas nas características dos biofilmes com matriz de amido.....	51
5.4.1	Espessura.....	52
5.4.2	Teor de umidade e solubilidade em água dos biofilmes.....	53
5.4.3	Teor de fenólicos totais .....	55
5.4.4	Capacidade antioxidante.....	56
5.4.5	Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier – FTIR .....	57
5.4.6	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) .....	59
5.4.7	Difração de Raio X.....	61
5.4.8	Ângulo de contato com a água .....	63
5.4.9	Cor propriedade de barreira a luz e opacidade .....	64

5.4.10 Propriedades mecânicas.....	66
5.4.11 Propriedades Térmicas .....	68
5.4.12 Biodegradabilidade no solo .....	71
6. CONCLUSÃO .....	73
REFERÊNCIAS.....	76

## 1. INTRODUÇÃO

O tucumã-do-Amazonas (*Astrocaryum aculeatum* Meyer) é uma palmeira pertencente à família Arecaceae (Santos *et al.*, 2018). Esta espécie é de cultura pré-colombiana ocorrendo com frequência nas áreas oeste e central da Amazônia brasileira, também pode-se encontrar exemplares na Colômbia, Venezuela, Trinidad, Guiana e Bolívia (Machado *et al.*, 2022; Ramos *et al.*, 2022). O *A. Aculeatum*, ocorre principalmente em áreas de florestas menos densas, áreas desmatadas, pastagens e capoeiras, também encontrada em pastagens abandonadas, savanas, e margens de estradas. Essa espécie geralmente ocorre em solos pobres e bem drenados (Ramos *et al.*, 2022).

Conforme a Food and Agriculture Organization (FAO, 1987) e Machado *et al.* (2022) os frutos de *A. aculeatum* podem ser encontrados durante o ano todo, no entanto, o pico de produção é atingido no período de fevereiro a maio. De acordo com Leitão (2008, p. 18), “a importância econômica da palmeira do tucumã baseia-se principalmente na exploração da polpa de seus frutos”. Na contemporaneidade ainda se vê a alta valorização da polpa em relação as outras partes do fruto e da palmeira.

Conforme citado por Vianna (2020) as outras partes da palmeira são aproveitadas pelas populações tradicionais do Amazonas. Maia *et al.* (2022) citam que, os povos indígenas utilizam o óleo, que pode ser extraído da polpa e das sementes, no corpo e cabelo. Fábricas de produtos de beleza têm incorporado o óleo da amêndoa na fabricação de seus cosméticos (Ramos *et al.*, 2022).

O tucumã por ser um fruto com baixo rendimento de polpa (< 22% do peso do fruto), gera uma grande quantidade de resíduos (Miller *et al.*, 2013; Souza *et al.*, 2018; Kieling *et al.*, 2021; Souza *et al.*, 2024). Os métodos de eliminação de resíduos orgânicos ou a disposição em aterros, exaure os recursos e contribuem para degradação ambiental (Kharola *et al.*, 2022). Cerca de 12.460 kg mensais de casca são descartados na zona urbana de Manaus (Kieling *et al.*, 2019). A utilização desses resíduos de forma sustentável evita o descarte incorreto no ambiente urbano ou em aterros sanitários (Araujo *et al.*, 2021; Kieling *et al.*, 2021).

Uma forma de utilizar esses resíduos seria na extração de compostos bioativos, visto que, resíduos orgânicos (frutas, verduras, vegetais etc.) possuem elevada concentração desses compostos (Bhargava *et al.*, 2019). A casca do tucumã contém altos teores de flavonoides, tanino,  $\beta$ -caroteno, rutina, quercetina etc. (Araujo *et al.*, 2021; Jobim *et al.*, 2014). Portanto,

podemos utilizá-la na geração de bioprodutos e assim desenvolver e fortalecer ainda mais a bioeconomia do estado do Amazonas. Através da aplicação de técnicas de bioprocessos é possível desenvolver bioinsumos a partir de resíduos orgânicos. Estudar a extração desses compostos e utilizá-los no desenvolvimento de produtos com maior valor agregado é uma alternativa que precisa ser investigada.

A extração hidroalcoólica dos compostos bioativos encontrados nos resíduos e o desenvolvimento de biofilme biodegradável através da técnica de *casting* se apresenta como uma alternativa ambientalmente correta. Para que haja um aproveitamento adequado desses resíduos orgânicos e seja apresentada uma alternativa para a crescente preocupação com a geração e descarte incorreto de embalagens plásticas, pesquisas estão sendo desenvolvidas para a inovação de polímeros biodegradáveis utilizando resíduos orgânicos (Bhargava *et al.*, 2020).

Muitas pesquisas foram realizadas no aproveitamento das cascas de tucumã, sendo: incorporação na ração de galinhas poedeira (Miller *et al.*, 2013; Silva, 2018), como catalizador heterogêneo na síntese do biodiesel (Mendonça *et al.*, 2019) e utilização dos extratos para inibição de crescimento de bactérias e fungos (Souza *et al.*, 2023). Assim, esta pesquisa visa desenvolver um biofilme biodegradável ativo a partir da incorporação do extrato hidroalcoólico obtido das cascas do tucumã-do-Amazonas.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo Geral

Desenvolver biofilme biodegradável ativo à base de amido, incorporado com extrato líquido obtido a partir de cascas de tucumã-do-Amazonas (*Astrocaryum aculeatum* Meyer).

### 2.2 Objetivos Específicos

- Realizar a caracterização física dos frutos de tucumã;
- Avaliar o teor de fenólicos totais e atividade antioxidante do extrato obtido a partir das cascas do tucumã;
- Desenvolver os biofilmes tendo como base o amido incorporado com extrato das cascas;
- Caracterizar os biofilmes quanto a umidade, solubilidade, ângulo de contato com a água, capacidade antioxidante, teor de fenólicos totais, resistência a tração, espessura, opacidade, cor, microestrutura, difração de raio x (DRX), propriedades térmicas (TG) e espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR);
- Avaliar biodegradabilidade dos biofilmes no solo.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 Polímeros e biopolímeros biodegradáveis e não biodegradáveis

A poluição por embalagens plásticas é um desafio que está sendo enfrentado atualmente. Devido ao intenso uso e disposição inadequada desses materiais estão surgindo problemas ambientais. A produção desses polímeros emite CO<sub>2</sub> para atmosfera contribuindo para o aquecimento global. Conforme Andersen (Nações Unidas Brasil, 2023, online), “a maneira como produzimos, usamos e descartamos os plásticos está poluindo os ecossistemas, criando riscos para a saúde humana e desestabilizando o clima”.

A exploração de recursos fósseis, matéria-prima do plástico, é um dos principais causadores de emissões de CO<sub>2</sub>, conforme o relatório do Intergovernmental Panel on Climate Change/IPCC, a queima desses combustíveis contribuiu para emissões de CO<sub>2</sub> atingindo uma média de  $9,6 \pm 0,5$  PgC ano<sup>-1</sup> (1 petagrama de Carbono/PgC equivale a 3,664 Gigatonelada de CO<sub>2</sub>) e foram responsáveis por 86% de todas as emissões antropogênicas de CO<sub>2</sub> (IPCC, 2021). Para a confecção do plástico são usados 7-10% da produção global de petróleo (Mülhaupt, 2012; Yu, 2022). A partir disso, gases de efeito estufa (GEE) são emitidos em cada estágio do ciclo de vida do plástico. Somente em 2019 a criação e a incineração emitiram mais de 850 milhões de toneladas métricas de GEE na atmosfera (CIEL, 2019).

Conforme Baghi *et al.* (2022) existem 4 grupos diferentes de polímero sendo eles: origem fóssil e não biodegradável; origem fóssil e biodegradável; origem biológica e não biodegradável; origem biológica e biodegradável. Na Tabela 1 estão listadas as origens dos materiais plásticos e como eles são utilizados no mercado atual, indicando se são ou não biodegradáveis. Existem informações adicionais sobre os diferentes tipos de polímeros biodegradáveis e suas classificações. Objetivou-se nesta tabela apresentar polímeros e biopolímeros e suas principais aplicações no mercado em embalagem.

Tabela 1 - Fonte e tipos de polímeros e biopolímeros biodegradáveis e não biodegradáveis e suas aplicabilidades no mercado

<b>Matéria prima</b>		<b>Aplicabilidade</b>	<b>Biodegradabilidade</b>	<b>Referência</b>
<b>Fóssil</b>				
PE, PP, PET, PMMA, PVC etc.		Plástico convencional – uma gama de produtos	Não	European Bioplastics, 2023
PVA – Poli(acetato de vinila)		Embalagens, têxtil, papel e construção civil	Sim	Rosenboom; Langer; Traverso, 2022
PBAT - Poli(butileno adipato-co-tereftalato)		Sacos plásticos compostáveis, filmes para embalagem de alimentos etc.	Compostagem e no solo	eCicle, 2024; Baghi <i>et al.</i> , 2022
PGA – ácido poliglicólico		Área biomédica - fio cirúrgico	Sim	Rosenboom; Langer; Traverso, 2022
PCL – Policaprolactona <sup>1</sup>		Embalagens de alimento e biomédicas	Sim	Gutiérrez; Mendieta; Toro, 2021
PBS – Polibutileno succinato <sup>2</sup>		Filmes, sacos ou caixas para embalagem de alimento	Sim	Lindstron e Osterberg, 2020
<b>Biomassa</b>				
TPS - Amido termoplástico		Sacolas, espuma, filmes agrícola etc.	Sim	Yates; Barlow, 2013; Malafatti <i>et al.</i> , 2021
PE - Biopolietileno		Eletrodoméstico, brinquedos, embalagens etc.	Não	Lindstron e Osterberg, 2020; Braskem, s.d.
PLA - Poli(ácido láctico) -sintetizado quimicamente		Garrafas, canetas, copos, talheres, dispositivos médicos etc.	Degradação a partir de 58 °C; meio ambiente de degradação lenta	Yates; Barlow, 2013; eCicle, 2024
PEF – Polietileno Furanoato <sup>3</sup>		Garrafa de cerveja	Não	Beltran <i>et al.</i> , 2021; Avantium, 2022
Polissacarídeos <sup>4</sup>	Celulose	Produção em escala industrial não alcançada devido as baixas características de barreira, desempenho mecânico, estabilidade térmica, alta	Sim	Ortega <i>et al.</i> , 2024; Turmekan <i>et al.</i> , 2023; Navaf <i>et al.</i> , 2023; Armynah; Anugrahwidya;
	Amido			
	Quitosana			
	Alginato			
Lipídios: <sup>4</sup>	Glicerídeos			Tahir, 2022;

Proteínas: <sup>4</sup>	Ceras	taxa de transmissão ao vapor		Khrunyk <i>et al.</i> , 2020
	Glúten	de água etc. Pesquisas ainda		
	Zeína	estão sendo desenvolvidas		
	Gelatina	para melhorar essas		
	Colágeno	deficiências.		
	Caseína			
<b>Microbiano</b>				
PHAs – Polihidroxialcanoatos (PHB, PHBV) – sintetizado por bactérias		Aplicações limitadas na indústria devido ao alto custo de produção: Filmes e sacolas plásticas	Sim	Pinzon, 2015; Lindstron e Osterberg, 2020

1 = produzido por síntese química; 2 = base biológica mais fóssil; 3 = Em fase de testes; 4 = produzidos a partir de resíduos alimentares, biológicos e plantas

Fonte: Próprio autor

Pode-se notar, a partir da análise da Tabela 1, que os biopolímeros são classificados em 4 categorias, sendo: polímeros criados por meio de síntese química a partir de fontes fósseis; polímeros criados quimicamente utilizando monômeros derivados de fontes de biomassa; polímeros naturais derivados de fontes de biomassa e através da produção de microrganismos.

Existem diferentes técnicas para tratamento e gestão de resíduos poliméricos (biopolímeros), sendo reciclagem mecânica, reciclagem química ou de matérias-primas, compostagem aeróbica, digestão anaeróbica ou recuperação de energia (Beltran *et al.*, 2021). A reciclagem é um processo complexo devido a presença de aditivos na maioria dos produtos acabados (Rosenboom; Langer; Traverso, 2022). A falta de políticas públicas, logística reversa, sensibilização da população etc., faz com que esses materiais em sua maioria não sejam tratados ou não haja uma correta disposição final desses resíduos.

Independentemente da forma de tratamento dos polímeros de fonte fóssil, sempre haverá a emissão de poluentes. A disposição final em aterro sanitário, sua incineração ou reciclagem emite quantidades variáveis de GEE. A quantidade projetada para 2026 de produção de etileno e propileno será de 420 milhões de toneladas, representando um crescimento de 40% comparado com o ano de 2017, em que sua produção mundial foi de 300 milhões de toneladas. Caso essa tendência continue, a produção do plástico será responsável pelo consumo de 20% de petróleo até 2050 (CIEL, 2019).

Conforme Geyer, Jambeck e Law (2017), foram gerados cerca de 6.300 milhões de toneladas métricas (Mt) de resíduos plásticos até 2015; destes, aproximadamente 9% foram

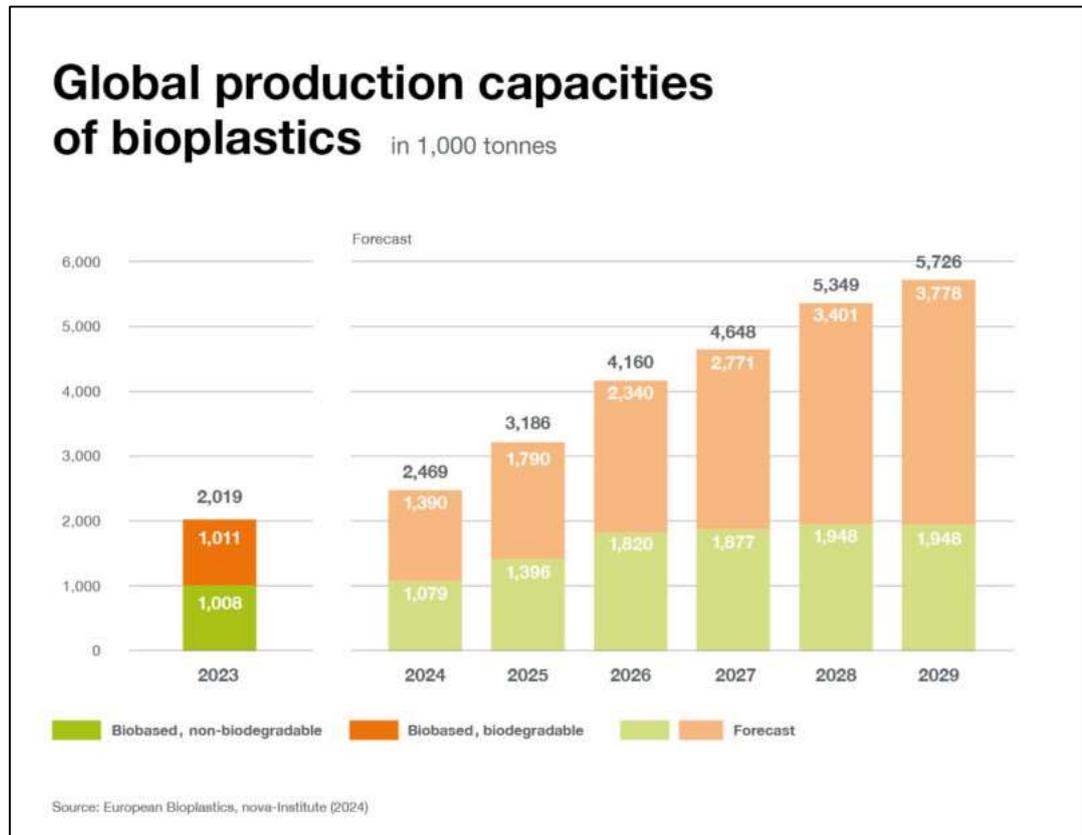
reciclados, 12% foram incinerados e 79% foram acumulados em aterros sanitários ou no ambiente natural. Caso as tendências atuais de produção e gestão de resíduos persistirem, cerca de 12.000 Mt de resíduos plásticos estarão em aterros ou no ambiente natural até 2050. Para Maquart, Froehlich e Boyer (2022), analisando apenas o ano de 2015, constataram que neste período dos 302 Mt de resíduos plásticos gerados, 20% foram reciclados, 25% incinerados e 55% foram descartados em aterro ou no ambiente natural.

A partir desses dados, vê-se a urgência em mudar a forma como estamos cuidando do planeta, independentemente da diversidade de uso dos plásticos e de seu benefício; sua má gestão implica problemas para o próprio ser humano. Tecnologias voltadas para a produção de plástico biodegradável são uma das soluções para esses problemas. Neste estudo visa-se a utilização de material da agroindústria, resíduo que é descartado, contribuindo para problemas ambientais. A utilização desses resíduos não impactaria na produção e, conseqüentemente, na ampliação de áreas para plantios na forma de monocultura ou na concorrência com a produção de alimentos.

Resíduos de frutas como a casca não são utilizados, na verdade são subutilizados. Estes, conforme será exemplificado no item 3.3, possuem alta concentração de compostos bioativos, podendo ser utilizados em uma gama de atividades. Desenvolver plástico biodegradável de fonte renovável é uma forma de mitigar os impactos causados pela poluição plástica, no entanto, não se deve pensar que será uma solução caso não sejam implementadas políticas públicas e sensibilização da população em relação aos prováveis impactos que esses materiais também podem causar.

Na Figura 1, está apresentado a produção global de bioplástico do ano de 2023 e uma projeção da produção até o ano de 2029, conforme a European Bioplastics (2023).

Figura 1 – Capacidade de produção global de bioplástico de 2023 e previsão estimada até 2029



Fonte: European Bioplastics. Disponível em: <https://www.european-bioplastics.org/bioplastics-market-development-update-2024/>

Nesta é possível verificar que a maior quantidade de embalagem biodegradável a ser produzida será a de PLA. No entanto, após pesquisas verificou-se que este material é biodegradável apenas em ambiente industrial, onde são utilizadas temperaturas a partir de 58 °C. No ambiente natural há uma lenta degradação. Então a partir desses dados infere-se que para este material, por possuir baixa degradação no ambiente natural, deveria haver uma logística reversa, visando o retorno dele para a indústria. Conforme Baghi *et al.* (2022) este material é compostável a partir do oitavo dia em temperaturas variando de 50 a 60 °C e 60% de umidade relativa, sendo realizado em ambientes industriais. Em relação aos outros biopolímeros, o seu custo elevado de produção deve ser o principal fator para não se almejar um crescimento alto de produção.

Os biopolímeros surgiram com a ideia de reduzir a poluição plástica. Segundo Roy *et al.* (2024) este termo refere-se a moléculas de cadeia longa que ocorrem naturalmente e materiais derivados de monômeros de base biológica. Conforme a European Bioplastics (s.d., online), o termo bioplástico refere-se a materiais de origem biológica, biodegradáveis ou ambas. “Plásticos inovadores de base biológica, biodegradáveis e compostáveis desempenham um

papel substancial no combate à poluição plástica e na redução de emissões e resíduos de GEE” (European Bioplastics, 2023, online, traduzido).

A produção de filmes biodegradáveis é uma forma ambientalmente viável devido a usar fontes renováveis e ter uma alta taxa de degradabilidade no ambiente, no entanto, estes devem apresentar características satisfatórias como: resistência mecânica, espessura, características ópticas satisfatórias etc. Os polímeros biodegradáveis que serão apresentados neste trabalho são compostos pelo agente formador (amido), solvente (H<sub>2</sub>O) e o plastificante (glicerol). Pesquisas ainda estão sendo realizadas para a obtenção de plásticos biodegradáveis a partir da utilização de resíduos da agroindústria. Estes materiais estão sendo estudados a partir da incorporação do pó obtido resultante da trituração dos resíduos ou a partir do extrato. O objetivo destes biopolímeros é aprimorar propriedades mecânicas de barreira, microestrutura etc., tornando as embalagens em ativas e inteligentes.

### **3.2 Biopolímeros bio-based biodegradáveis**

Para a confecção de polímeros biodegradáveis, o amido tem se mostrado bastante promissor devido à sua ampla disponibilidade no mundo. Seu uso torna-se viável devido as suas características de possuir boas qualidades funcionais, ter uma vasta quantidade de fontes, possuir baixo custo de produção, diversas possibilidades de modificação química etc. No entanto, em virtude deste material ter alta permeabilidade ao vapor de água, devido a sua hidrofiliabilidade, há a necessidade de incorporar na base um plastificante (Rocha *et al.*, 2014; Sales *et al.*, 2021).

O glicerol (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>O<sub>3</sub>) é um líquido incolor, sabor adocicado, sem odor e possui alta viscosidade, sendo derivado da indústria petroquímica ou de fontes naturais. O glicerol pode ser obtido a partir da produção do biodiesel, sendo coproduto na produção de biodiesel (Adilson Beatriz; Araújo; Lima, 2011; Barros, 2021). O uso do glicerol como plastificante aumenta a flexibilidade das embalagens produzidas (Rocha *et al.*, 2014). Conforme Shimazu, Mali e Grossmann (2007, 81) “os plastificantes são geralmente adicionados na proporção de 10 a 60g/100g matéria seca”. A eficácia da fundição do filme é influenciada pela concentração do plastificante. Teores muito baixo de plastificante tornam os filmes quebradiços, no entanto níveis excessivos do plastificante pode dar aos filmes uma textura emborrachada (Navaf *et al.*, 2023).

Em trabalho realizado por Geleta, Habtegebrel e Tolesa (2020) ao analisarem um biopolímero produzido a partir do amido de *Enset ventricosum* (welw.) nas concentrações de 15%, 20% e 25% de glicerol inferiram que com o aumento das concentrações de glicerol houve perda nas propriedades de resistência a tração e cor, no entanto para as propriedades de umidade, permeabilidade, densidade, alongamento na ruptura e espessura houve uma melhora. Os autores concluíram que os biopolímeros produzidos poderiam ser utilizados (com pequenas alterações) em alimentos com baixo teor de umidade.

Para tornar as embalagens ativas e inteligentes são incorporados na base dos filmes outros produtos, como extrato vegetal a partir de resíduos da agroindústria ou o próprio resíduo (casca de frutas) moído. Estes resíduos apresentam altas concentrações de compostos bioativos, sendo viável sua utilização contribuindo para o desenvolvimento sustentável e a economia circular.

Embalagens ativas fornecem proteção ao produto, prolongando a vida útil de prateleira e melhoram a qualidade. Criam uma barreira para forças externas preservando a qualidade do alimento. As embalagens inteligentes monitoram a qualidade e fornecem aos consumidores informações sobre o frescor do produto, detectando processos de deterioração ou indicando pela mudança de cor a maturação dos frutos armazenados (Amin *et al.*, 2022; Kaushani *et al.*, 2022; Wang *et al.*, 2023). É constatada a importância dessas embalagens para manter os consumidores informados sobre o frescor dos alimentos e a retenção destes no processo de degradação, aumentando sua vida útil, reduzindo ou até evitando o desperdício.

No entanto, as embalagens, além de apresentarem essa capacidade de proteção e aumento da vida útil, devem apresentar características mecânicas satisfatórias para sua manipulação e proteção dos alimentos. Conforme Amin *et al.* (2022), embalagens inteligentes a base de plástico, metal, vidro e papel têm se destacado no mercado, porém sua produção gera emissões de gases poluentes para a atmosfera, contribuindo para a poluição ambiental. Pesquisas estão sendo voltadas para a produção de embalagens inteligentes onde parte do sistema eletrônico não será mais necessária, estes serão trocados por sistemas biodegradáveis usando biomassa de produtos agrícolas, organismos vivos etc.

Os problemas ambientais gerados a partir do acúmulo de resíduos orgânicos são diversos, sendo: chorume, contaminação do solo, poluição hídrica etc. O aproveitamento de resíduos da agroindústria ou de cooperativas é uma prática sustentável que contribui para a redução da poluição ambiental. Os resíduos de frutas, cascas e amêndoa, são ricos em

compostos bioativos e podem ser empregados em uma gama de atividades como farmacêuticas, indústria de cosméticos, indústria alimentícia, na produção de ração para animal etc. No entanto, a subutilização desses resíduos traz consequências negativas para o ambiente natural e para o homem.

Conforme Jain e Shah (2019) os resíduos orgânicos contribuem com 5% das emissões globais de gases de efeito estufa/GEE. O aproveitamento dos resíduos é uma forma de contribuir para a redução das emissões de GEE, o que está alinhado com um dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS 13): “tomar medidas urgentes para combater a mudança climática”. Além disso, contribuiria para alcançar uma das metas da ODS 2 sendo: “dobrar a renda dos pequenos produtores de alimentos” (Nações Unidas Brasil, s.d.).

O tucumã é um fruto amplamente comercializado na zona urbana de Manaus, gerando uma grande quantidade de resíduos. A utilização da casca deste fruto é uma prática sustentável, podendo proporcionar um maior valor agregado ao fruto e favorecer as populações que obtêm benefícios a partir de sua comercialização.

### **3.3 Utilização de resíduos da agroindústria no desenvolvimento de embalagens biodegradáveis**

O plástico convencional é derivado de fontes não renováveis (petróleo, gás e carvão) e leva centenas de anos até sua completa decomposição, causando inúmeros problemas ambientais (Millican; Agarwal, 2021; Terzioglu *et al.*, 2021; Chandrasekar *et al.*, 2023; Chen *et al.*, 2024). Alguns destes problemas estão relacionados com a redução do tempo de vida dos aterros sanitários, poluição dos rios e mares, degradação do solo, riscos à saúde humana etc. (CIEL, 2019; Ubomba-Jaswa; Kalebaila, 2020). Por ano no Brasil são descartados 11,3 milhões de toneladas de plástico, sendo o quarto maior produtor de lixo plástico no mundo. As embalagens plásticas (sacolas, filmes) têm um tempo de vida útil curto, variando de 0 a 5 anos. Em média, aproximadamente 400 milhões de toneladas de plástico são produzidas por ano, das quais apenas 9% desse total são reciclados (Fundação Heinrich Böll Brasil, 2020).

“Com a pressão para reduzir a utilização de plásticos de origem fóssil devido à poluição e ao volume de lixo produzido, o setor de biopolímeros prevê um crescimento nos próximos anos, impulsionado pela demanda por alternativas sustentáveis vinda das áreas de embalagens” (Constantino, 2022, Agência FAPESP). A utilização de embalagens plásticas em alimentos traz

sérios riscos à saúde do ser humano por conterem compostos à base de petróleo podendo ser liberados para o alimento (Bhargava *et al.*, 2020; Amin *et al.*, 2022).

Com o objetivo de conter ou reduzir a poluição oriunda do plástico e a redução do uso de combustíveis fósseis, muitas pesquisas foram realizadas a partir da extração dos compostos bioativos dos resíduos da agroindústria para o desenvolvimento de bioplásticos biodegradáveis. A Tabela 2 apresenta algumas dessas pesquisas, nesta visou-se a utilização das cascas de frutas ou hortaliças.

Tabela 2 - Desenvolvimento de bioplástico biodegradável ativo e inteligente com a incorporação de resíduos da casca de frutas proveniente da agroindústria.

<b>Casca</b>	<b>Tipo de extração e base dos filmes</b>	<b>Produto</b>	<b>Referências</b>
<b>Amora e mirtilo</b>	Micro-ondas e quitosana	Os filmes apresentaram excelente potencial antioxidante com grandes quantidades de fenóis totais. As propriedades mecânicas não foram alteradas após a incorporação do extrato	Kurek <i>et al.</i> , 2018
<b>Romã</b>	Fenólica e zeína	A presença de polifenóis nos filmes foi responsável pela alta capacidade antioxidante e antimicrobiana. Filme capaz de retardar as reações de oxidação e a deterioração microbiana do queijo	Mushtaq <i>et al.</i> , 2018
<b>Maçã</b>	Etanol 80% e quitosana	Potencial para serem utilizados em embalagens biocompostas de alimentos. Filmes com aumento significativo de espessura, densidade, solubilidade e opacidade. Potencial antimicrobiano	Riaz <i>et al.</i> , 2018
<b>Pomelo</b>	Farinha da casca de pomelo, H <sub>2</sub> O, alginato de sódio e glicerol	Os filmes exerceram atividade antioxidante e antimicrobiana. Retardaram a oxidação do óleo durante o armazenamento. A casca de pomelo foi um bom substrato formador de filme	Wu <i>et al.</i> , 2019
<b>Abobora</b>	Pó do resíduo, H <sub>2</sub> O, glicerol e lecitina de soja	Matrizes de filmes contínuas e superfície lisa foram formadas nos filmes, sem trincas, quebras ou aberturas nas superfícies.	Lalnunthari <i>et al.</i> , 2019
<b>Avelã</b>	Extratos hidroalcoólicos e pululano	Filmes com bom desempenho mecânico e propriedades térmicas até 200 °C, propriedades de barreira UV, atividade antioxidante e antibacteriano	Esposito <i>et al.</i> , 2020
<b>Romã</b>	Pó das cascas de romã, base: solução proteica de	A incorporação das cascas de romã teve efeito significativo no teor de fenólicos totais, aumentando de 3,48 para 13,88 mg GAE/g. Filmes contendo o pó	Moghadam <i>et al.</i> , 2020

	feijão mungo, glicerol (plastificante)	da casca de romã apresentaram inibição para o crescimento de <i>L. monocytogenes</i> e <i>E. coli</i>	
<b>Jaboticaba</b>	Assistida por micro-ondas e base carragenina	Os filmes apresentaram aumento no alongamento a ruptura e diminuiu a resistência a tração. Devido a capacidade antioxidante e antimicrobiana dos extratos os autores citaram que estes filmes têm potencial para uso como embalagem ativa.	Ávila <i>et al.</i> , 2020
<b>Jambolão</b>	Extrato aquoso, base: metilcelulose (99%), glicerol	Todas as amostras, incorporadas ou não ao extrato de jambolão, apresentaram estruturas lisas, sem partículas insolúveis, bolhas ou fissuras, indicando a eficácia do método. Filmes antioxidante, podendo ser usado como embalagens ativas. A biodegradabilidade em solo iniciou no 5º dia, levou 15 dias para a completa degradação dos filmes.	Filipini, Romani e Martins, 2020
<b>Laranja</b>	Pó da casca, gelatina de peixe e glicerol	No MEV a incorporação de 3 a 12% de pó da casca não teve efeito significativo na microestrutura dos filmes, a superfície ficou uniforme, sem rachaduras quebras ou poros. Os filmes apresentaram atividade antioxidante e antimicrobiana proporcionais ao aumento da quantidade de pó das cascas adicionados ao filme	Kevij <i>et al.</i> , 2021
<b>Laranja</b>	Pó da casca, quitosana e PVA* (alcool polivinilico), glicerol	A adição da casca de laranja aumentou a espessura, flexibilidade, estabilidade térmica e permeabilidade dos filmes. Filmes com capacidade antioxidante.	Terzioglu <i>et al.</i> , 2021
<b>Mangostão</b>	Extrato em água e etanol, base hidroxipropilmetilcelulose e glicerol	Filme com inibição de crescimento para <i>S. aureus</i> e <i>E. coli</i> , com potencial para serem utilizados como compostos antibacteriano em embalagens ativas	Chaiwarit <i>et al.</i> , 2021
<b>Romã</b>	Base dos filmes: amido, quitosana,	Filmes com essas bases possuem efeito antimicrobiano e antioxidante, alto teor de fenólicos (13,88 mg GAE/g). O extrato da casca de romã incorporado em filmes contribui para preservar e manter a qualidade biológica e sensorial do filé de peixe refrigerado	Kumar <i>et al.</i> , 2022
<b>Beterraba</b>	Extrato aquoso, base: gelatina (4%), alginato de sódio (NaAlg) e glicerol (20%)	Atividade antibacteriana, aumentando progressivamente com o aumento das concentrações. Teor de fenólicos totais variou de 21,85 a 23 mg GAE/mL. Todos os filmes apresentaram alta capacidade de eliminação de radicais (DPPH).	Chaari <i>et al.</i> , 2022

<b>Banana</b>	Extrato etanólico, base de amido e fibras de nanocelulose a partir das cascas de banana	Filmes antioxidante, eficaz na extensão de vida útil do pão em 10 dias, capacidade de bloqueio UV de 98%. Embalagens termoplásticas bioativas. Extrato etanólico com considerável atividade antioxidante e antimicrobiana	Chandrasekar <i>et al.</i> , 2023
<b>Frutas cítricas</b>	Pó das cascas como base, glicerol (plastificante) e alginato de sódio (agente adesivo)	Os filmes apresentaram forte atividade antioxidante e antimicrobiana, retardo da oxidação do óleo de milho. O filme a base de pó da casca de tangerina apresentou melhor resultado no retardo da oxidação do óleo de milho, mostrou-se adequado para embalagem ativa.	Yun <i>et al.</i> , 2023
<b>Romã e frutas cítricas</b>	Base de celulose, revestimento de AgNPs* verdes sintetizadas a partir de extratos de casca de romã	As embalagens de celulose modificada eram hidrofóbicas e apresentavam menor permeabilidade à transferência de oxigênio, indicando um ambiente de embalagem adequado para produtos alimentícios.	Gopalakrishnan <i>et al.</i> , 2023
<b>Uva</b>	AgNPs, extrato das cascas e base PVA	Filmes apresentaram estabilidade térmica e mecânica significativamente melhorada dos compósitos em comparação com filmes de PVA puro. Potencial antioxidante e atividade antimicrobiana	Yaqoob <i>et al.</i> , 2023
<b>Uva</b>	Extração líquida pressurizada, base carboximetilcelulose e glicerol	Os filmes desenvolvidos podem ser utilizados para proteger produtos alimentícios suscetíveis a degradação luminosa, aumentando a vida útil de alimentos sensíveis a luz. Apresentaram potencial aplicação para monitorar o frescor do leite e carne suína.	Francisco <i>et al.</i> , 2024

\*= AgNPs: nanopartículas de prata biossintetizadas; PVA: álcool polivinílico  
Fonte: Próprio autor

A confecção de embalagens ativas e inteligentes é uma provável solução para a redução da poluição plástica, devido aos seus componentes, sua degradabilidade é mais rápida. Conforme o trabalho realizado por Filipini, Romani e Martins (2020), em que os autores testaram a degradabilidade dos filmes desenvolvidos com extrato de jambolão em solo e água do mar, foi verificado que em um período de 15 dias não eram mais visíveis partículas dos filmes no solo, apresentando alta degradação.

Em estudo realizado por Bidare *et al.* (2023) foi verificado que no período de 5 dias a biodegradação dos filmes em solo e água de rio foi completa. Os autores usaram como base dos

filmes o amido a partir das cascas de Taro (*Colocasia esculenta* Schott). Todas as amostras foram completamente solubilizadas a partir do 3º dia na água.

Os biofilmes desenvolvidos a partir de compostos naturais apresentam uma alta taxa de degradabilidade (Medina-Jaramilo *et al.*, 2017; Filipini, Romani; Martins, 2020; Bidare *et al.*, 2023) em comparação com polímeros produzidos a partir de fontes não renováveis. Estes foram produzidos para ter durabilidade e poderem ser incorporados em uma gama de materiais. A princípio a maior preocupação das pesquisas era ter um material resistente e durável (Millican; Agarwal, 2021), não havendo maiores atenções aos problemas futuros com a disposição final desses resíduos.

A disposição inadequada dos resíduos plásticos e o tempo de decomposição levaram à poluição plástica e os filmes biodegradáveis podem ser uma das soluções para a geração de novos plásticos com uma taxa de durabilidade menor. As aplicações que criaram os microplásticos em grande quantidade são as embalagens plásticas de uso único (Millican; Agarwal, 2021). Os microplástico são gerados pela degradação do plástico, sendo encontrado em todos os lugares e no corpo humano (Ortiz, 2023).

Os bioplásticos são materiais compostos por polímeros de fontes renováveis derivados de qualquer material biológico e a biodegradabilidade resulta da ação de microorganismos (Sánchez, 2020). Os filmes biodegradáveis têm matriz de compostos naturais sendo: lipídeos, proteínas fibras e polissacarídeos (Sousa *et al.*, 2021). E o amido é amplamente utilizado como matriz para a produção de filmes biodegradáveis (Bidare *et al.*, 2023). Pensar em alternativas para mitigar os impactos ambientais gerados a partir da economia linear são de extrema importância. Muitas pesquisas ainda estão em andamento na busca de soluções para mitigar os problemas ambientais e na Amazônia há uma alta diversidade de espécies que podem ser utilizadas, um exemplo é o tucumã-do-Amazonas. Nos períodos de maior produção desse fruto há possibilidade de uso integral das partes do fruto (caroço, amêndoa e casca), visto que muitas pesquisas apontaram as propriedades pertencentes às partes do fruto que são descartadas. Propriedades estas que podem ser utilizadas em uma infinidade de produtos.

Na cidade de Manaus, o tucumã é amplamente consumido e seus resíduos ainda são subutilizados. Esta pesquisa está direcionada para a utilização da casca do tucumã, ou seja, oferecendo mais uma destinação a esse resíduo a partir da obtenção de extrato destas para a incorporação em um biofilme biodegradável.

### 3.4 Tucumã-do-Amazonas (*Astrocaryum aculeatum* Meyer)

*Astrocaryum aculeatum* Meyer é uma espécie amplamente conhecida na região Amazônica, tendo significativa importância econômica para a população local (Ramos *et al.*, 2016). Popularmente é nomeada pelos povos tradicionais como tucumã-arara, tucumã-piranga, tucumã-piririca, tucumã-do-Amazonas, tucum-açu, tucum-bravo, tucum-da-serra, tucum-domato e tucumã (Kahn, 1988; Machado *et al.*, 2022). Ocorre em larga escala nas áreas ocidentais e centrais da Amazônia brasileira, distribuindo-se geograficamente nas regiões do Acre, Mato Grosso, Rondônia, Roraima, Pará e Amazonas. Além desses locais citados, exemplares dessa espécie podem ser encontrados em outros países sendo: Bolívia, Guiana, Suriname, Trinidad e Venezuela (Machado *et al.*, 2022; Ramos *et al.*, 2022).

*A. aculeatum* é uma palmeira pertencente à família Arecaceae (Santos *et al.*, 2018; Ramos *et al.*, 2022). Conforme Machado *et al.* (2022), “sua abundância e área de distribuição nos trópicos fazem parte da evolução principal das angiospermas monocotiledôneas”. Esta espécie pode ser encontrada em áreas degradadas, sendo tolerante a solos pobres, suporta períodos de secas prolongados e em zonas de precipitação anual maior que 1600 mm (FAO, 1987). Sendo pioneira em áreas antropizadas (Ramos *et al.*, 2011) é comum encontrar esta espécie em florestas menos densas, áreas desmatadas, pastagens, capoeiras, nas margens de estradas e em núcleos habitacionais (Leitão, 2008; Kieling *et al.*, 2019; Didonet *et al.*, 2020).

*A. aculeatum* cresce de forma monopodial, arborescente, estipe ereto, solitário e monóico, apresentando morfologicamente uma inflorescência possuindo as duas estruturas florais (Leitão, 2008; Ramos *et al.*, 2011; Ramos *et al.*, 2016). O estipe pode alcançar uma altura de 10 a 30 m (Santos *et al.*, 2018), apresenta em média 10 a 25 cm de diâmetro e contém espinhos negros de até 15 cm de comprimento. A inflorescência desta palmeira apresenta em média 432 ráquias, florescendo no período de julho a janeiro (FAO, 1987; Moussa; Kahn, 1997; Leitão, 2008; Machado *et al.*, 2022). E o período de frutificação estende-se de fevereiro a agosto, notando-se também uma pequena produção nos meses de outubro a novembro (Moussa; Kahn, 1997).

Os frutos de *A. aculeatum* são drupas e possuem a forma de subglobosos, globosos e ovóides; seus tamanhos são variados, podendo medir entre 4,5 e 6,0 cm de comprimento e 3,5 e 4,5 cm de diâmetro. Os frutos pesam cerca de 60 a 80 g, possuem epicarpo liso e duro e alguns frutos podem apresentar listras no epicarpo; o mesocarpo possui coloração amarelo-alaranjado, o endocarpo pétreo, negro, consistente e lenhoso e o endosperma homogêneo. Geralmente cada

fruto contém uma única semente, no entanto, alguns frutos podem apresentar duas (Leitão, 2008; Souza *et al.*, 2018; Machado *et al.*, 2022; Vianna, 2020).

Os frutos podem ser encontrados durante o ano todo, porém sua maior produção se dá nos períodos de fevereiro a maio (FAO, 1987; Machado *et al.*, 2022). A maior importância econômica está voltada para a polpa (mesocarpo) do fruto (Leitão, 2008; Kieling *et al.*, 2019; Didonet *et al.*, 2020).

### 3.4.1 Importância econômica do tucumã-do-Amazonas

Trabalhos realizados há algumas décadas já demonstravam o potencial econômico do tucumã do Amazonas, gerando emprego e renda para a população local (FAO, 1987; Kahn; Moussa, 1999; Silva *et al.*, 2024). Os frutos comercializados na zona urbana de Manaus advêm dos municípios do Amazonas, sendo os mais citados: Itacoatiara, Terra Santa, Rio Preto da Eva, Autazes e Bacia do Rio Madeira (Didonet; Ferraz, 2014). Conforme cita Ramos (2014), os frutos também são provenientes de outros estados, como Pará e Roraima.

Os frutos podem ser facilmente encontrados na região urbana de Manaus, sendo comercializados por vendedores ambulantes, nas feiras, no centro da cidade ou indo direto nas embarcações nos portos de Manaus (Ceasa e Roadway). Para revenda, os frutos são comercializados em sacas variando de R\$ 400,00 a R\$ 700,00 reais cada, dependendo do período de frutificação. Podem ser comprados *in natura*, a dúzia, ou apenas a polpa do fruto já beneficiada. O kg da polpa de tucumã pode chegar a R\$ 120,00 na entressafra (Federação de Agricultura e Pecuária do Amazonas, 2020).

A polpa é amplamente consumida pela população local, no café da manhã no meio do pão, famoso x-caboquinho ou tapioca e na forma de pasta. A polpa do tucumã também pode ser encontrada na forma de sorvete, licores, creme e desidratada. O óleo da polpa do tucumã vem sendo amplamente utilizado por indústrias de cosméticos para a formulação de cremes e loções corporais (Yuyama *et al.*, 2008; Didonet; Ferraz, 2014; Ramos, 2014; Ferreira, 2023) e na indústria alimentícia.

A amêndoa do tucumã tem um alto teor de óleo (Barbosa *et al.*, 2008) e conforme Oliveira, Moura-Neto e Silva (2018, p. CS22) produz “cerca de 30 – 50% de óleo como matéria graxa de cor branca, sólida a temperatura ambiente”. Este óleo também é muito apreciado para a composição de cosméticos, sendo rico em ácido graxo láurico utilizado para a saponificação

(Gonzales *et al.*, 2008). *In natura*, a amêndoa é utilizada pelos povos tradicionais na composição alimentar de porcos.

Para a casca do fruto, este trabalho, não encontrou usos que beneficiem economicamente os produtores ou populações que trabalham com a venda do fruto. Populações tradicionais usam a casca do fruto na complementação alimentar de animais, sendo galinhas, porcos e patos. Na região urbana da cidade de Manaus, conforme citam Ferreira, Martinez e Carvalho (2023), a casca é “em sua maioria descartada, sem nenhum aproveitamento”.

O caroço do tucumã (parte lenhosa, endocarpo), conforme citado por Silva, Sevalho e Miranda (2021, p. 1027) “é usado pelos artesãos para a confecção de biojoias, como brinco, pulseiras, colares e outros artefatos curiosos”.

### **3.4.2 Potenciais usos biotecnológicos da casca do tucumã-do-Amazonas**

Como citado anteriormente, a casca do tucumã-do-Amazonas, até o presente, não apresenta importância econômica; no entanto, muitas são as pesquisas que estão sendo desenvolvidas no aproveitamento desse resíduo. A casca do tucumã é utilizada por povos tradicionais (ribeirinhos) até na sua dieta alimentar (Sagrillo *et al.*, 2015). Devido ao seu amplo consumo na zona urbana de Manaus, vê-se a necessidade de mais pesquisas voltadas para o beneficiamento das cascas desse fruto.

A polpa do tucumã é rica em compostos bioativos, flavonóides, rutina, carotenóides, polifenóis, quercetina, ácido gálico etc. (Jobim *et al.*, 2014; Sagrillo *et al.*, 2015; Cabral *et al.*, 2020; Araújo *et al.*, 2021; Casas *et al.*, 2022; Machado *et al.*, 2022). Na polpa há 21 tipos diferentes de carotenoides e o  $\beta$ -caroteno tem maior representatividade, onde em estudo realizado por De Rosso e Mercadante (2007) foi detectada uma concentração de 75% em relação aos outros carotenoides. No entanto, em estudos realizados por Jobim *et al.* (2014) e Sagrillo *et al.* (2015) foi detectado que nos extratos das cascas do tucumã, há maiores concentrações de compostos que nos extratos da polpa, para os compostos: TPC (Conteúdo Fenólico Total), flavonoides, taninos, alcaloides e  $\beta$ -caroteno.

Conforme Casas *et al.* (2022, p. 13667), “Várias pesquisas têm demonstrado também o potencial de substâncias isoladas do fruto e da casca com diferentes atividades farmacológicas como antioxidante, antimicrobiana e citoprotetora”. Alguns desses dados podem ser visualizados na Tabela 3, em que se evidenciam pesquisas voltadas para o uso das cascas do *A.*

*aculeatum*, e de algumas pesquisas que acrescentaram a polpa do *A. aculeatum* para as análises. Santos *et al.* (2015) citam em seu estudo que a forma do consumo do tucumã pelas populações tradicionais é na ingestão da polpa mais a casca. Pode-se afirmar que devido a essas características de consumo, alguns estudos optaram por analisar a polpa em conjunto com a casca.

Tabela 3 - Pesquisas voltadas para a utilização das cascas de tucumã (*Astrocaryum aculeatum* Meyer) visando os potenciais biotecnológicos

Material	Método extração	Ensaio	Atividade	Referências
Casca + Polpa	Etanólico	-	Antioxidante	Souza Filho <i>et al.</i> , 2013
Casca	Hidroalcoólico	<i>In vitro</i> - Microrganismos	Efeito antibacteriano e antifúngico: <i>L. monocytogene</i> e <i>C. albicans</i>	Jobim <i>et al.</i> , 2014
Casca + Polpa	Metanol e H <sub>2</sub> O	DPPH e ORAC	Capacidade antioxidante de 92%	Santos <i>et al.</i> , 2015
Casca e Polpa	Etanólico	Linfócitos expostos a H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Reverteram a citotoxicidade do H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Sagrillo <i>et al.</i> , 2015
Casca + Polpa	Hidroalcoólico	<i>In vitro</i> – linhagem celular de macrófagos	Redução do processo inflamatório e aumento da defesa antioxidante	Cabral <i>et al.</i> , 2020
Casca + Polpa	Etanólico	Ratos hiperlipidêmicos	Preveniu perda de memória e danos oxidativos no cérebro	Jantsch <i>et al.</i> , 2021
Casca	Metanólico	Bactérias e fungos	Inibição contra linhagens de: <i>E. coli</i> , <i>P. aeruginosa</i> , <i>S. aureus</i> e <i>K. pneumoniae</i>	Sousa <i>et al.</i> , 2023
Casca	Acetona 50%	DPPH, FRAP e CPT	Teor de carboidrato: 39,43%; Teor de fenólicos totais: 108,52 mg GAE 100 <sup>-1</sup> ; Capacidade antioxidante	Miranda <i>et al.</i> , 2024

Fonte: Próprio autor

Trabalhos como os citados anteriormente (Tabela 3) demonstram a viabilidade em se utilizar a casca de tucumã, agregando valor à cadeia produtiva deste fruto de forma que todas as partes do fruto possam ser aproveitadas, podendo potencializar ainda mais a bioeconomia do estado do Amazonas e aplicação dos compostos em uma gama de produtos (farmacológicos e alimentares).

A extração dos compostos bioativos (carotenóides) presentes nas cascas do tucumã tem potencial para ser utilizada por indústrias alimentícias, cosméticas e farmacêuticas (Matos *et al.*, 2019; Casas *et al.*, 2022). Nos trabalhos realizados por Miller *et al.* (2013), Costa *et al.* (2018) e Silva *et al.* (2023) que realizaram a incorporação dos resíduos (casca) do despolpe do tucumã na ração para alimentação de frangos, observou-se que as incorporações nas proporções de 20, 25 e 60% respectivamente, não alteraram a qualidade dos ovos e características físicas

dos animais estudados. Pesquisas norteadas para a utilização de resíduos orgânicos de empresas agroindustriais têm demonstrado vantagens principalmente em relação ao meio ambiente.

Conforme Kurek *et al.* (2018) estudos voltados ao aproveitamento de resíduos orgânicos têm ganhado importância. Pesquisas estão sendo realizadas para o aproveitamento de cascas de frutas na incorporação de filmes biodegradáveis, com o objetivo de gerar maior valor agregado aos resíduos das cascas de fruta, contribuindo para a economia circular, os 7 R's da sustentabilidade e redução dos impactos ambientais.

## 4. METODOLOGIA

### 4.1 Matéria-prima

Os frutos do tucumã são oriundos do município de Urucará/AM, da Cooperativa Agrofrutífera dos produtores de Urucará (AGROFRUT). Esta cooperativa está localizada na Rua Dona Doquinha, 247 – Bairro de Aparecida. Os frutos foram retirados da palmeira no mês de maio de 2023, estes encontravam-se no estágio de maturação tendendo ao amarelo (Figura 2-B) estando no ponto para consumo. Após a coleta, os frutos foram acondicionados em sacos de ráfia e transferidos via fluvial (barco) para Manaus. O tempo decorrido de Urucará para Manaus, de barco, é de aproximadamente 22 horas.

Os frutos foram trazidos ao Laboratório de Processos de Separação (LABPROS), localizado no prédio da Faculdade de Ciências Agrárias (FCA 02) setor Sul, Universidade Federal do Amazonas/UFAM. Foi realizada a limpeza em água corrente e sanitização em água clorada (10% de hipoclorito de sódio) onde os frutos ficaram por um período de 15 minutos imersos na água. Em seguida, procedeu-se à caracterização física dos frutos.

### 4.2 Caracterização física da matéria-prima

Para a caracterização física, foram triados 100 frutos de tucumã, Figura 2 (A, B e C). Após esta etapa, foi realizada a mensuração dos frutos com o auxílio de um paquímetro para obtenção dos dados de comprimento e diâmetro de cada fruto (Figura 3 - A e B). Após a caracterização biométrica, cada fruto foi pesado em uma balança analítica (Figura 3 - C).

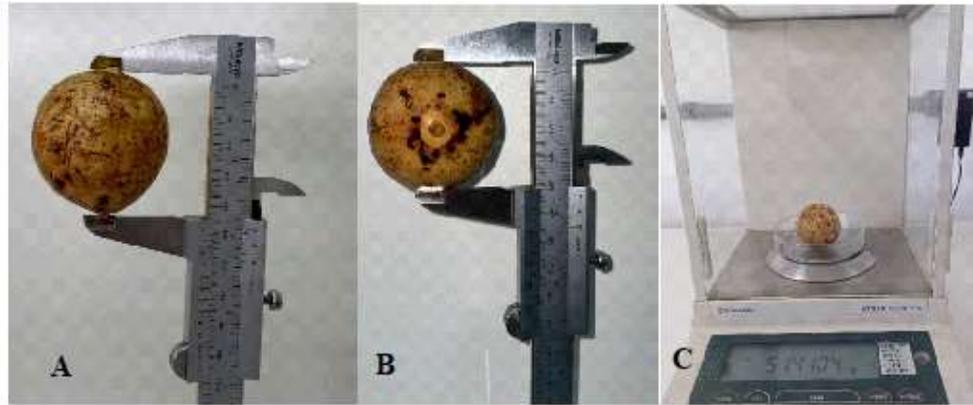
Figura 2 – A = Triagem dos frutos de tucumã (*Astrocaryum aculeatum* Meyer); B = Frutos após a higienização; C = Separação do perianto dos frutos.



Fonte: Autor

Os dados de pesagem do perianto do fruto não foram utilizados e após a separação, estes foram descartados.

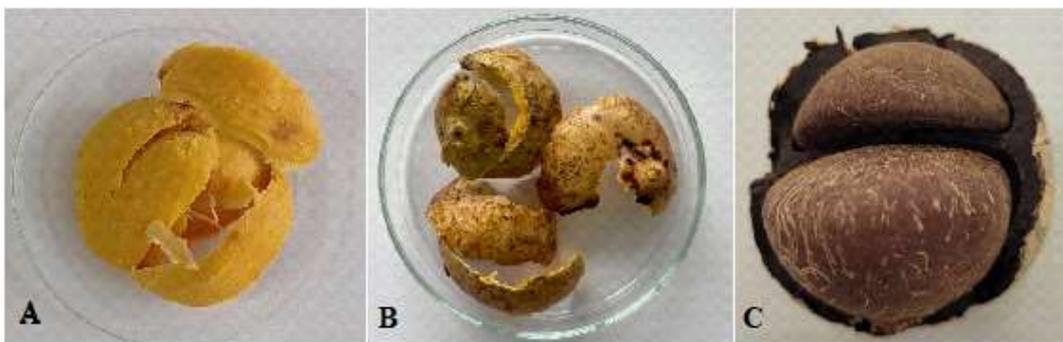
Figura 3 – Mensuração dos frutos de tucumã (*Astrocaryum aculeatum* Meyer) usando paquímetro. A = comprimento do fruto; B = diâmetro do fruto; C = pesagem do fruto



Fonte: Autor

Após a obtenção desses dados, os frutos foram descascados. Realizou-se a separação da polpa, casca, amêndoa e material lenhoso (Figura 4: A, B e C), em seguida procedeu-se à pesagem de cada componente do fruto. Os componentes do fruto (polpa, casca e amêndoa) foram armazenados separadamente em sacos de polietileno em freezer a  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , para posterior utilização.

Figura 4 – Partes do fruto de *Astrocaryum aculeatum* Meyer; A: polpa; B: casca; C: amêndoa e parte lenhosa (C)



Fonte: Autor

### 4.3 Preparo das amostras

As cascas do tucumã foram retiradas do freezer e colocadas em estufa de secagem com circulação de ar (marca 7lab, modelo SSDic-40 L) a  $45\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante 48 horas. Após a secagem

(Figura 5, A), as cascas foram trituradas em moinho de facas (marca LUCADEMA, modelo LUCA-226/2) e tamisadas em peneira de análise granulométrica (marca GRANUTEST). Utilizaram-se 2 peneiras para separação das partículas, sendo malha mesh 14 (abertura de 1,18 mm) e malha mesh 20 (abertura de 0,85 mm). O pó retido na malha mesh 20 foi utilizado para fazer as análises de umidade, cinzas e para obtenção do extrato. O tamanho dessas partículas foi escolhido devido a estas apresentarem melhor dimensão para extração de compostos bioativos. Para Cujic *et al.* (2016) o tamanho das partículas influencia na extração dos compostos bioativos, onde verificaram que partículas entre 1,00 e 0,75 mm apresentaram maiores proporções de compostos em relação a partículas maiores (2,00 mm). Os autores citam que partículas menores têm superfície de contato maior, o que permite o aumento da transferência de massa.

Figura 5 – A: cascas de tucumã (*Astrocaryum aculeatum* Meyer) secas; B: trituração das cascas em moinho de facas; C: tamisação das cascas em peneira granulométrica.



Fonte: Autor

#### 4.4 Determinação da umidade e cinzas da matéria prima

A umidade foi analisada conforme protocolo estabelecido pela Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 2005) método nº 925.09. Os cadinhos foram previamente calcinados na estufa (marca 7lab, modelo SSDic – 40L) a 105 °C. A análise foi realizada em triplicata, em que em cada cadinho foram adicionadas 5 gramas de casca de tucumã. Os cadinhos contendo as amostras foram depositados na estufa a 105 °C, retirados, acondicionados em dessecador e pesados até atingir peso constante. A primeira pesagem foi realizada após 24 horas das amostras dentro da estufa. A umidade foi determinada por:

$$\%Umidade = \left( \frac{(Ma - Mb)}{Ma} \right) * 100$$

Onde: Ma = massa da amostra úmida; Mb = massa da amostra seca;

O teor de cinzas foi realizado conforme AOAC (2005), método nº 923.03. As amostras que foram utilizadas para cinzas são as mesmas em que se determinou a umidade. Essas amostras foram acondicionadas em forno mufla. Para obtenção das cinzas, a temperatura do forno mufla foi ajustada para uma temperatura de 550 °C. O material foi mantido por um período de 4 horas no forno. O teor de cinzas foi então calculado por:

$$\left( \frac{MRA - MR}{MA} \right) x 100\% = TC\%$$

Onde: MRA = massa do cadinho + amostra, após mufla; MR = massa do cadinho; MA = massa da amostra seca; TC = teor de cinzas em porcentagem.

#### 4.5 Obtenção do extrato hidroalcólico das cascas de tucumã

Para obtenção do extrato, foi realizada a extração do pó das cascas de tucumã em álcool etílico 70% (Figura 6). A relação mássica de álcool/casca de tucumã em pó (solvente/matéria-prima) foi de 7/1. Esta relação foi usada com o objetivo de evitar a saturação precoce do solvente, permitindo assim uma melhor extração dos compostos bioativos.

Figura 6 – Cascas de tucumã em pó (A); e cascas imersas em solução hidroalcólica (B).



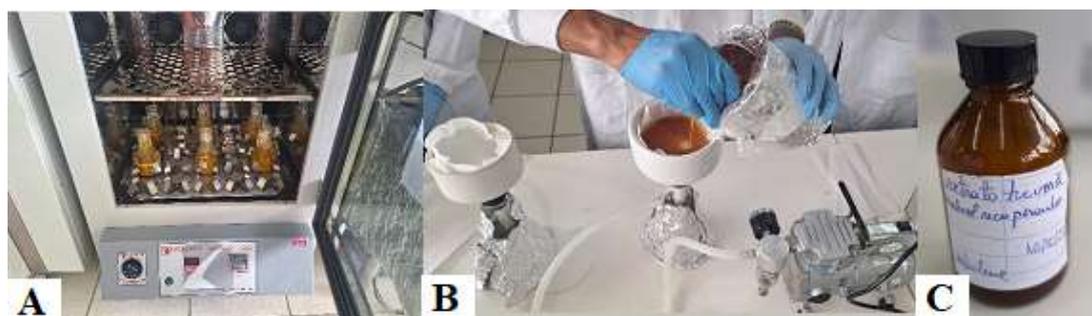
Fonte: Autor

Segundo Durán-Aranguren *et al.* (2025), a carga de biomassa influencia consideravelmente a extração de compostos bioativos; menores cargas proporcionam maiores rendimentos de extração. Para Santana, Zanini e Macedo (2020) a maceração (agitação ou

simples) é uma técnica de extração de compostos bioativos convencional facilmente aplicada. Devido à sua fácil aplicabilidade, foi utilizada essa técnica para obtenção do extrato.

A solução (solvente/matéria-prima) ficou durante 24 horas sob agitação (250 rpm a 25 °C) em incubadora Shaker (LUCADEMA - 223), protegida da luz (Figura 7 - A). Em seguida, foi realizada a filtração a vácuo com a finalidade de separar o resíduo sólido das cascas de tucumã do extrato (Figura 7 - B). O extrato foi armazenado em recipiente âmbar para posterior recuperação do álcool (Figura 7 - C). A recuperação do álcool foi realizada em Evaporador Rotativo (Tecnal, TE-211). As condições para recuperação foram de 70 °C sob vácuo de 60 kPa por um período de uma hora. O extrato foi armazenado em frasco âmbar para posterior utilização.

Figura 7 – Obtenção do extrato a partir do pó das cascas de tucumã (*Astrocaryum aculeatum* Meyer). A = solução na Shaker; B = filtração à vácuo do extrato; C = extrato armazenada em frasco âmbar



Fonte: Autor

#### 4.6 Caracterização dos extratos

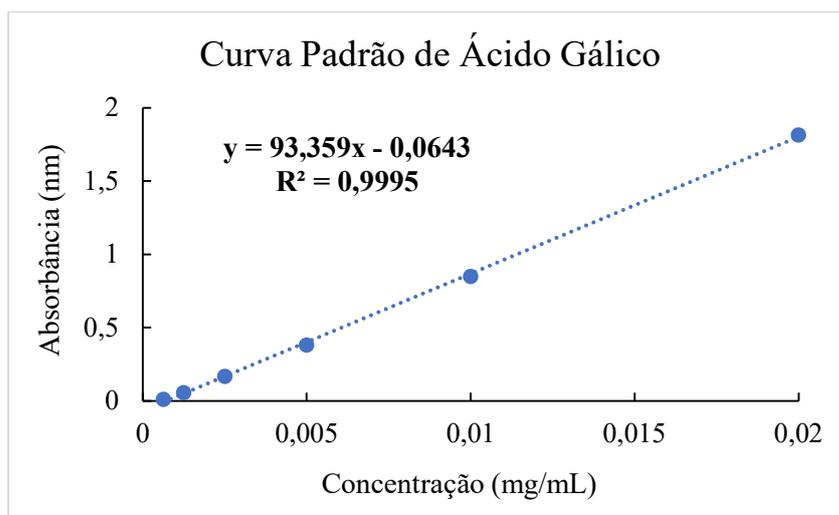
Para realizar a caracterização do extrato, após a recuperação do álcool, este foi submetido ao processo de liofilização utilizando o liofilizador LS3000 da Terroni. Os processos de secagem são necessários para concentrar os compostos extraídos ou evitar sua degradação, preservando a atividade antioxidante da amostra (Pagano *et al.*, 2021). Para cada análise foi utilizado 10 mg de extrato liofilizado. O extrato liofilizado foi utilizado apenas nesta etapa, para a incorporação nos biofilmes foi utilizado o extrato líquido.

##### 4.6.1 Determinação do teor de fenólicos totais

Para determinação do teor de fenólicos totais foi utilizado o método Singleton e Draper (1964) com algumas modificações.

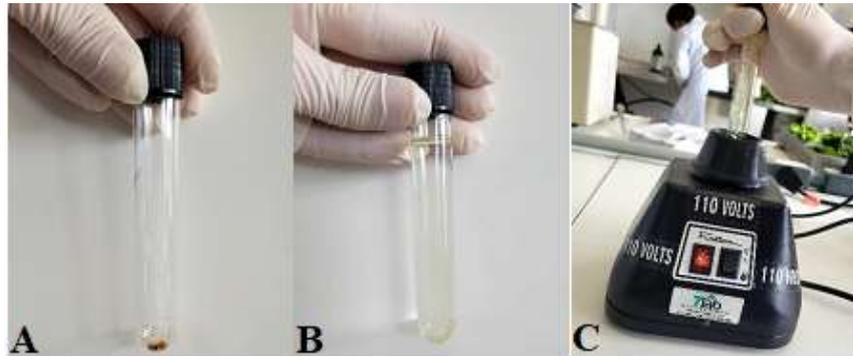
A curva padrão de ácido gálico foi determinada utilizando o metanol PA, reagente Folin-Ciocalteu, bicarbonato de sódio e água destilada. A curva analítica foi preparada a partir do padrão de ácido gálico em metanol na concentração de 0,333 mg/mL. A curva foi determinada utilizando soluções padrão nas concentrações de 0,02-0,0006 mg/mL (Figura 8). Esse processo foi determinado pelo método de sucessivas diluições, em que no primeiro tubo de ensaio foi adicionado 1 mL de metanol, e, em seguida, acrescentou-se 1 mL de solução padrão de ácido gálico diluída. Em seguida, em cada tubo de ensaio foi adicionado 1 mL de solução Folin-Ciocalteu (10%), aguardou-se durante 5 minutos, após esse tempo, adicionou-se 1 mL de bicarbonato de sódio (60 g/L). Aguardou-se 90 minutos, no escuro, para prosseguir com a leitura no comprimento de onda 750 nm em espectrofotômetro UV-VIS (modelo Bel UV-M51 UV-Visível).

Figura 8 - Curva padrão de ácido gálico



Para a quantificação de fenólicos totais no extrato das cascas de tucumã foi preparada solução aquosa de bicarbonato de sódio (60g/L) e Folin-Ciocalteu (10%). O extrato da casca (10 mg) foi diluído em 10 mL de metanol (Figura 9). Esta análise foi realizada em triplicata, primeiramente, 1 mL de extrato diluído foi adicionado em um tubo de ensaio de vidro, em seguida, foi adicionado 1 mL de solução de Folin-Ciocalteu, aguardou-se 5 minutos, posteriormente, adicionou-se 1 mL da solução de carbonato de sódio e aguardou-se 90 minutos até a leitura. As leituras das amostras foram realizadas em espectrofotômetro UV-VIS (modelo Bel UV-M51 UV-Visível) em 750 nm. Os resultados foram expressos em miligramas de equivalentes de ácido gálico por cem gramas de peso seco (mg EAG/100g).

Figura 9 – A: extrato seco das cascas de tucumã; B: extrato solubilizado em metanol; C: processo de homogeneização do extrato em vórtex



Fonte: Autor

#### 4.6.2 Determinação da capacidade antioxidante

A capacidade antioxidante foi determinada conforme o método utilizado por Brand-William, Cuvelier e Berset (1995); foi realizada a leitura em espectrofotômetro em 515 nm. O extrato das cascas (10 mg) foi solubilizado em metanol (10 mL). A atividade antioxidante dos extratos foi quantificada utilizando o método de eliminação do radical livre DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil), em triplicata. Inicialmente, foi preparada uma solução de DPPH pesando-se 0,0280 g em balança analítica (Shimadzu, AY220 - 110V), a qual foi dissolvida em 100 mL de metanol PA. Posteriormente, 10 mL dessa solução foram diluídos em 100 mL de metanol. Para o ensaio, uma alíquota de 0,1 mL do extrato foi adicionada a 3,9 mL da solução de DPPH em metanol (concentração final de 0,06  $\mu$ M). A mistura foi homogeneizada e mantida no escuro por 30 minutos, após esse período realizou-se a leitura em espectrofotômetro. Os valores de absorvância obtidos foram então calculados por:

$$A.A\% = \left( \frac{absBranco - absCasca}{absBranco} \right) * 100$$

Onde: A.A% = capacidade antioxidante do extrato da casca; absBranco = metanol; absCasca = extrato da casca do tucumã.

#### 4.7 Desenvolvimento dos biofilmes biodegradáveis incorporados com extrato das cascas de tucumã

O desenvolvimento dos biofilmes à base de amido (Amido Solúvel P.A-ACS da empresa Dinâmica Química Contemporânea LTDA) contendo extrato líquido da casca de

tucumã foi realizado de acordo com a metodologia adaptada de Medina-Jaramillo et al. (2017), que trata da produção de biofilmes biodegradáveis com a incorporação de resíduos da indústria de alimentos.

O extrato das cascas de tucumã foi utilizado nas concentrações 5%, 10% e 15% v/v, adicionado em cada solução formadora de filme. Nos biofilmes de controle, não foi incorporado extrato. O desenvolvimento dos biofilmes foi realizado pelo método de *casting* contendo água, amido e glicerina. Utilizou-se 5% de amido, 0,9% de glicerol e 94,1% de H<sub>2</sub>O destilada. O extrato das cascas foi adicionado em relação ao volume total da água (Tabela 4).

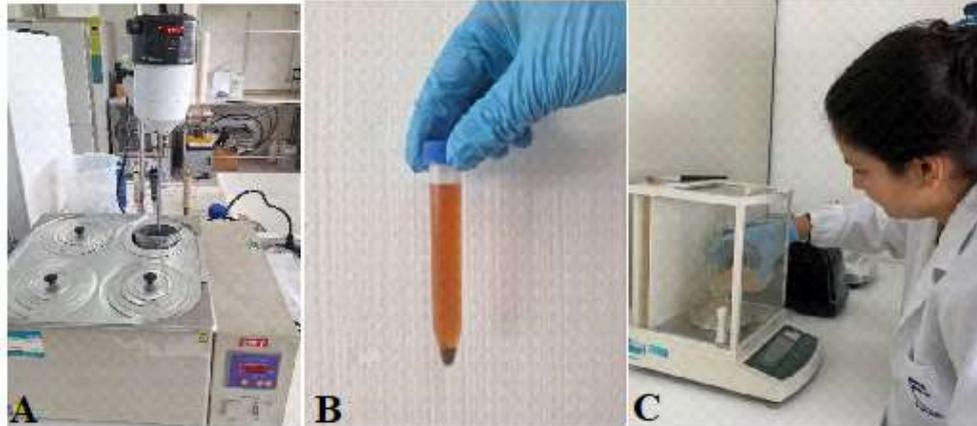
Tabela 4 - Percentuais de incorporação de extrato das cascas de tucumã (*Astrocaryum aculeatum* Meyer) na base de amido para obtenção dos biofilmes ativo

Biofilmes	H <sub>2</sub> O	Concentração de	
		extrato	Amido Glicerol
		%	
Controle	94,10	0	
F5	89,10	5	5 0,9
F10	84,10	10	
F15	79,10	15	

Fonte: Autor

As soluções filmogênicas foram submetidas à agitação mecânica a 460 rpm (Fisatom 713DS) em banho termostático (Logen, LS4S-AG) a 90 °C durante 25 minutos para gelatinização do amido em água e glicerina. Em seguida, adicionou-se o extrato das cascas de tucumã nas proporções de 5, 10 e 15%, respectivamente, seguido de agitação mecânica durante 1 minuto. Após este processo, as soluções filmogênicas foram vertidas em placas de Petri (Figura 10).

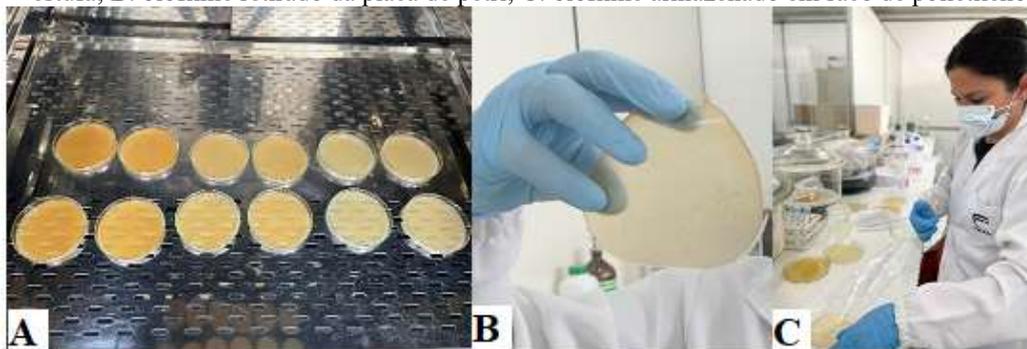
Figura 10 – Desenvolvimento dos biofilmes incorporados com extrato das cascas de tucumã (*Astrocaryum aculeatum* Meyer). A: agitação mecânica da solução filmogênica; B: extrato das cascas; C: método *casting*



Fonte: Autor

A espessura dos biofilmes foi controlada adicionando a mesma massa de suspensão de 37,33 g nas placas de diâmetro 108,70 mm (Figura 10C). Essas placas foram dispostas em estufa com circulação de ar por 24 horas na temperatura de 30 °C para secagem (Figura 11A). Posteriormente, as placas foram dispostas em dessecador com sílica gel azul até a completa secagem dos biofilmes. Após serem retirados das placas, os biofilmes foram armazenados em sacos de polietileno (Figura 11B e 11C), e acondicionados dentro de dessecadores sem sílica para posteriores análises.

Figura 11 – A: soluções filmogênicas incorporadas com extrato das cascas de tucumã acondicionadas na estufa; B: biofilme retirado da placa de petri; C: biofilme armazenado em saco de polietileno



Fonte: Autor

#### 4.7.1 Caracterização dos biofilmes biodegradáveis ativos

##### 4.7.1.1 Espessura

A espessura dos biofilmes foi realizada conforme Chacon *et al.* (2024), com adaptações. Foram selecionados 5 pontos aleatórios na superfície de cada um, cada teste foi realizado em

10 unidades de cada concentração. Para esta análise foi utilizado um micrômetro digital (Mitutoyo N° 293-561-30, Japão) com a precisão de 1µm.

#### 4.7.1.2 Umidade

Para determinação do teor de umidade dos biofilmes desenvolvidos, foi utilizado o protocolo estabelecido pela AOAC (2005), secagem direta em estufa (marca 7 lab, modelo SSDic – 40L) a 105 °C, método 925.09. Para cada concentração e o controle utilizaram-se triplicatas de amostras de biofilmes (Figura 11). Aproximadamente 2,0 g de biofilme foram dispostos em cadinho e levados a estufa. O teor de umidade foi então calculado por:

$$Umidade (\%) = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100$$

Onde:  $m_i$  é a massa inicial e  $m_f$  é a massa seca final.

#### 4.7.1.3 Solubilidade

Os biofilmes biodegradáveis desenvolvidos foram avaliados seguindo o mesmo procedimento de Filipini, Romani e Martins (2020). A solubilidade (%) foi determinada com base na massa de biofilme biodegradável restante após a imersão de 1 cm<sup>2</sup> de amostra em água. Primeiramente, a massa seca inicial ( $m_{si}$ ) de 1 cm<sup>2</sup> foi determinada após secagem em estufa a 105 °C por 24 h. As amostras foram imersas em 50 mL de água destilada e agitadas continuamente a 175 rpm e 25 °C por 24 h em incubadora shaker (Figura 12). A porção não dissolvida foi seca ( $m_{sf}$ ) em estufa a 105 °C durante 24 horas. Calculou-se a solubilidade considerando a massa seca inicial e a massa seca não dissolvida:

$$Solubilidade (\%) = \frac{(m_{si} - m_{sf})}{m_{si}} \times 100$$

Onde:  $m_{si}$  é a massa seca inicial e  $m_{sf}$  é a massa seca final.

Figura 12 – Sequência da análise de solubilidade das amostras desenvolvidas com incorporação de extrato das cascas de tucumã (*Astrocaryum aculeatum* Meyer) e amostra controle (sem extrato). A = pesagem dos biofilmes; B = biofilmes acondicionados em shaker; C = biofilmes secos em estufa



Fonte: Autor

#### 4.7.1.4 Teor de Fenólicos Totais

Para determinação do teor de fenólicos totais dos biofilmes desenvolvidos utilizou-se o método adaptado de Wu *et al.* (2019) com leitura a 765 nm. Os resultados foram expressos em mg de ácido gálico/100g. Para a formulação da curva padrão utilizou-se metodologia descrita por Singleton, Orthofer e Lamuela-RAventós (1999), com modificações. No preparo da solução de ácido gálico utilizou-se água destilada e a curva de calibração foi feita com as concentrações de ácido gálico variando de 0 a 20 mg/mL.

Para a obtenção das soluções de extrato dos biofilmes, pesou-se 0,208 g de amostra em balança analítica, e estas foram adicionadas em erlenmeyer contendo 25 mL de água destilada. Após esse procedimento, as amostras foram mantidas em incubadora Shaker por 24 horas a 25 °C e 250 rpm (Figura 13). A análise de teor de fenólicos totais procedeu-se da forma: 0,1 mL de solução de extrato foi homogeneizado com 6 mL de água destilada e 0,5 mL de reagente Folin Ciocalteu diluído 10% (2 M). Após 8 minutos de reação, adicionou-se 1,5 mL de solução de carbonato de sódio a 10% em peso, completou-se o volume com água destilada, sendo o volume total de 10 mL. Após esse procedimento, as amostras foram guardadas em ambiente escuro por um período de 2 horas, em seguida, procedeu-se à leitura em espectrofotômetro UV-VIS (Bel photonics).

Figura 13 – Sequência de passos para análise do teor de fenólicos totais dos biofilmes incorporados com extrato das cascas de tucumã (*Astrocaryum aculeatum* Meyer) e biofilme controle (sem extrato). A = pesagem dos biofilmes; B = extrato aquoso dos biofilmes após 24 horas em shaker; C = análise do teor de fenólicos totais



Fonte: Autor

#### 4.7.1.5 Atividade antioxidante

A análise da capacidade antioxidante dos biofilmes foi realizada seguindo metodologia abordada por Caetano *et al.* (2018), com modificações. O ensaio de eliminação de radical foi realizado para determinar as propriedades antioxidantes dos biofilmes incorporados com extrato e controle, usando solução de DPPH. Neste método foi possível avaliar a capacidade dos biofilmes incorporados com extrato de eliminar o radical livre estável de DPPH.

Para preparo da solução de DPPH 0,06 mM, pesou-se 2,4 mg de DPPH em vidro relógio. Transferiu-se o DPPH para um balão volumétrico de 100 mL, e completou-se o volume com metanol. Após o preparo, a solução foi transferida para um frasco âmbar.

Foi utilizado 0,016 g de biofilme de cada concentração de extrato avaliada. Os ensaios foram realizados em triplicatas. Cada amostra (0,016 g) foi inserida em tubo de ensaio com tampa de rosca, e foram adicionados 3,9 mL de solução metanólica DPPH. Após 45 minutos de reação no escuro, procedeu-se à leitura da absorbância em espectrofotômetro (modelo Bel photonics) a 515 nm.

#### 4.7.1.6 Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier – FTIR

As ligações químicas dos biofilmes foram analisadas usando espectroscopia infravermelha de transformada de Fourier equipada com Reflexão Total Atenuada (FTIR-ATR, Cary 660 Agilent, EUA). A resolução espectral utilizada foi de  $4\text{ cm}^{-1}$  e faixa de varredura de  $4000\text{ a }400\text{ cm}^{-1}$ . Foram analisadas amostras de biofilmes (controle, 5%, 10% e 15%) com aproximadamente  $1\text{ cm}^2$  (Valencia *et al.*, 2016). Esta análise foi realizada para determinar quais

grupos funcionais estão presentes na superfície dos filmes com e sem incorporação do extrato das cascas de tucumã. As amostras foram analisadas no Laboratório de Propriedades Físicas de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina (PROFI/UFSC).

#### **4.7.1.7 DRX**

A cristalinidade dos biofilmes foi analisada usando um difratômetro de raios X operando a 40 kV e 40 mA. As amostras foram avaliadas para ângulos entre  $2\theta = 2^\circ$  a  $50^\circ$ , com uma velocidade de varredura de  $2^\circ/\text{min}$ . (Valencia *et al.*, 2016). As amostras foram analisadas no Laboratório de Propriedades Físicas de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina (PROFI/UFSC).

#### **4.7.1.8 Ângulo de contato com a água**

O ângulo de contato dos biofilmes foi determinado de acordo com o padrão ASTM D7334 usando um tensiômetro óptico (RaméHart 250, EUA). Essa análise foi realizada para determinar a hidrofiliabilidade da superfície dos biofilmes. Uma gota de água destilada ( $5 \mu\text{L}$ ) foi liberada sobre a superfície do biofilme usando uma micropipeta. O ângulo formado entre a superfície do biofilme e a tangente à gota foi calculado usando o software DROPimage Advanced (Chacon *et al.*, 2024). Foram realizadas três medições em cada amostra de biofilme. As amostras foram analisadas no Laboratório de Propriedades Físicas de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina (PROFI/UFSC).

Para Oymaci e Altinkaya (2016), essa técnica é importante para verificar a tendência dos filmes a absorver umidade ou água, sendo usada para se investigar as propriedades de barreira à água. Em geral essa análise é realizada assim que a gota entra em contato com a superfície a ser analisada. No entanto, o ângulo de contato não é independente do tempo e pode mudar dependendo da composição ou evaporação do líquido. Esta análise não representa com precisão a natureza hidrofílica ou hidrofóbica da superfície, sendo necessárias mais análises para verificar a taxa de absorção de água.

#### **4.7.1.9 Cor, propriedades de barreira à luz e opacidade**

A cor dos biofilmes foi determinada usando um colorímetro digital (Delta Vista 450G, Delta Color, Brasil) calibrado com coordenadas CIELab (Paulsen *et al.*, 2018). A variação de cor ( $\Delta E$ ) foi calculada de acordo com:

$$\Delta E = \sqrt{(L_c^* - L_f^*)^2 + (a_c^* - a_f^*)^2 + (b_c^* - b_f^*)^2}$$

Onde:  $L_c^*$ ,  $a_c^*$ , e  $b_c^*$  são as coordenadas para os filmes controle e  $L_f^*$ ,  $a_f^*$ , e  $b_f^*$  para os filmes contendo 5 – 15 % de extrato.

A capacidade de barreira à luz foi determinada pela transmitância de luz usando um espectrofotômetro UV-Vis (HITACHI U-1900, Japão). Os biofilmes foram cortados e colocados em cubetas de quartzo. Ar atmosférico foi usado para zerar o equipamento. A varredura foi conduzida de 800 a 200 nm. A transmitância foi avaliada na região da luz ultravioleta a 280 nm (T280nm) e luz visível a 470 nm (T470nm).

A transparência foi analisada conforme a metodologia de Ortega *et al.* (2017). Neste método, a absorbância foi determinada em 600 nm em espectrofotômetro. A transparência foi determinada de acordo com:

$$\text{Transparência} = \frac{\text{abs}}{d}$$

Onde: abs, é a absorbância lida em 600 nm e d espessura dos filmes em mm.

Todas as análises citadas foram realizadas no Laboratório de Propriedades Físicas de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina (PROFI/UFSC).

#### 4.7.1.10 Propriedades mecânicas

As propriedades mecânicas dos biofilmes foram determinadas conforme Chacon *et al.* (2024). As amostras foram cortadas em retângulos (15 mm x 50 mm) e fixadas com uma distância de 30 mm. Estas foram submetidas a testes de tração usando um analisador de textura TA.HD plus (Texture Analyzer, Stable Micro Systems, Reino Unido), a uma velocidade de 1 mm/s (25 °C). Os valores de módulo de elasticidade (ME), resistência à tração (RT) e alongamento na ruptura (AR) foram analisados em pelo menos 15 testes para cada concentração de biofilme. O ME foi calculado a partir da inclinação da curva na região elástica. RT e AR foram determinados por:

$$RT = \frac{T_{\max}}{A}$$

Onde:  $T_{\max}$  é o valor máximo de resistência à tração (N) necessário para romper o filme. A é a área da seção transversal do espécime ( $m^2$ )

$$AR = \frac{L_f - L_o}{L_o} \times 100 \%$$

Onde:  $L_o$  é o comprimento de calibre inicial do espécime (mm) e  $L_f$  é o comprimento final na ruptura (mm).

Estas análises foram realizadas no Laboratório de Propriedades Físicas de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina (PROFI/UFSC).

#### **4.7.1.11 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Propriedades Térmicas (TGA)**

Conforme Santhosh *et al.* (2024), a microestrutura é essencial para controlar as propriedades mecânicas e de barreira de filmes e revestimentos, e a microscopia eletrônica de varredura (MEV) é uma técnica de medição estrutural, sendo usada para avaliar a miscibilidade dos componentes, suavidade, defeitos e desempenho das embalagens.

A morfologia da superfície dos biofilmes foi analisada usando a microscopia eletrônica de varredura (MEV, JSM-6390LV, JEOL, Japão) com uma voltagem de aceleração de 10 kV. As análises foram realizadas conforme o método abordado por Merz *et al.* (2020). Os filmes foram fixados em tubos de alumínio com fita de carbono e então revestidos com uma fina camada de ouro. Cinco micrografias foram tiradas em pontos aleatórios em cada amostra com aplicações variando de 10x a 5000x. As amostras foram analisadas no Laboratório de Propriedades Físicas de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina (PROFI/UFSC).

A análise de propriedade térmica (TGA) foi avaliada conforme metodologia utilizada por Caetano *et al.* (2018) e Filipini, Romani e Martins (2020), com alterações. Biofilmes (controle e incorporados com extrato) foram aquecidos sob atmosfera de nitrogênio de 25 a 800 °C com taxa de aquecimento de 10 °C por minuto com fluxo de gás N 5.0 de 30 mL por minuto. O equipamento que realizou os testes foi SDT Q600 da Ta Instruments, este fica localizado no laboratório de Ensaio Físico-Químicos-LFQM/FT/UFAM. Foram utilizadas

aproximadamente 10,5 mg de amostras, às quais foram adicionados em cadinhos de alumínio com capacidade de 90 microlitros sem tampa.

A estabilidade térmica dos biofilmes foi analisada pela técnica termogravimétrica sob atmosfera de nitrogênio, com a intenção de se obter a temperatura em que houve a perda de massa dos filmes. Conforme Pereira (2017, p. 45), essa técnica consiste na análise da “perda de massa acompanhada pela curva decrescente em função do aumento da temperatura a cada instante, enquanto está submetida a uma programação controlada”.

#### **4.7.1.12 Biodegradabilidade em solo**

A princípio, os testes de biodegradabilidade dos biofilmes iriam ser realizados através da perda de massa e tamanho específico (2,5 x 2,0 cm) das amostras. No entanto, após uma semana coberta com solo, partículas mais finas de solo não foram completamente removidas após a limpeza, causando alterações nos pesos das amostras; isso iria interferir nos resultados. Portanto, a partir desse obstáculo optou-se por realizar as análises de forma qualitativa. Nesta etapa foram realizados registros por imagem.

A análise de biodegradabilidade em solo foi realizada conforme citado por Medina-Jaramillo *et al.* (2017) e Filipini, Romani e Martins (2020), com modificações. O solo foi coletado na área florestada da UFAM, em seguida foi disposto em bandeja plástica (44,0 x 26,5 x 11,5 cm), aproximadamente 5 cm de solo. Amostras de biofilmes foram cortadas nos tamanhos de 2,5 x 2,0 cm, sendo 6 amostras para cada concentração de filme. As amostras foram inseridas em uma tela plástica com abertura de 2 mm e acondicionadas nas bandejas. Foram adicionados mais 5 cm de solo cobrindo as amostras. As bandejas foram mantidas na incubadora BOD (LUCA 161.01) com temperatura controlada ( $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). A umidade do solo foi mantida com borrifações de água uma vez ao dia (exceto finais de semana). As análises de biodegradabilidade foram avaliadas visualmente e por registros fotográficos a cada 7 dias até a completa degradação dos filmes.

#### **4.8 Análise Estatística**

As análises estatísticas foram realizadas usando o software Statistica (Statsoft, versão 7.0, USA). Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) com nível de confiança de 95% ( $p < 0,05$ ). As médias foram comparadas através do teste de Tukey.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Características físicas dos frutos de tucumã

Na Tabela 5 apresentam-se os dados obtidos para a média e desvio-padrão da massa dos frutos inteiros de tucumã, bem como de sua composição em relação à casca, polpa, amêndoa e caroço.

Tabela 5 - Características físicas dos 100 frutos de tucumã-do-Amazonas (*Astrocaryum aculeatum* Meyer)

Partes do fruto	Médias	
	g	%
<b>Fruto</b>	43,0 ± 8,9	100
<b>Casca</b>	7,2 ± 1,5	16,7 ± 1,9
<b>Polpa</b>	9,3 ± 2,9	21,4 ± 3,2
<b>Amêndoa</b>	11,2 ± 1,8	25,3 ± 2,1
<b>Caroço</b>	14,6 ± 2,8	33,2 ± 2,9

Fonte: Autor.

A partir das características físicas dos frutos, infere-se que o percentual de resíduos em relação à polpa do tucumã é muito alto. Ainda que o percentual de cascas seja inferior ao da polpa, cerca de 4,7%, o alto consumo desse fruto gera uma grande quantidade deste resíduo e, devido à má gestão deste, há a contribuição para problemas ambientais. Os resíduos somam 75,2% (casca + amêndoa + caroço) em relação ao peso do fruto, enquanto a polpa do tucumã corresponde apenas a 21,4%. Neste estudo, o perianto não foi analisado devido a alguns frutos que foram selecionados não estarem mais com este.

As perdas totalizaram 3,4% sendo:

- No momento da quebra do caroço, onde utilizou-se um torno de bancada, nesta etapa as perdas somaram 2,7% do peso do caroço ainda com a amêndoa.
- No momento do despolpe, as perdas somaram 0,7%, estas ocorreram devido ao despolpe do fruto.

Conforme Leitão (2008), o perianto corresponde a menos de 0,5% do peso do fruto. Estes resíduos vão direto para o aterro sanitário de Manaus, corroborando para um menor tempo de vida deste ou são depositados no ambiente urbano, gerando problemas ambientais.

A partir da utilização dos resíduos da casca de tucumã na extração dos compostos bioativos utilizando solventes verdes, haverá a possibilidade de se usar o material residual na incorporação de ração animal. Portanto, haverá uma menor quantidade de resíduo que será enviado para o aterro, ainda assim existem outras maneiras de aplicar esse material, um exemplo seria na compostagem. Ou seja, além de usar os compostos bioativos em uma gama de produtos, esse material residual ainda poderia ser utilizado, fechando um ciclo, como é almejado na economia circular. Conforme Torres-Ortiz *et al.* (2024), métodos de extração verde e usos de solventes verdes são propostos como alternativas para reduzir a poluição de resíduos, tendo um menor impacto ambiental.

Ao comparar os dados com outras pesquisas referentes às características físicas do fruto, verifica-se uma heterogeneidade em relação aos componentes físicos. Conforme Didonet *et al.* (2020) ao analisarem as características físicas do tucumã verificaram que as cascas correspondem a 13% do peso do fruto, 61% correspondem ao caroço com a amêndoa e 26% correspondem a polpa. Silva *et al.* (2018) citam em seu estudo um percentual de 11% corresponde à casca, 70% ao caroço mais à amêndoa e 18,6% à polpa. Conforme Moussa e Kahn (1997), a polpa do fruto apresenta uma variação de 21,9 a 29,7% do peso total do fruto.

Os trabalhos citados anteriormente evidenciam a grande quantidade de resíduos gerados após o consumo do tucumã; mais de 70% do fruto corresponde aos resíduos que são descartados. Vários estudos realizados com os resíduos do tucumã evidenciam a alta concentração de compostos fenólicos (na casca), ácido graxo (amêndoa), (Moussa; Kahn, 1997; Bergmann *et al.*, 2013; Lira *et al.*, 2013; Silva *et al.*, 2018; Mendonça *et al.*, 2019; Didonet *et al.*, 2020; Oliveira *et al.*, 2023; Souza *et al.*, 2023).

## 5.2 Percentual de umidade e cinzas das cascas de tucumã

Os resultados dos percentuais de umidade e cinzas estão descritos na Tabela 6. As determinações dos percentuais foram obtidas a partir das cascas de tucumã *in natura* (base úmida). Os dados de umidade e cinzas do pó das cascas (base seca) também foram avaliados. Na Tabela 6 encontram-se dados do tucumã, *Astrocaryum aculeatum* e *Astrocaryum vulgare*, apenas determinações de material *in natura* foram consideradas nesta tabela. Foram utilizados dados de comparação desta outra espécie devido à falta de dados na literatura para o *A. aculeatum*.

Tabela 6 - Médias de umidade e cinzas das cascas de tucumã-do-Amazonas

Umidade (%)	Cinzas (%)	Referências
58,15 ± 1,75	4,88 ± 0,03	Este estudo
33,07 ± 0,45	3,81 ± 0,06	Miranda <i>et al.</i> 2024 *
-	4,55	Silva <i>et al.</i> 2021
57,19 ± 0,01	4,87 ± 0,05	Santos, 2016
-	4,49	Miller <i>et al.</i> 2013 *

Fonte: autor; \* Percentuais do *Astrocaryum vulgare* Mart.

Os dados de umidade mostraram-se altos, inferindo-se a facilidade de propagação de microrganismos, necessitando que este material seja seco para que haja uma redução neste percentual, evitando assim a possibilidade de contaminação. Neste estudo, o material seco, já processado, apresentou um baixo percentual de umidade, sendo 3,73% ± 0,08; o percentual de cinzas aumentou em relação ao material in natura, sendo 5,29% ± 0,11. O teor de cinza das cascas de tucumã avaliado neste estudo (Tabela 6) equipara-se aos dados encontrados na literatura, evidenciando a alta quantidade de material mineral presente na casca.

Em estudo realizado por Mendonça *et al.* (2019) em cascas de tucumã do Amazonas calcinadas durante 4 horas a 800 °C foram identificados os compostos K, P, Ca e Mg. Conforme os autores, estes foram os nutrientes mais representativos nas cinzas das cascas de tucumã. Os autores citam que a composição observada nas cinzas são carbonatos, fosfatos ou silicatos em virtude do alto percentual de P e Si.

### 5.3 Caracterização dos extratos das cascas de tucumã-do-Amazonas

O percentual de rendimento do extrato foi de 7,89%, para obtenção desse percentual foi utilizado 20 g de pó da casca do tucumã em 140 mL de álcool, após a evaporação do álcool, o extrato foi liofilizado, onde obteve-se uma massa de 1,58 g de extrato.

#### 5.3.1 Teor de fenólicos totais das cascas de tucumã

A partir das análises de fenólicos no extrato das cascas, o valor obtido foi de 5950,73 mg EAG/100 g de extrato. Em relação ao teor de fenólicos na matéria-prima seca, o valor obtido foi de 469,22 mg EAG/100 g. Os valores encontrados para o extrato foram superiores aos dados de Sagrillo *et al.* (2015), no extrato foi quantificado 941,80 mg EAG/100 g. No entanto, ao se analisar o teor de fenólicos na casca da fruta *in natura*, os valores são superiores aos deste estudo, sendo 790,95 mg EAG/100 g.

Conforme Pagano *et al.* (2021), os compostos fenólicos são metabolitos secundários de plantas e vêm atraindo a atenção de pesquisadores devido aos benefícios à saúde proporcionados por esses polifenóis. Apresentando uma gama de propriedades fisiológicas, sendo atividade antioxidante, anticancerígena, antimutagênica, antialérgica e antienvhecimento, inclusive, pode ser usada em alimentos funcionais como antioxidantes naturais (Shams *et al.*, 2024).

### **5.3.2 Capacidade antioxidante das cascas de tucumã**

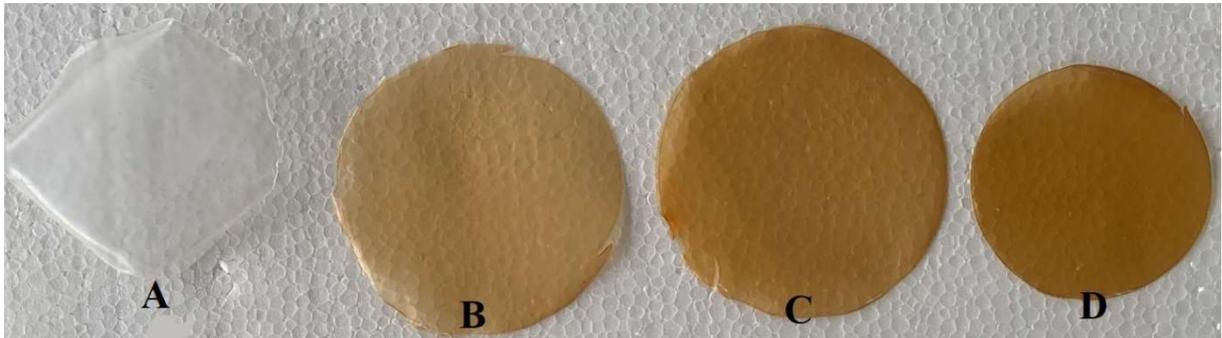
A partir da análise da capacidade antioxidante, os resultados demonstraram uma alta redução do DPPH, sendo de  $75,23 \pm 2,37\%$ . Sagrillo *et al.* (2015) analisando a capacidade antioxidante do extrato das cascas de tucumã, usando uma concentração de 20  $\mu\text{g/mL}$ , obtiveram uma alta redução do DPPH sendo  $>80\%$ . Em trabalho realizado por Miranda *et al.* (2024), os autores inferem que a alta capacidade antioxidante encontrada nas cascas e polpa do tucumã está associada à composição de  $\beta$ -caroteno presente nessas partes do fruto. Araujo *et al.* (2021) também associaram a alta capacidade antioxidante do fruto à composição de  $\beta$ -caroteno. Na polpa do fruto, 75% de todos os carotenoides determinados estão associados ao trans- $\beta$ -caroteno (De Rosso; Mercadante, 2007).

Devido à alta capacidade antioxidante presente no extrato das cascas, vê-se a possibilidade da utilização destas na incorporação de uma matriz de amido para a confecção de um biofilme ativo. Biofilmes ativos são uma boa maneira de manter a qualidade dos alimentos, podendo fornecer propriedades antioxidantes e antimicrobianas, e também propriedades de proteção UV ao longo da cadeia. Essas propriedades são obtidas a partir da incorporação de substâncias funcionais bioativas (Khan *et al.*, 2024).

### **5.4 Efeito das incorporações do extrato das cascas de tucumã-do-Amazonas nas características dos biofilmes com matriz de amido**

Os biofilmes desenvolvidos estão apresentados na Figura 14, a partir desta pode-se visualizar a cor e a intensidade da cor dos biofilmes conforme se aumentava a incorporação do extrato das cascas de tucumã.

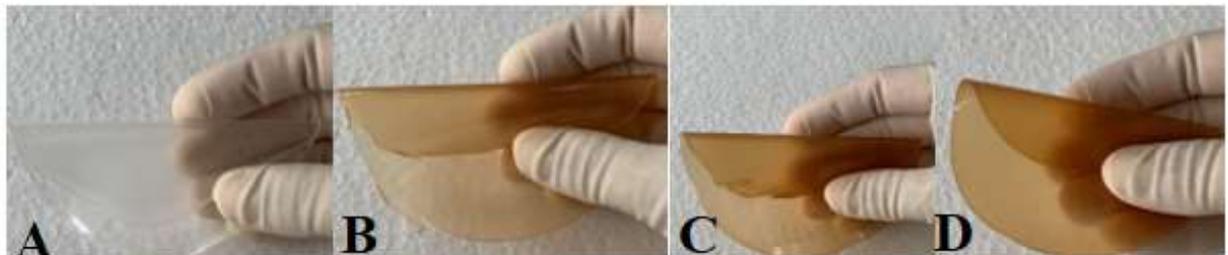
Figura 14 – Biofilmes desenvolvidos com extrato da casca de tucumã do Amazonas. A: biofilme controle; B: biofilme com 5% de extrato; C: biofilme com 10% de extrato; D: biofilme com 15% de extrato



Fonte: Autor

Na Figura 15 pode-se observar a maleabilidade dos biofilmes desenvolvidos; todos apresentaram uma boa maleabilidade e flexibilidade após serem retirados das placas de Petri. Entretanto, ao serem deixadas no ambiente, após 48 horas estas apresentavam-se quebradiças, portanto, foi necessário armazenar as embalagens em sacos de polietileno dentro de dessecadores sem sílica até as análises.

Figura 15 - Maleabilidade dos biofilmes desenvolvidos



Fonte: Autor

#### 5.4.1 Espessura

A espessura dos biofilmes desenvolvidos variou de  $0,25 \pm 0,02$  mm, filmes contendo extrato, a  $0,32 \pm 0,13$  mm, filmes controle. Amostras controle e com as incorporações de 10% e 15% de extrato não diferiram estatisticamente entre si, no entanto, filmes contendo 5% de extrato apresentaram diferença significativa apenas para as amostras controle.

Conforme Luchese (2018), a espessura dos biofilmes confeccionados pelo método de casting exige atenção e cuidados. Influenciando largamente as propriedades mecânicas e a permeabilidade ao vapor de água. Ainda conforme a autora (p. 81), “a espessura é influenciada pela quantidade de glicerol usada, pela técnica de preparo dos filmes e, principalmente, pelas características das matérias-primas utilizadas”. Nesta pesquisa, essas diferenças também podem estar correlacionadas à quantidade de álcool presente no extrato (não recuperação total), após

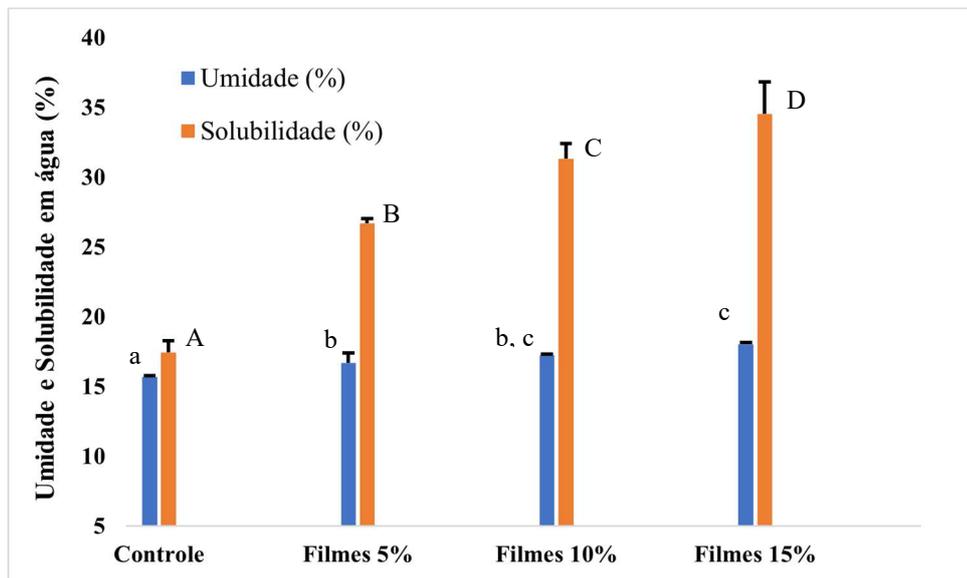
serem colocadas para secar, o álcool que estava presente pode ter evaporado, influenciando a espessura dos filmes, visto que, em cada confecção, a pesagem era realizada de forma minuciosa.

Filipini, Romani e Martins (2020) utilizando a mesma técnica para produção de biofilmes encontraram valores inferiores ao deste estudo, quanto maior a proporção de extrato adicionado na matriz (metilcelulose), maiores foram os valores da espessura, variando de  $0,058 \pm 0,00$  mm (controle) a  $0,080 \pm 0,01$  mm (filmes com 50% de extrato). Valores aproximados ao deste estudo foram encontrados por Lalnunthari *et al.* (2019) variando de  $0,33 \pm 0,01$  mm a  $0,35 \pm 0,07$  mm.

#### 5.4.2 Teor de umidade e solubilidade em água dos biofilmes

Os resultados para o teor de umidade e solubilidade em água estão apresentados na Figura 16. Foram analisados os biofilmes controle e com a incorporação de extrato 5, 10 e 15%, respectivamente.

Figura 16 - Umidade e Solubilidade em água dos biofilmes controle e incorporados com extrato das cascas de tucumã (*Astrocaryum aculeatum* Meyer)



Fonte: autor

Ao se analisar os dados de umidade (Figura 16) verifica-se que as amostras incorporadas com extrato apresentaram diferença significativa em relação ao controle, evidenciando um aumento na quantidade de água a partir da incorporação do extrato. A incorporação do extrato

alterou a qualidade de barreira dos filmes em relação às amostras controle. Conforme Mir *et al.* (2018) a função de uma embalagem de alimentos é evitar ou diminuir a transferência de umidade entre o alimento e a atmosfera, evitando sua desestabilização polimérica. Os biofilmes desenvolvidos com a incorporação do extrato e controle não possuem quantidade alta de água, o que poderia ocasionar condições para deterioração microbiológica, sendo ineficaz sua produção.

Ao se analisar a literatura em relação aos dados de umidade, a pesquisa de Riaz *et al.* (2018) evidenciou que ao incorporar extrato das cascas de maçã em base de quitosana, encontraram valores superiores aos deste estudo em relação à amostra controle, sendo de  $28,35 \pm 0,56$ . Para os biofilmes com incorporação do extrato, a umidade foi de  $17,71 \pm 0,35$ , resultado semelhante ao encontrado neste estudo, sendo de  $18,01 \pm 0,14$  para biofilmes com 15% de extrato.

A solubilidade em água dos biofilmes apresentou diferença entre as amostras com e sem extrato, sendo que quanto maior a concentração de extrato, maior a solubilidade. Conforme Amin *et al.* (2022), a alta solubilidade em água é crucial para a biodegradabilidade. Mushtaq *et al.* (2018), evidenciaram resultados similares ao incorporarem extratos de casca de romã em filmes a base de zeína. Os autores encontraram valores de solubilidade médios de 6,2% para filmes controle, enquanto para filmes incorporados com 25% de extrato os valores foram de 10,4%. Em pesquisa realizada por Rodrigues *et al.* (2021), os autores encontraram valores similares ao desta pesquisa, quanto maior a incorporação de extrato fenólico da casca do caule de *Spondias purpurea* L. na matriz de amido maiores foram os valores de solubilidade, filmes controle apresentaram um percentual de solubilidade de  $14,44\% \pm 2,9$  enquanto filmes contendo extrato apresentaram uma variação de  $22,17\% \pm 5,2$  a  $33,78\% \pm 5,0$ .

De acordo com Bourbon *et al.* (2011, p. 114, traduzido) “a quantidade de água presente nos filmes fornece uma indicação da hidroflicidade dos filmes, sendo os filmes mais hidrofílicos os que apresentam os maiores valores de umidade”. Em suma, Bourbon *et al.* (2011) citam em seu estudo que a solubilidade indica um grau de afinidade com a água. Os valores encontrados neste estudo são relevantes para a biodegradabilidade, pois quanto maior o valor da solubilidade, melhores serão as taxas de degradação dos filmes, não demorando longos períodos ou anos para sua completa degradação, causando prejuízos ao meio ambiente.

### 5.4.3 Teor de fenólicos totais

A curva de calibração de ácido gálico obtida foi:  $y = 0,0608x + 0,3049$ . O valor de  $R^2$  atingido foi igual a 0,9016. O conteúdo de fenólicos totais está apresentado na Figura 17, filmes controle e com 5% de incorporação de extrato não apresentaram teor de fenólicos.

O teor de fenólicos totais aumentou com a incorporação de extrato das cascas de tucumã nas concentrações de 10% e 15%. Filmes incorporados com 10% de extrato apresentaram um teor de fenólico de  $16,73 \pm 0,30$  mg de GAE/100 g de amostra e filmes incorporados com 15% de extrato apresentaram  $18,97 \pm 2,47$  mg de GAE/100 g de amostra. Os resultados encontrados neste estudo foram inferiores aos detectados por Wu *et al.* (2019) usando cascas de pomelo, para os filmes com 15% de extrato. Os valores descritos pelos autores foram de  $31,79 \pm 0,27$  mg GAE/g. Para que obtivessem uma melhora significativa na capacidade antioxidante e antimicrobiana, os autores acrescentaram nos filmes chá de polifenóis, com isso, houve esse aumento significativo nos teores de fenólicos. Conforme os autores, esses chás têm capacidade antioxidante e antimicrobiana e possuem um baixo custo. Neste estudo foi usado apenas o extrato das cascas de tucumã e nessas baixas concentrações observa-se a alta capacidade antioxidante e uma quantidade expressiva de fenólicos para os filmes com 15% de extrato.

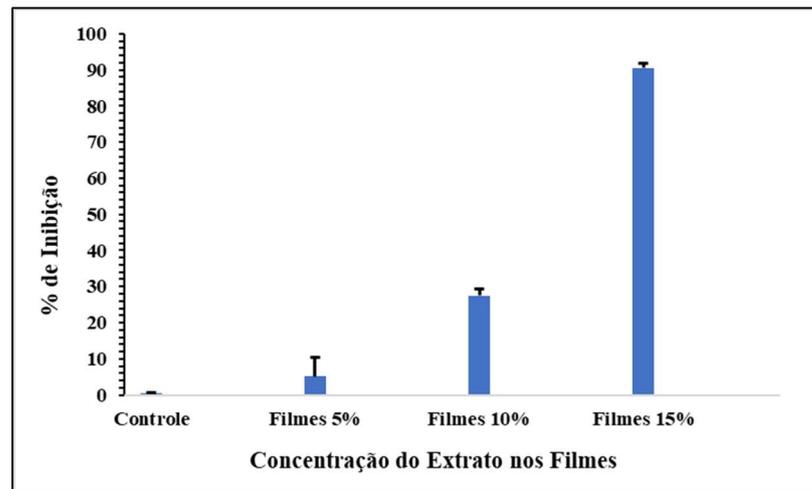
Extratos vegetais são ricos em compostos fenólicos; quanto maior for a adição de extrato, maior será a concentração dos compostos presentes nas amostras (Amin *et al.*, 2022). Neste estudo os valores encontrados são elevados. Mushtaq *et al.* (2018) encontraram valores inferiores a este estudo para extrato das cascas de maçã incorporado em filmes com 25% de extrato, sendo de 30,454 mg de GAE/kg.

O teor de compostos fenólicos encontrado neste estudo nos filmes incorporados com 15% de extrato ( $18,97 \pm 2,47$  mg de GAE/100g), pode explicar a alta capacidade antioxidante dos filmes (Figura 18). Compostos fenólicos são metabólitos secundários das plantas, são doadores eficazes de hidrogênio, possuindo propriedades estruturais ideais para combater radicais livres, tendo um bom potencial antioxidante (Kanatt *et al.*, 2012). “Os compostos bioativos podem ser facilmente disponibilizados para a indústria de embalagens através da extração de compostos fenólicos” (Mushtaq *et al.*, 2018, p. 26, traduzido) a partir dos resíduos da agroindústria ou de cooperativas que trabalhem com frutas ou hortaliças.

#### 5.4.4 Capacidade antioxidante

O potencial antioxidante dos biofilmes foi analisado com base na capacidade de eliminação do radical DPPH. Os resultados obtidos estão expressos na Figura 17.

Figura 17 - Atividade antioxidante dos biofilmes controle e incorporados com extrato das cascas de tucumã (*Astrocaryum aculeatum* Meyer)



Observa-se que biofilme controle (amido 5% mais glicerol 0,9%) sem a incorporação de extrato da casca de tucumã apresentaram um resultado insignificante, menor que 0,5% de redução do DPPH, no entanto, a partir da incorporação de 5% de extrato nos filmes com matriz de amido observa-se uma redução de aproximadamente 5% do DPPH, os filmes com 15% de extrato apresentaram uma alta capacidade de redução do DPPH, sendo de 90%. Neste trabalho foi realizado o cálculo do IC50 para os filmes com incorporação do extrato das cascas de tucumã, o  $R^2$  apresentou um valor de 0,93, os resultados mostraram que para uma redução de 50% do DPPH é necessária uma concentração de 11,05% de extrato na incorporação dos biofilmes.

Em estudo realizado por Sagrillo *et al.* (2015), os autores constataram alta concentração de teor de fenólicos totais (941,8 mg/GAEg), flavonóides (92,8 mg/g), tanino (31,4 mg/g), alcalóide (1,5 mg/g) e  $\beta$ -caroteno (52,83 mg/100g); esses valores foram encontrados em extrato das cascas do tucumã. Conforme os autores, as moléculas bioativas presentes nos extratos das cascas do tucumã contribuem para a capacidade antioxidante. O carotenoide está presente em alta concentração nos extratos das cascas e polpa do tucumã. De Rosso e Mercadante (2007) identificaram 24 tipos de carotenóides na polpa do tucumã, sendo em maior proporção o todo-

trans- $\beta$ -caroteno (75%), outros carotenóides representaram entre 2,0 e 2,8%, sendo: 13-cis- $\beta$ -caroteno, todo-trans- $\alpha$ -caroteno e todo-trans- $\beta$ -criptoxantina.

Os carotenoides estão amplamente distribuídos em frutas e vegetais, são responsáveis pela cor amarelo-avermelhada (De Rosso; Mercadante, 2007; Sagrillo et al., 2015). O tucumã possui alta concentração desses compostos, apresentando maior proporção nas cascas. Os carotenoides estão relacionados a importantes funções e ações fisiológicas devido à sua capacidade antioxidante.

Conforme Kurek *et al.* (2018), Mir *et al.* (2018) e Amin *et al.* (2022), extratos vegetais (folhas, frutos, bagaço, casca etc.) devido à sua fonte natural e propriedades fitoquímicas apresentam bons resultados na incorporação em polímeros biodegradáveis, podendo prolongar a vida útil dos alimentos, aumentam o valor do produto, retardam a perda da qualidade, além disso os compostos bioativos proporcionam diversos benefícios à saúde após consumo. Diferentemente dos polímeros derivados do petróleo que, ao serem liberados nos alimentos, causam danos à saúde dos consumidores (Jayakumar *et al.*, 2019; Amin *et al.*, 2022).

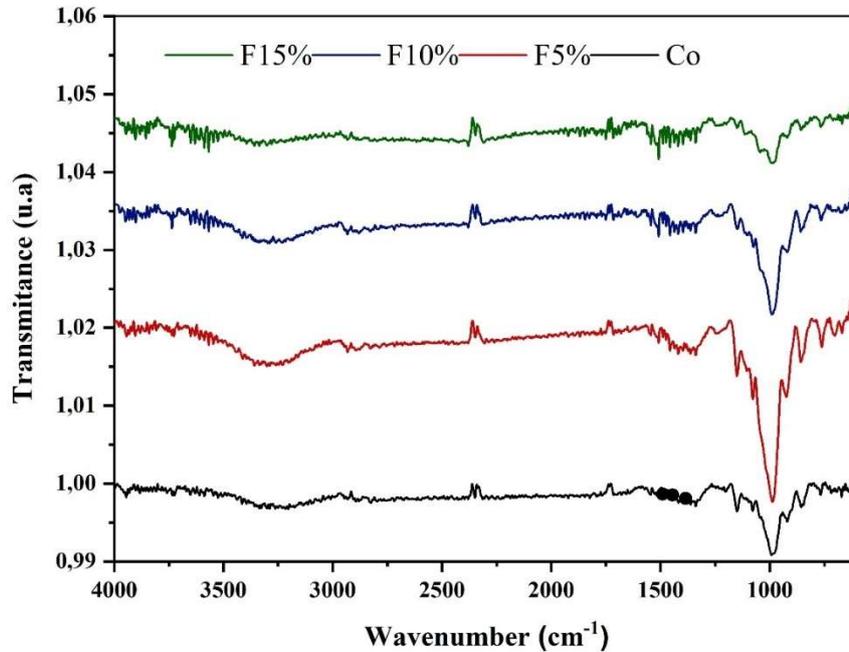
A capacidade antioxidante de polímeros biodegradáveis foi evidenciada em diversos trabalhos (Kanatt *et al.*, 2012; Kurek *et al.*, 2018; Riaz *et al.*, 2018; Esposito *et al.*, 2020; Gonçalves *et al.*, 2023). Os extratos de resíduos da agroindústria possuem altas concentrações de compostos bioativos e estão sendo analisados na incorporação de filmes com matriz diversificada (amido, PVA, gelatina, quitosana etc.) de forma que com o aumento da concentração do extrato maior é a redução do DPPH (Kurek *et al.*, 2018; Wu *et al.*, 2019; Dordevic *et al.*, 2021), corroborando com este estudo, visto que com o aumento das concentrações houve redução do DPPH (Figura 18).

#### **5.4.5 Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier – FTIR**

A espectroscopia dos biofilmes incorporados com extrato das cascas de tucumã e controle está apresentada na Figura 18. Esta análise foi utilizada para caracterizar as interações ocorridas a partir da incorporação do extrato das cascas de tucumã na base de amido. Ao se analisar os picos principais (região de 1000  $\text{cm}^{-1}$  e 3200  $\text{cm}^{-1}$ ) observa-se que não houve mudanças significativas das amostras com a incorporação do extrato para os biofilmes controle e nem entre as concentrações de 5, 10 e 15%, respectivamente. Evidenciou-se nessa região apenas o deslocamento da banda, pouco supracitado e o aumento da intensidade. Em relação

aos picos menos evidentes, observa-se que amostras incorporadas com extrato apresentaram picos pouco pronunciados na região de  $1500\text{ cm}^{-1}$  e após a região de  $3500\text{ cm}^{-1}$  até  $4000\text{ cm}^{-1}$ .

Figura 18 – Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier dos biofilmes desenvolvidos



Conforme Almeida *et al.* (2023), a similaridade dos espectros não mostrando mudanças significativas das amostras controle com a incorporação de extrato é indicativa de que não há mudanças na estrutura da matriz de amido, o que confirma a compatibilidade entre a matriz (amido) e os componentes restantes dos biofilmes. No entanto, ao se analisar a transmitância dos picos, verifica-se uma variação, dependendo da concentração de extrato na base das amostras. Em todas as amostras analisadas foi verificada atividade a partir do comprimento de  $600\text{ cm}^{-1}$ .

Dois picos apresentaram uma forte absorção, sendo no comprimento aproximado de  $3320,68\text{ cm}^{-1}$  (pico de absorção largo) e  $988,00\text{ cm}^{-1}$ . A ampla absorção apresentada no comprimento de  $3320,68\text{ cm}^{-1}$  está indicando a presença de hidroxila (O–H). Conforme Paiva *et al.* (2009) a presença de O–H pode ser confirmada ao se constatar um pico no comprimento de onda aproximado de  $1300$  a  $1000\text{ cm}^{-1}$ , sendo este relacionado C–O. Nesses dois picos verificasse que a intensidade nas amostras contendo 5% e 10% de extrato são maiores, podendo indicar que houve uma maior interação entre os compostos bioativos presentes no extrato da

casca de tucumã com a base (glicerol e amido) do filme. Paiva *et al.* (2009) citam que ao se verificar esses picos no espectro estes podem ser associados aos grupos de álcoois e fenóis.

Bandas com menor intensidade são observadas a partir de  $855\text{ cm}^{-1}$  até  $600\text{ cm}^{-1}$ , indicando a presença do grupo funcional C-O-C. Abdullah *et al.* (2018) ao analisarem os espectros de FTIR do amido de milho, mandioca e batata verificaram vibrações características do anel C-O-C levando a um pico de absorvância no comprimento de onda de  $700\text{-}900\text{ cm}^{-1}$ . Além disso, os autores citam que todos os amidos analisados apresentaram os grupos funcionais O-H, C-H, C-O-C e C-O. Neste estudo, esses grupos também foram observados em comprimento de ondas similares ao encontrado por Abdullah *et al.* (2018).

Abdullah *et al.* (2020) ao analisarem os dados da espectroscopia de infravermelho em bioplástico tendo como matriz o amido, encontraram dois picos semelhantes aos deste estudo. Estes picos foram determinados no mesmo comprimento de onda, sendo o primeiro de  $3000$  a  $3600\text{ cm}^{-1}$ ; os autores atribuíram esse pico ao alongamento de O-H da ligação de hidrogênio do amido e glicerol. Em relação ao segundo pico,  $996,00$  a  $1015,00\text{ cm}^{-1}$ , os autores atribuíram ao alongamento de C-O-C. Almeida *et al.* (2023) ao analisarem o espectro de uma embalagem usando como matriz o amido também encontraram picos semelhantes. Os autores atribuíram a banda de absorção larga (aproximada em  $3300\text{ cm}^{-1}$ ) ao grupo O-H associado às ligações de hidrogênio.

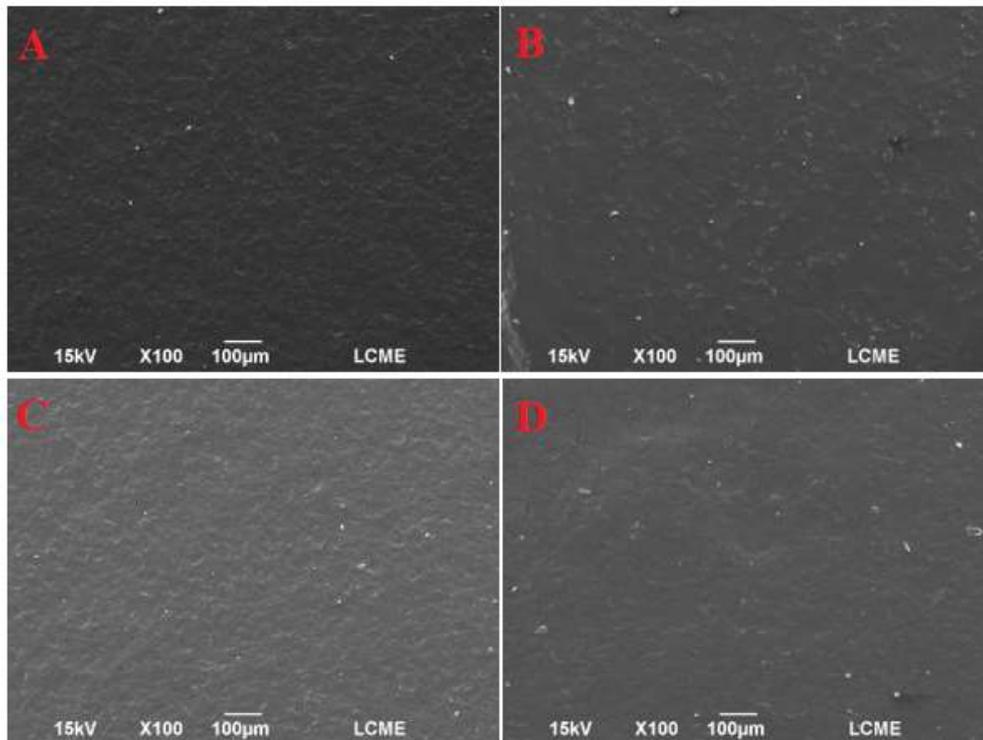
#### 5.4.6 Microscopia eletrônica de varredura

Os biofilmes desenvolvidos possuíam textura lisa e eram maleáveis. A partir da incorporação dos extratos, visualmente os biofilmes não apresentavam diferenças em relação à maleabilidade, a diferença perceptível era a partir da cor (Figuras 14 e 15). As amostras que possuíam extrato apresentavam uma cor que variava do laranja ao amarelo opaco e possuíam odor agradável. A partir de análise qualitativa visual, as amostras não possuíam fissuras, inferindo-se que a temperatura e o tempo de secagem foram adequados.

Na Figura 19 pode-se observar a microscopia eletrônica de varredura (MEV) da superfície dos filmes. Nestas verifica-se o aparecimento de grânulos e materiais insolúveis, indicando que a gelatinização do amido não foi completa. Ao comparar as amostras com incorporação de extrato em relação ao controle, não são perceptíveis diferenças, evidenciando que a partir da incorporação do extrato não houve mudanças, apresentando uma boa

miscibilidade. Na Figura 19 (D) observam-se rachaduras indicando que o processo de secagem foi prolongado.

Figura 19 -Microscopia eletrônica de varredura da superfície dos biofilmes. A = biofilme controle; B = biofilme incorporado com 5% de extrato; C = biofilme incorporado com 10% de extrato; D = biofilme incorporado com 15% de extrato

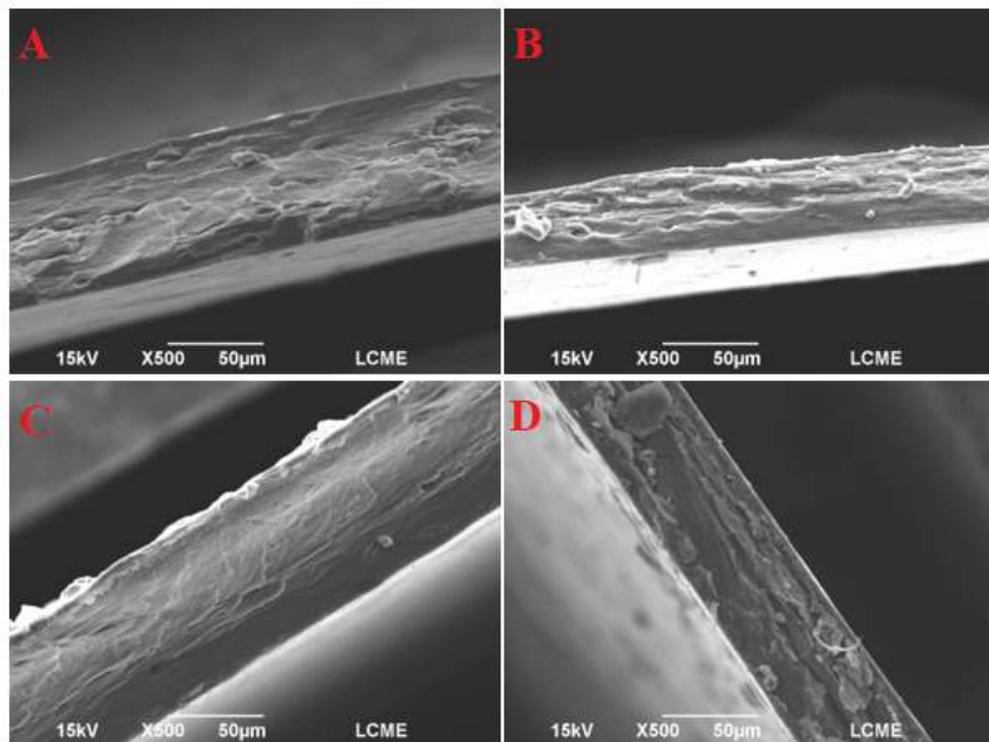


Almeida *et al.* (2023) ao produzir biofilmes contendo amido de batata encontraram ótimos parâmetros (lisas e sem grânulos) para a produção sendo aquecidos a 95 °C e 500 rpm durante 30 minutos e após adicionar o glicerol os autores ainda deixaram durante 90 minutos nos mesmos parâmetros. Nesta pesquisa, a produção dos biofilmes procedeu-se de forma diferente e, devido ao tempo e à temperatura terem sido menores, acredita-se que isso motivou a baixa gelatinização do amido. No entanto, em pesquisa realizada por Abdullah *et al.* (2018) os autores verificaram que a menor temperatura para gelatinização do amido é 62 °C, e neste estudo foi utilizado uma temperatura de 70 °C o que se apresenta dentro dos parâmetros descrito pela literatura, inferindo-se que a possível causa da baixa gelatinização do amido deva ter partido do tempo e velocidade de rotação. Conforme Santhosh *et al.* (2024), micrografias de filmes de amido de milho confeccionados a partir dos métodos de extrusão ou fundição exibem estrutura de superfície irregular. A partir das análises, observa-se que no processo de extrusão a microestrutura do amido permanece inalterada, o que é devido ao processo de gelatinização parcial do amido. Enquanto no processo de fundição observa-se que o amido permanece em seu

estado nativo em aglomerados, podendo ser atribuído ao plastificante na matriz. Ainda conforme os autores, os parâmetros de processamento do amido, tempo e temperatura, e condições de armazenamento entre os diferentes aditivos utilizados para a confecção da embalagem podem influenciar muito nas suas propriedades.

Na Figura 20, é mostrada a microscopia das seções transversais dos biofilmes desenvolvidos com e sem incorporação do extrato. Nota-se a ocorrência de bolhas, falhas e materiais insolúveis.

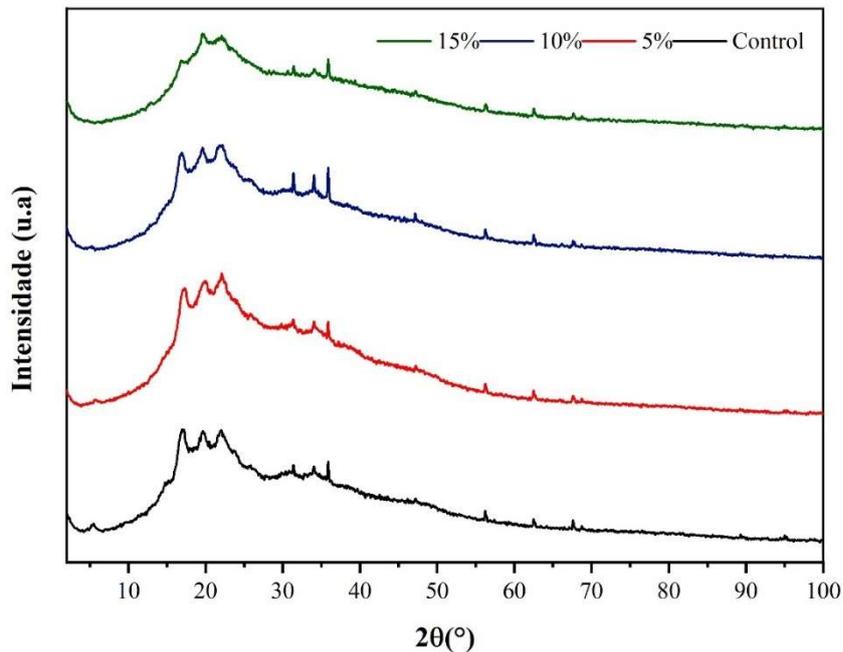
Figura 20 - Microscopia eletrônica de varredura da seção transversal dos biofilmes desenvolvidos: A = biofilme controle; B = biofilme incorporado com 5% de extrato; C = biofilme incorporado com 10% de extrato; D = biofilme incorporado com 15% de extrato



#### 5.4.7 Difração de Raio X

As propriedades estruturais das amostras com incorporação de extrato das cascas de tucumã e controle estão apresentadas na Figura 21, nesta está apresentada a difratometria dos biofilmes. Esta análise indica a natureza cristalina/amorfa dos biofilmes e serve como um complemento a análise estrutural dos biofilmes (Almeida *et al.*, 2023).

Figura 21 – Difração de raio X dos biofilmes desenvolvidos



A partir das análises, verificou-se que as amostras não apresentaram variação, sendo que os picos de difração foram evidenciados nos mesmos ângulos, nesta análise, três picos foram mais pronunciados. A presença dos picos é observada em  $2\theta$  entre os ângulos de  $17^\circ$ ,  $20^\circ$  e  $22^\circ$ . Conforme Nascimento (2016, p. 76), “o aparecimento de picos simples de forma bem expandida é característica das estruturas amorfas”. Para Silva et al. (2020), a presença desses picos é característica do amido contido na amostra. A intensidade mostrou-se distinta em relação as amostras.

Na pesquisa realizada por Silva *et al.* (2020) na produção de um biopolímero usando como matéria-prima a bocaiuva, os autores verificaram picos semelhantes aos encontrados nesta pesquisa, sendo em  $2\theta = 17^\circ$ ,  $20^\circ$  e  $24^\circ$ . Os autores caracterizam estes picos ao amido tipo B, visto que a bocaiuva apresenta 12,5 g de amido por 100 g de polpa e seu difratograma também apresentou picos nos ângulos em  $2\theta$  entre  $10^\circ$  e  $13^\circ$ . Nesta pesquisa observasse um pequeno pico na região  $2\theta=5^\circ$ , no entanto devido ser um pico pouco representativo esta pesquisa caracteriza as amostras estudadas em amido tipo A. Conforme Hornung *et al.* (2016) dependendo dos principais padrões de difratograma de pico a categorização do amido pode ser a seguinte: tipo A, quando os picos principais são mostrados em  $15^\circ$ ,  $17^\circ$ ,  $18^\circ$  e  $23^\circ$  em  $2\theta$ ; tipo B, os picos principais são visualizados em  $5^\circ$ ,  $6^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $17^\circ$ ,  $18^\circ$  e  $23^\circ$  em  $2\theta$  e tipo C, quando há uma mistura dos ângulos descritos anteriormente, sendo os mais evidentes em,  $5,5^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $17^\circ$ ,  $22^\circ$  e  $23^\circ$  em  $2\theta$ .

Conforme Chuang *et al.* (2017) a presença de picos em  $2\theta$  entre  $15^\circ$ ,  $17^\circ$  e  $22^\circ$  graus indicam uma estrutura cristalina tipo V. Ao se analisar os dados obtidos neste estudo verificasse que após a incorporação de extrato na base de amido das amostras não houve alteração na estrutura cristalina do amido. Essa afirmação pode ser corroborada com os dados de Chuang *et al.* (2017), em sua pesquisa eles estudaram a estrutura de biofilmes contendo amido de mandioca e verificaram que estas eram compostos principalmente de regiões de amido amorfo isso foi devido ao extremo tratamento térmico de  $120^\circ\text{C}$  por 7 minutos, nesta pesquisa o tratamento térmico foi de  $90^\circ\text{C}$  durante meia hora, para que se obtivesse a completa gelatinização do amido. Para Hoover (2001) quando o amido é aquecido em excesso de água a estrutura cristalina é rompida e as moléculas de água se ligam por ligação de hidrogênio aos grupos hidroxila expostos da amilose e amilopectina, causando um maior inchaço e solubilidade dos grânulos. Essas características evidenciam a interação entre as cadeias de amido dentro dos domínios amorfo e cristalino.

Conforme Charles, Motsa e Abdillah (2022), biofilmes que apresentam padrão amorfo são, em geral, flexíveis e macios, o que os torna adequados para aplicação em embalagens de alimentos.

#### **5.4.8 Ângulo de contato com a água**

Os dados referentes à análise de ângulo de contato com a água estão apresentados na Tabela 8, a partir das análises verificadas que apenas as amostras controle (Co) e com 10% de incorporação de extrato (F10) apresentaram correlação, não diferindo estatisticamente entre si. Em relação às amostras com 5% e 15% de extrato houve alteração nos valores evidenciando uma possível interação entre o extrato e a base dos biofilmes em que estas com 15% de extrato evidenciaram os menores valores.

Os resultados demonstram que os biofilmes elaborados são hidrofílicos, pois apresentaram resultados com ângulo menor que  $90^\circ$ , possuindo alta afinidade com a água. Esses baixos valores podem proporcionar uma alta taxa de degradabilidade (principalmente em água), todavia, podem comprometer a vida útil do alimento.

Conforme Filipini (2019, p. 92), “ângulos de contato ( $<90^\circ$ ) correspondem a superfícies hidrofílicas, enquanto ângulos de contato ( $>90^\circ$ ) caracterizam a superfície como hidrofóbica e de baixa afinidade com água”.

Tabela 7 – Ângulo de contato com a água dos biofilmes controle e incorporados com extrato das cascas de tucumã-do-Amazonas. Letras sobrescritas diferentes na mesma coluna indicam que as médias são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

Biofilmes	WCA (°)
Co	21.39 ± 3.16 <sup>b</sup>
F5%	27.51 ± 1.94 <sup>a</sup>
F10%	21.22 ± 0.93 <sup>b</sup>
F15%	11.80 ± 1.41 <sup>c</sup>

#### 5.4.9 Cor, propriedade de barreira a luz e opacidade

As propriedades óticas dos biofilmes biodegradáveis são características importantes em filmes, sendo mais transparentes, o consumidor pode observar melhor os alimentos que estão armazenados. Contudo, essas propriedades estão relacionadas ao nível de proteção que oferecem aos alimentos, em que embalagens mais transparentes podem apresentar maiores reações químicas induzidas pela luz.

As propriedades de cor das amostras estão apresentadas na Tabela 9. Biofilmes controle apresentaram um valor alto para luminosidade, não diferindo estatisticamente das amostras com 5% e 10% de extrato. Biofilmes contendo 15% de extrato diferiram estatisticamente apenas das amostras controle. A partir dos dados disponíveis na Tabela 9 infere-se que a incorporação de extrato proporcionou uma redução na luminosidade conforme se aumentava a concentração de extrato no biofilme.

Em relação à variação de cor dos filmes ( $\Delta E$ ), observasse que houve diferença significativa em relação à concentração de extrato adicionado. Filmes contendo 5% de extrato apresentavam uma cor que tendia ao amarelo claro, enquanto os filmes com 15% apresentavam uma coloração amarelo mais escuro, tendendo ao laranja. Cesca (2024) cita que valores aproximados de 100 para luminosidade implicam em luminosidade alta, enquanto filmes que apresentam a luminosidade abaixo de 40 tendem a ser filmes mais escuros.

Conforme Nandí e Guha (2018), o valor positivo de  $a^*$  indica a cor avermelhada dos biofilmes, enquanto valores positivos de  $b^*$  indicam a cor amarelada dos filmes. Na Tabela 9 pode-se observar que os valores de  $b^*$  que tendem mais ao amarelo foram superiores aos valores

de  $a^*$ , esses valores são devido aos pigmentos derivados dos carotenoides presentes na casca do tucumã.

Tabela 8 – Cor dos biofilmes controle e incorporados com extrato das cascas de tucumã-do-Amazonas. Letras sobrescritas diferentes na mesma coluna indicam que as médias são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

Biofilmes	L	$a^*$	$b^*$	$\Delta E$
Co	82.33±2.32 <sup>a</sup>	0.11±0.13 <sup>a</sup>	5.86±0.08 <sup>c</sup>	---
F5	75.61±5.94 <sup>ab</sup>	3.25±4.69 <sup>a</sup>	27.27±9.09 <sup>b</sup>	22.91±11.08 <sup>b</sup>
F10	68.01±5.94 <sup>ab</sup>	8.82±5.82 <sup>a</sup>	42.75±7.73 <sup>ab</sup>	40.73±10.14 <sup>ab</sup>
F15	59.53±8.98 <sup>b</sup>	16.44±10.11 <sup>a</sup>	57.78±10.87 <sup>a</sup>	59.38±15.40 <sup>a</sup>

Luchese (2018) ao incorporar resíduos de mirtilo nos biofilmes contendo como base amido de mandioca verificou a redução da luminosidade e aumento nos parâmetros  $a^*$ ,  $b^*$  e  $\Delta E$ , assim como houve uma maior influência nesses parâmetros a partir de maiores concentrações de resíduos de mirtilo incorporadas na base das amostras. Na pesquisa realizada por Filipini, Romani e Martins (2020) foi verificado que a partir da incorporação de extrato de resíduos da agroindústria há uma redução na transparência dos biofilmes elaborados, assim como na luminosidade.

As propriedades de transparência, T280 e T470 estão apresentadas na Tabela 10. A partir das análises verifica-se que houve uma diferença significativa em relação às amostras controle e incorporadas com extrato para a análise T280 nm. A partir da incorporação do extrato verifica-se que houve uma redução da passagem da luz ultravioleta (UV). Conforme Almeida *et al.* (2023), uma barreira alta a proteção UV é desejável devido aos mecanismos de proteção que ela oferece, evitando a fotodegradação dos alimentos embalados induzidos por reações fotoquímicas.

Em relação ao T470 nm, os resultados demonstraram que os filmes controle têm uma maior transparência, o que pode ser observado a partir da produção destes e os filmes incorporados com extrato tendem a ser mais opacos. Essas diferenças se deram a partir da incorporação de extrato presente no biofilme, quanto maior a concentração, mais opacas as amostras eram.

Tabela 9 – Opacidade, T280 e T470 dos biofilmes controle e incorporados com extrato das cascas de tucumã-do-Amazonas. Letras sobrescritas diferentes na mesma coluna indicam que as médias são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

Biofilmes	Transparência	T280nm	T470nm
Co	1,48±0,02 <sup>a</sup>	27,450±0,654 <sup>a</sup>	46,14±0,15 <sup>a</sup>
F5	1,63±0,02 <sup>b</sup>	0,023±0,005 <sup>b</sup>	37,61±0,20 <sup>b</sup>
F10	1,64±0,04 <sup>b</sup>	0,011±0,002 <sup>b</sup>	15,82±0,19 <sup>c</sup>
F15	1,58±0,03 <sup>b</sup>	0,003±0,003 <sup>b</sup>	11,52±0,20 <sup>d</sup>

Em pesquisa realizada por Almeida et al. (2023), os valores de transparência dos filmes foram reduzidos à medida que eram adicionadas membranas de bactérias de ácido acético. Em sua pesquisa, os filmes controle (amido + H<sub>2</sub>O + glicerol) apresentaram um valor de transparência de 2,18 mm<sup>-1</sup>, filmes incorporados com a membrana apresentaram um valor variando de 2,24 mm<sup>-1</sup> a 4,69 mm<sup>-1</sup> dependendo dos teores de membrana adicionados na base dos filmes. Os biofilmes elaborados nesta pesquisa possuem as características de proteção dos alimentos, podendo retardar o processo de degradação propiciado pela absorção da luz UV, aumentando a qualidade do alimento embalado. Conforme Ortega *et al.* (2017), a transparência é uma característica importante dos filmes que afeta a sua aplicação e é crítica quando é usada para revestimento ou embalagem de alimentos.

#### 5.4.10 Propriedades mecânicas

Os testes de resistência, elasticidade e alongamento à ruptura estão apresentados na Tabela 11. A partir desta análise verifica-se que a resistência foi significativamente reduzida, assim como a elasticidade das amostras a partir da incorporação do extrato, em relação ao alongamento; filmes contendo 10% e 15% de extrato apresentaram um aumento nesse módulo. A partir dos resultados infere-se que o extrato das cascas nas concentrações de 10% e 15% apresentou um resultado satisfatório para o alongamento, ou seja, ao comparar com o controle, as amostras com essas concentrações de extrato podem se estender com maior flexibilidade antes de romper. No entanto, a elasticidade dos filmes foi comprometida, ou seja, apresentou uma perda significativa ao comparar com o controle, perdendo a capacidade de voltar ao seu formato original, tornando-se menos rígido e mais flexível, o que é corroborado pela análise de alongamento.

Luchese (2018) encontrou valores diferentes ao usar resíduos da agroindústria em embalagens contendo como base o amido. A autora verificou que “a incorporação do resíduo promoveu uma redução no percentual de alongação dos filmes em relação ao filme controle e um aumento no módulo de elasticidade ou rigidez dos filmes” (p. 119). A elasticidade dos biofilmes confeccionados nesta pesquisa apresentou valores superiores aos encontrados por Luchese (2018). A autora encontrou valores que variaram de  $3,2 \pm 0,9$  a  $9,6 \pm 1,4$  MPa para suas amostras contendo extrato de resíduos de mirtilo.

Tabela 10 – Propriedades mecânicas dos biofilmes controle e incorporados com extrato das cascas de tucumã-do-Amazonas. Letras sobrescritas diferentes na mesma coluna indicam que as médias são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

Biofilmes	Resistência (N)	Elasticidade (MPa)	Alongamento (%)
Co	26,30±2,94 <sup>a</sup>	1030,74±96,09 <sup>a</sup>	3,79±0,29 <sup>a</sup>
F5	17,62±1,05 <sup>b</sup>	549,23±38,38 <sup>b</sup>	5,76±0,24 <sup>a</sup>
F10	10,72±0,52 <sup>c</sup>	277,43±30,88 <sup>c</sup>	47,52±17,89 <sup>b</sup>
F15	8,77±0,60 <sup>c</sup>	188,74±23,92 <sup>d</sup>	59,65±15,77 <sup>b</sup>

Conforme Onyeaka *et al.* (2022) são muitos os desafios encontrados na confecção das embalagens biodegradáveis ativas usando como matriz o amido, sendo: propriedades mecânicas ruins, alta permeabilidade ao vapor de água, baixa estabilidade a água, alta sensibilidade a umidade, comportamento quebradiço a temperatura ambiente etc. Nesta pesquisa, amostras controle apresentaram maiores valores de resistência a quebra, inferindo que após a incorporação do extrato não houve uma boa interação entre a matriz de amido, o que pode ser resolvido adicionando maiores concentrações de glicerol. Segundo Santhosh *et al.* (2024), ao adicionar um plastificante, proporcionará um melhor desempenho nas propriedades mecânicas, aumentando a flexibilidade e diminuindo a fragilidade dos filmes.

Em pesquisa realizada por Almeida *et al.* (2023), os filmes elaborados apresentaram um bom desempenho de resistência à tração, variando de 20 MPa (embalagens controle) a 39 MPa (filmes incorporados com ácido gálico e membrana de bactéria do ácido acético). No entanto, apresentaram uma redução significativa no alongamento à ruptura, que variou de 3,1 a 4,0% (filmes contendo ácido gálico e membrana de bactéria) quando comparados com os filmes controle (6,8%).

Kuchaiyaphum *et al.* (2024) encontraram valores similares ao alongamento a ruptura para os filmes desenvolvidos a partir do amido do caule do abacaxi. Os resultados obtidos variaram de 78% para a amostra controle usando apenas o amido do caule e 54% para as amostras incorporadas com 3% de ácido cítrico. Conforme os autores, seu melhor resultado foi

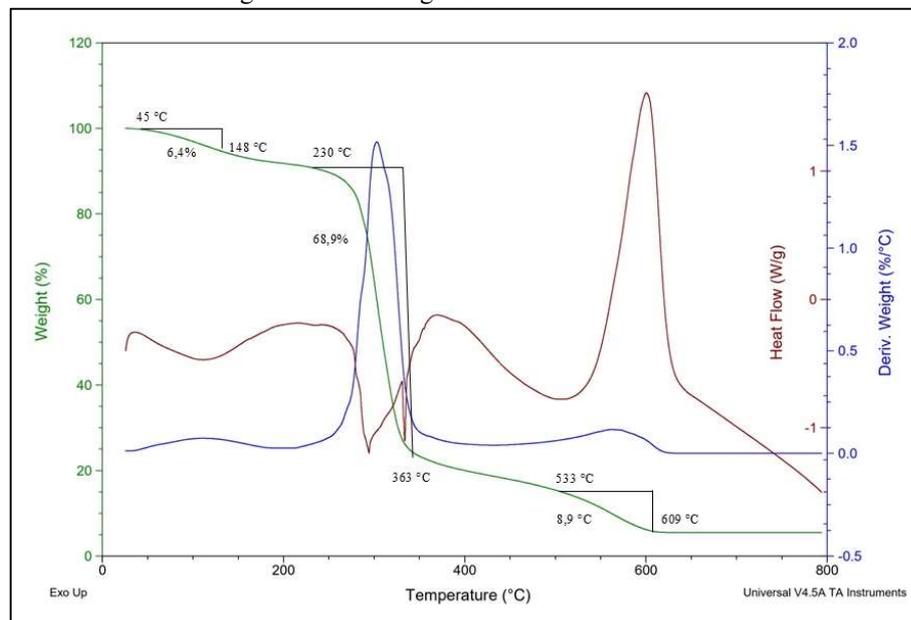
para a amostra com 54% de alongamento, devido a apresentar um bom resultado de resistência, sendo de  $10,26 \pm 0,75$  MPa.

Em pesquisa realizada por Criollo-Feijoo *et al.* (2024) encontraram valores de módulo de elasticidade inferiores ao deste estudo, sendo o melhor resultado apresentado pelo filme controle contendo amido do bagaço da mandioca. O valor obtido para a amostra foi de  $690,9 \pm 110,1$  MPa. Na pesquisa realizada pelos autores foi constatado que a incorporação do óleo de orégano apresentou uma drástica redução no módulo de elasticidade em comparação com amostras controle. Resultados semelhantes aos desta pesquisa foram constatados na pesquisa de Criollo-Feijó *et al.* (2024), ao incorporar o óleo na base de amido houve uma drástica redução da resistência na ruptura e no módulo de elasticidade, no entanto houve um aumento considerável em relação ao alongamento na ruptura. Filmes tendo como base amido de mandioca e amido do bagaço de mandioca incorporados com 3% de óleo de orégano apresentaram um alongamento máximo de 61,6% e 37,9%.

#### 5.4.11 Propriedades térmicas

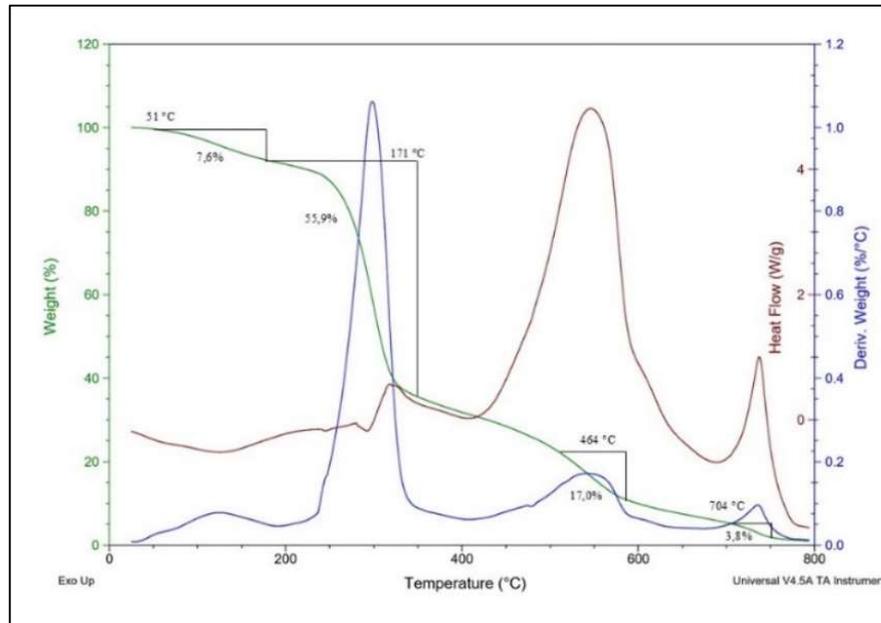
Filipini, Romani e Martins (2020) citam a importância da análise termogravimétrica para biofilmes, pois os filmes podem estar submetidos a temperaturas altas ou baixas e, portanto, verifica-se a necessidade de se obter dados de degradação das embalagens. A estabilidade térmica dos filmes controle (sem extrato) está apresentada na Figura 22.

Figura 22 – Termograma do biofilme controle



A Figura 23 apresenta a estabilidade térmica do biofilme contendo 5% de extrato das cascas de tucumã.

Figura 23 – Termograma do biofilme incorporado com 5% de extrato das cascas de tucumã (*Astrocaryum aculeatum* Meyer)



A Figura 24 apresenta a estabilidade térmica do biofilme contendo 10% de extrato das cascas de tucumã.

Figura 24 – Termograma do biofilme contendo 10% de extrato das cascas de tucumã (*Astrocaryum aculeatum* Meyer)

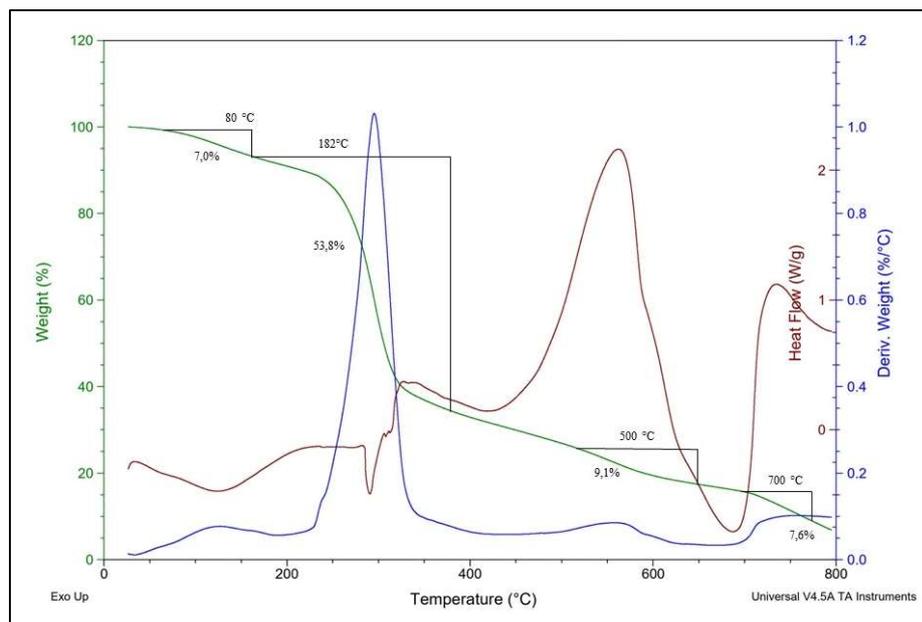
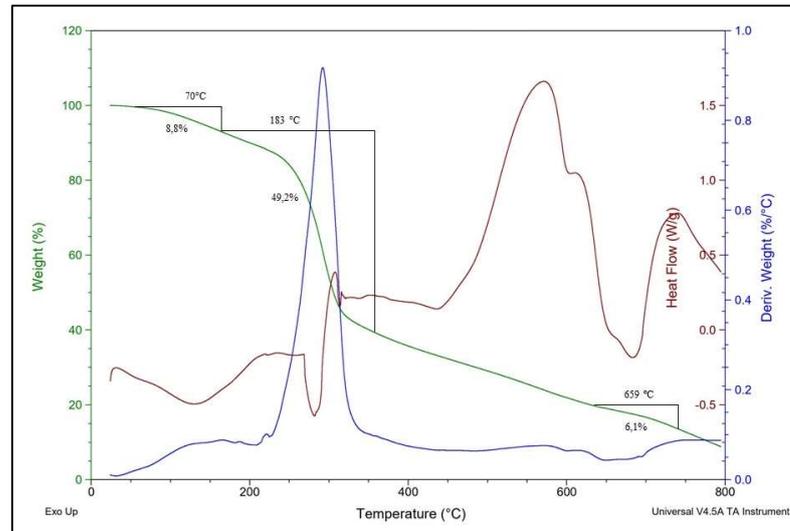


Figura 25 apresenta a estabilidade térmica do biofilme contendo 15% de extrato das cascas de tucumã.

Figura 25 - Termograma do biofilme contendo 15% de extrato das cascas de tucumã (*Astrocaryum aculeatum* Meyer)



Ao se analisar as Figuras 22 a 25, infere-se que a partir da incorporação do extrato na base de amido houve um aumento na estabilidade térmica, onde biofilmes controle permaneceram estáveis até a temperatura de 45 °C. A partir da incorporação do extrato, as amostras apresentaram estabilidade até 80 °C, para os filmes com 10%. Portanto, os extratos das cascas de tucumã aumentaram a estabilidade dos biofilmes suportando até uma temperatura de 80 °C antes de apresentar as primeiras perdas de massa. A primeira perda, variando entre 6 e 8% deste estudo, conforme Koosha e Hamedí (2019), está atribuída a vaporização da água presente nos filmes. Biofilmes contendo extrato das cascas de tucumã apresentaram a sua última perda nas temperaturas a partir de 659 °C enquanto o controle apresentou sua última perda em 609 °C. Koosha e Hamedí (2019), avaliando a incorporação de extrato (cenoura preta) em filmes com base de PVA e quitosana, observaram que a última perda de peso tanto das amostras controle quanto das amostras incorporadas com extrato foi na faixa de 330 °C a 400 °C.

A partir da derivada, verificasse que biofilmes controle apresentaram três etapas de decomposição, enquanto as amostras incorporadas com extrato apresentaram quatro etapas de perdas. As últimas etapas de perdas para as amostras contendo extrato foram nas temperaturas de 740 °C para filmes com 15% de extrato, 760 °C para filmes com 10% de extrato e 753 °C

para os filmes com 5% de extrato. Em todas as amostras, o maior percentual de perda de massa foi no segundo evento (a partir de 170 °C), onde este apresentou uma perda entre 49 e 55% para os filmes com incorporação de extrato e 68% para os filmes controle. Em estudo realizado por Chandrasekar *et al.* (2023) em filmes com base de amido e incorporação de extrato das cascas de banana, a maior perda de peso também foi evidenciado no segundo evento nas temperaturas entre de 229,65 °C e 362,96 °C, os autores atribuíram essa perda devido à quebra de anéis de glicose na composição polimérica (amilose e amilopectina) do amido.

Filmes controle e com a incorporação de 5% de extrato apresentaram aproximadamente 97,2% de perda, restando 2,8% podendo ser material mineral presente na amostra. Filmes com 10% de extrato apresentaram uma perda de 93,5%, enquanto filmes com 15% de extrato apresentaram 91,1% de perda. A partir desses eventos térmicos, ainda há uma alta quantidade de material restante, principalmente para os filmes com 10% e 15% de incorporação de extrato, sendo maior que 5% de material.

#### 5.4.12 Biodegradabilidade no solo

Os testes de biodegradabilidade foram iniciados em outubro de 2024, após a primeira semana foi verificado que os filmes com incorporação de extrato apresentavam crescimento de fungos (Figura 27 B), enquanto o filme controle não apresentava (Figura 26 B). No entanto, devido ao equipamento, BOD apresentou uma alta temperatura ( $\pm 45$  °C) no final de semana, ficando assim durante 48 horas, acreditando-se que isto comprometeu a análise devido à mortandade de fungos, pois nas verificações que aconteceram por um período de 3 meses não houve mudança nos filmes e não foi observado crescimento de fungos. Esta análise será realizada novamente, para a publicação do artigo.

Figura 26 – Biodegradabilidade dos biofilmes controle; A: amostra sendo colocada no solo e, B: amostra após uma semana coberta com solo

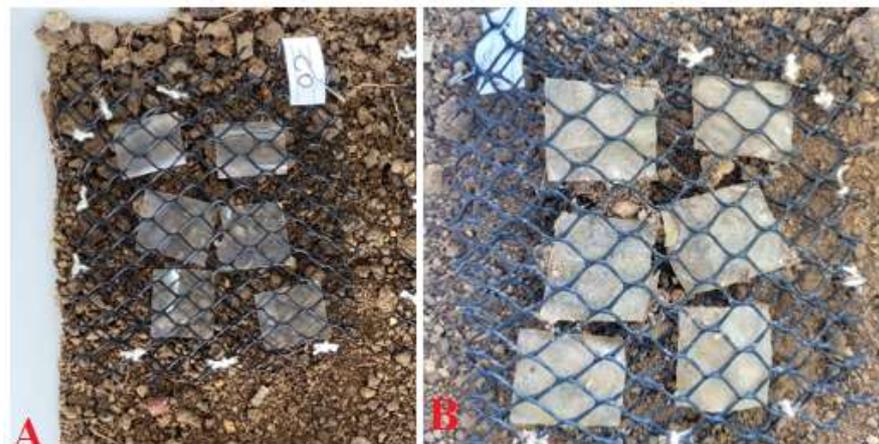


Figura 27 – Biodegradabilidade dos biofilmes incorporados 15% de extrato das cascas de tucumã do Amazonas; A = amostra sendo colocada no solo e B = amostra após 7 dias coberta com solo



## 6. CONCLUSÃO

Nesta pesquisa ficou evidenciado que os resíduos gerados a partir do consumo do tucumã são muito altos  $> 75\%$ , a casca corresponde a 16% dos resíduos gerados. A utilização desses resíduos geraria maior valor agregado ao fruto, poderia impulsionar ainda mais a bioeconomia do Estado do Amazonas, não contribuiria para a poluição ambiental devido ao acúmulo desses resíduos no ambiente urbano e ainda teria o uso voltado para a economia circular e uso sustentável dos compostos presentes no fruto.

O extrato seco das cascas de tucumã possui uma alta capacidade antioxidante ( $75,23\% \pm 2,37\%$ ) e alto teor de compostos fenólicos (5950,73 mg EAG/100 g de extrato), sendo viável o seu uso na incorporação de matrizes de filmes, como o amido, o que torna os filmes ativos podendo proporcionar maior durabilidade aos alimentos. Ficou evidenciado que os filmes incorporados com 15% de extrato apresentaram uma redução do DPPH  $> 90\%$ . Para uma redução de 50% do DPPH (IC50) é necessária uma incorporação de 11,05% de extrato nos filmes.

Os filmes após serem retirados das placas apresentaram-se maleáveis e flexíveis. As amostras também apresentaram uma redução da luz UV, implicando em uma proteção ou até podendo evitar a fotodegradação dos alimentos. As análises FTIR e DRX evidenciaram que a incorporação do extrato não alterou a estrutura dos filmes. Após a incorporação do extrato, os filmes apresentaram-se mais resistentes à temperatura, apresentando uma estabilidade térmica até 80 °C. As amostras apresentaram-se com uma alta hidrofiliabilidade, não sendo indicadas para o armazenamento de biscoitos ou alimentos que precisam manter a crocância. Os testes de biodegradabilidade mesmo sem terem sido completados evidenciaram que os biofilmes incorporados com extrato apresentaram crescimento de fungos a partir do sétimo dia coberto com solo.

As análises mecânicas foram as propriedades que mais sofreram perdas das suas características. A resistência à tração dos biofilmes contendo 15% de extrato perdeu 33% de sua resistência em comparação com amostras controle. Todavia, o alongamento a ruptura foi a propriedade cujas características foram melhoradas, tendo um aumento superior a 1500% em relação às amostras controle. A partir destas análises verificou-se que os filmes ficaram menos resistentes, porém mais maleáveis e flexíveis. Nesta pesquisa ficou evidenciado que os biofilmes elaborados se apresentam como um produto importante para fortalecer a bioeconomia e a economia circular na região Amazônica.

Com base nos resultados obtidos nesta pesquisa, as seguintes análises são sugeridas para trabalhos futuros: Melhorar a parte mecânica dos biofilmes em relação à resistência à tração, realizar testes de permeabilidade ao vapor de água, além de verificar se os filmes desenvolvidos podem ser inteligentes. Existem pesquisas que evidenciam as propriedades microbiológicas dos extratos de tucumã, então seria viável esta análise nos biofilmes para pesquisas futuras. Realizar o teste de prateleira com produtos como queijo e frutas; os filmes desta pesquisa se mostraram bem flexíveis, amostras incorporadas com 15% de extrato, ou seja, eles podem se adaptar ao formato do alimento.

## REFERÊNCIAS

ABDULLAH, A.H.D.; CHALIMAH, S.; PRIMADONA, I.; HANANTYO, M.H.G. Physical and chemical properties of corn, cassava, and potato starch. **Earth and Environmental Science**, v. 160, 2018.

ADILSON BEATRIZ; ARAÚJO, Y.J.K.; LIMA, D.P. Glicerol: Um breve histórico e aplicação em sínteses estereosseletivas. **Quim. Nova**, v. 34, n. 2, p. 306-319, 2011.

ALMEIDA, T.; KARAMYSHEVA, A.; VALENTE, B.F.A.; SILVA, J.M.; BRAZ, M.; ALMEIDA, A.; SILVESTRE, A.J.D. *et al.* Biobased ternary films of thermoplastic starch, bacterial nanocellulose and gallic acid for active food packaging. **Food Hydrocolloids**, v. 144, 2023.

AMIN, U.; KHAN, M.K.I.; MAAN, A.A.; NAZIR, A.; RIAZ, S.; KHAN, M.U. *et al.* Biodegradable active, intelligent, and smart packaging materials for food applications. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 33, 2022.

AOAC. **Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of analysis of AOAC International**. 18. ed. Washington: AOAC, 2005.

ARAÚJO, N.M.P. *et al.* Functional and nutritional properties of selected Amazon fruits: A review. **Food Research International**, v. 141, 2021.

ARMYNAH, B.; ANUGRAHWIDYA, R.; TAHIR, D. Composite cassava starch/chitosan/pineapple leaf fiber (PALF) /zinc oxid (ZnO): Bioplastic with high mechanical properties and faster degradation in soil and seawater. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 213, p. 814-823, 2022.

ASTM. **Standard test methods for water vapor transmission of materials**. 2017. Disponível em: <https://compass.astm.org/document/?contentCode=ASTM%7CE0096-00%7Cen-US&proxycl=https%3A%2F%2Fsecure.astm.org&fromLogin=true>. Acesso em: 26 set. 2024.

AVANTIUM. **Avantium and Carlsberg sign offtake agrément on PEF**. 2022. Disponível em: <https://avantium.com/avantium-and-carlsberg-sign-offtake-agreement-on-pef/>. Acesso em: 29 jun. 2024.

AVILA, L.B.; BARRETO, E.R.; SOUZA, P.K.; SILVA, B.Z.; MARTINY, T.R.; MORAES, C.C.; MORAIS, M.M.; RAGHAVAN, V.; ROSA, G.S. Carrageenan-based films incorporated with jaborcaba peel extract: An innovative material for active food packaging. **Molecules**, v. 25, n. 5563, p. 1-15, 2020.

BAGHI, F.; GHARSALLAOUI, A.; DUMAS, E.; GHNIMI, S. Advancements in biodegradable active films for food packaging: Effects of nano/microcapsule incorporation. **Foods**, v. 11, n. 760, p. 2-44, 2022.

BARROS, T.D. **Agroenergia: glicerol.** 2021. Disponível em: [https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agroenergia/p-d-e-i/biodiesel/glicerol#:~:text=O%20glicerol%20\(1%2C2%2C,sab%C3%A3o\)%20do%20azeite%20de%20oliva](https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agroenergia/p-d-e-i/biodiesel/glicerol#:~:text=O%20glicerol%20(1%2C2%2C,sab%C3%A3o)%20do%20azeite%20de%20oliva). Acesso em: 10 de jun. de 2024.

BARBOSA, B.S.; KOOLEN, H.H.F.; BARRETO, A.C.; SILVA, J.D.; FIGLIUOLO, R. NUNOMURA, S.M. Aproveitamento do óleo das amêndoas de tucumã do Amazonas na produção de biodiesel. **Acta Amazonica**, v. 39, n. 2, p. 371-376, 2008.

BELTRAN, M.; TIAHJONO, B.; BOGUSH, A.; JULIÃO, J.; TEIXEIRA, E.L.S. Food plastic packaging transition towards circular bioeconomy: A systematic review of literature. **Sustainability**, v. 13, n. 3896, p. 1-24, 2021

BERGMANN, J.C.; TUPINAMBÁ, D.D.; ALMEIDA, J.R.M.; BARRETO, C.C.; QUIRINO, B.F. Biodiesel production in Brazil and alternative biomass feedstocks. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 21, p. 411-420, 2013.

BIDARE, R.; ABDILLAH, A.A.; PONCE, R.A.B.; CHARLES A.L. Characterization of biodegradable films made from Taro peell (*Colocasia esculenta*) starch. **Polymers**, v. 15, n. 2, 2023.

BHARGAVA, N.; SHARANAGAT, V.S.; MOR, R.S.; KUMAR, K. Active and intelligent biodegradable packaging films using food and food waste-derived bioactive compounds: a review. **Trends in Food Science & Thechnology**, v. 105, p. 385-401, 2020.

BRASKEM. **Sustainably sourced bio-based plastic.** s.d. Disponível em: <https://www.braskem.com.br/imgreen/all-about-being-bio-based>. Acesso em: 28 jun. 2024.

BOURBON, A.I.; PINHEIRO, A.C.; CERQUEIRA, M.A.; ROCHA, C.M.R; AVIDES, M.C.; QUINTAS, M.A.C. et al. Physico-chemical characterization of chitosan-based edible films incorporating bioactive compounds of different molecular weight. **Journal of Food Engineering**, v. 106, p. 111-118, 2011.

CABRAL, F.L.; BERNARDES, V.M.; PASSOS, D.F.; OLIVEIRA, J.S.; DOLESKI, P.H.; SILVEIRA, K.L. *et al.* *Astrocaryum aculeatum* fruit improves inflammation and redox balance in phytohemagglutinin-stimulated macrophases. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 247, 112274, 2020.

CAETANO, K.S.; LOPES, N.A.; COSTA, T.M.H.; BRANDELLI, A.; RODRIGUES, E.; FLÔRES, S.H. *et al.* Characterization of active biodegradable films based on cassava starch natural compounds. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 16, p. 138-147, 2018.

CASAS, L.L.; PANTOJA de JESUS, R.; COSTA NETO, P.Q.; CORRÊA, S.A.M. Aspectos nutricionais, químico e farmacológicos de Tucumã (*Astrocaryum aculeatum* Meyer e *Astrocaryum vulgare* Mart.). **Brasilian Journal of Development**, v.8, n. 2, p. 13667-13687, 2022.

CHAARI, M.; ELHADEF, K.; AKERMI, S.; AKACHA, B.B.; FOURATI, M.; MTIBAA, A.C. *et al.* Novel active food packaging films based on gelatina-sodium alginate containing beetroot pell extract. **Antioxidants**, v. 11, 2022.

CHACON, W. D. C.; dos SANTOS ARAUJO, E.; de MATOS FONSECA, J.; MONTEIRO, A. R.; VALENCIA, G. A. Understanding the Interaction Between Gelatin and a Layered Silicate and Its Impact on the Physicochemical Properties of Films Produced by Casting. **Journal of Polymers and the Environment**, p. 1–11, 2024.

CHAIWARIT, T.; KANTRONG, N.; SOMMANO, S.R.; RACHTANAPUN, P.; JUNMAHASATHIEN, T.; KUMPUGDEE-VOLLRACH, M. *et al.* Extraction of tropical fruit peels and development of HPMC film containing the extracts as an active antibacterial packaging material. **Molecules**, v. 26, 2021.

CHANDRASEKAR, C.M.; KRISHNAMACHARI, H.; FARRIS, S.; ROMANO, D. Development and characterization of starch-based bioactive thermoplastic packaging films derived from banana peels. **Carbohydrate Polymer Technologies and Applications**, v. 5, 2023.

CHEN, Z.; ZHOU, Y.; LUO, Q.; ZHOU, Q.; WANG, X.; WU Y.; YANG, Z. Environmental impacts and mitigation potentials of CO<sub>2</sub>-based biodegradable plastic based on life cycle assessment – A case study of poly (propylene carbonate). **Journal of Cleaner Production**, v. 471, 2024.

CHARLES, A.L.; MOTSA, N.; ABDILLAH, A.A. A comprehensive characterization of biodegradable edible films based on potato peel starch plasticized with glycerol. **Polymers**, v. 14, n. 17, 2022.

CHUANG, L.; PANYOYAI, N.; SHANKS, R.A.; KASAPIS, S. Effect of salt on the glass transition of condensed tapioca starch systems. **Food Chemistry**, v. 229, p. 120-126, 2017.

CRIOLLO-FEIJOO, J.; SALAS-GOMEZ, V.; CORNEJO, F.; AURAS, R.; SALAZAR, R. Cassava bagasse starch and oregano essential oil as a potential active food packaging material: A physicochemical, thermal, mechanical, antioxidant, and antimicrobial study. **Heliyon**, v. 10, 2024.

CIEL (CENTER FOR INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL LAW). **Plastic & Climate: the hidden costs of a plastic Planet**. 2019. Disponível em: <https://www.ciel.org/plasticandclimate/>. Acesso em: 27 de fev de 2024.

COSTA, A.P.G.C.; CRUZ, F.G.G.; RUFINO, J.P.F.; FEIJÓ, J.C.; MELO, L.D.; DAMASCENO, J.L. Tucumã meal in diets for broilers on performance, carcass traits and serum biochemical profile. **Archivos de Zootecnia**. v. 67, n. 257, p. 137-142, 2018.

CONSTANTINO, L. **Cientistas usam solvente ‘verde’ e pigmento natural na produção de bioplástico**. 2022. FAPESP. Disponível em: <https://ods.fapesp.br/cientistas-usam-solvente-verde-e-pigmento-natural-na-producao-de-bioplastico/7819>. Acesso em: 05 de maio de 2023.

CUJIC, N.; SAVIKIN, K.; JANKOVIC, T.; PLJEVLJAKUSIC, D.; ZDUNIC, G.; IBRIC, S. Optimization of polyphenols extraction from dried chokeberry using maceration as traditional technique. **Food Chemistry**, v. 194, p. 135-142, 2016.

De ROSSO, V.V.; MERCADANTE, A.Z. Identification and quantification of carotenoids, by HPLC-PDA-MS/MS, from Amazonian fruits. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 55, p. 5062-5072, 2007.

DIDONET, A.A., FERRAZ, I.D.K. O comércio de frutos de tucumã (*Astrocaryum aculeatum* G. Mey - Arecaceae) nas feiras de Manaus (Amazonas, Brasil). **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal-SP, v. 36, n.2, p. 353-362, 2014.

DIDONET, A.A.; ANTONIASSI, R.; BACK, G.R.; MACHADO, A.F.F.; WILHELM, A.E.; FERRAZ, I.D.K. Characterization of amount and quality of tucuma kernel oil as a potential biomass. **J. Am Oil Chem Soc**, v. 97, p. 955-962, 2020.

DORDEVIC, S.; DORDEVIC, D.; SEDLACEK, P.; KALINA, M.; TESIKOVA, K. ANTONIC, B. *et al.* Incorporation of natural blueberry, red grapes and parsley extract by-products into the production of chitosan edible films. **Polymers**, v. 13, 2021.

ECYCLE. **Bioplástico conheça os tipos e aplicações.** s.d.. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/bioplastico/>. Acesso em 26 jun. 2024.

ESPOSITO, T.; SILVA, N.H.C.S.; ALMEIDA, A.; SILVESTRE, A.J.D.; PICCINELLI, A.; AQUINO, R.P. *et al.* Valorisation of chestnut spiny burs and roasted hazelnut skins extracts as bioactive additives for packaging films. **Industrial Crops & Products**, v. 151, 2020.

EUROPEAN BIOPLASTICS. **Bioplastics should be complementary tools to help end plastic pollution.** 2023. Disponível em: <https://www.european-bioplastics.org/bioplastics-should-be-complementary-tools-to-help-end-plastic-pollution/>. Acesso em: 28 jun. 2024.

FAO. **Especies forestales productoras de frutas y otros alimentos: ejemplos de América Latina.** p. 265, 1987.

FRANCISCO, A.P.; SGANZERLA, W.G.; CASTRO, L.E.N.; BARROSO, T.L.C.T.; SILVA, A.P.G.; ROSA, C.G. *et al.* Pressurized liquid extraction of bioactive compounds from grape pell and application in pH-sensing carboxymethyl cellulose films: A promising material to monitor the freshness of pork and milk. **Food Research International**, v. 179, 2024.

Federação de Agricultura e Pecuária do Amazonas, 2020. Disponível em: <https://g1.globo.com/am/amazonas/noticia/2020/09/28/consumidores-apontam-aumento-de-mais-de-100percent-no-preco-do-quilo-do-tucuma-em-manaus.ghtml>. Acesso em: 24 de jan. de 2024.

FERRAZ, I.D.K.; DIDONET, A.A. Tucumãzeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, n. 2, p. 285-523, 2014.

FERREIRA, I. 2023. **Técnicas podem viabilizar novos usos do óleo de tucumã na indústria alimentícia.** Disponível em: <https://jornal.usp.br/ciencias/tecnicas-podem-viabilizar-novos-usos-do-oleo-de-tucuma-na-industria-alimenticia/>. Acesso em: 19 de jan. de 2024.

FERREIRA, M.; MARTÍNEZ, J.; CARVALHO, L. **Aproveitamento da Casca de Tucumã-do-Amazonas (*Astrocaryum aculeatum*) por Extração com Líquidos Pressurizados Assistida por Ultrassom.** In: ANAIS DO 15º SLACAN - SIMPÓSIO LATINO-

AMERICANO DE CIÊNCIA DE ALIMENTOS E NUTRIÇÃO, 2023, Campinas. Anais eletrônicos. Campinas, Galoá, 2023. Disponível em: <https://proceedings.science/slacan-2023/trabalhos/aproveitamento-da-casca-de-tucuma-do-amazonas-astrocaryum-aculeatum-por-extracao?lang=pt-br#>. Acesso em: 12 fev. 2024.

FILIPINI, Gabriel da Silva. **Desenvolvimento de embalagens biodegradáveis ativas a partir de polímeros e extrato natural de jambolão**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências de Alimentos, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2019.

FILIPINI, G.S.; ROMANI, V. P.; MARTINS, V.G. Biodegradable and active-intelligent films based on methylcellulose and jambolão (*Syzygium cumini*) skins extract for food packaging. **Food Hydrocolloids**, [S.L.], v. 109. 2020.

Fundação Heinrich Böll Brasil. **Atlas do plástico: fatos e números sobre o mundo dos polímeros sintéticos**. 1. ed. Rio de Janeiro, Brasil, 2020. Disponível em: <https://br.boell.org/pt-br/2020/11/29/atlas-do-plastico>. Acesso em: 12 fev. 2024.

GEYER, R.; JAMBECK, J.R.; LAW, K.L. Plastics production, use, and fate of all plastics ever made. **Science Advances**, v. 3, p. 1-5, 2017.

GONZALEZ, W.A.; MACHADO, C.R.; BARRETO, E.J.F.; DALL'OGGIO, E.L.; CORREIA, J.C.; BORGES, L.E.P.; ALMEIDA, M.D. et al. Biodiesel e óleo vegetal in natura, soluções energéticas para a Amazônia. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/arquivos/solucoes-energeticas-para-a-amazonia-biodiesel.pdf>. Acesso em 22 de abril de 2025.

GOPALAKRISHNAN, K.; CHANDEL, M.; GUPTA, V.; KAUR, K.; PATEL, A.; KAUR, K. *et al.* Valorisation of fruit peel bioactive into green synthesized silver nanoparticles to modify cellulose wrapper for shelf-life extension of packaged bread. **Food Research International**, v. 164, 2023.

GUTIÉRREZ, T.J.; MENDIETA, J.R.; TORO, R.O. In-depth study from gluten/PCL-based food packaging films obtained under reactive extrusion conditions using chrome octanoate as a potential food grade catalyst. **Food Hydrocolloids**, v. 111, 2021.

HOOVER, R. Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. **Carbohydrate Polymers**, v. 45, p. 253-267, 2001.

HORNUNG, P.S.; OLIVEIRA, C.S.; LAZZAROTTO, M.; LAZZAROTTO, S.R.S.; SCHNITZLER, E. Investigation of the photo-oxidation of cassava starch granules. **J. Therm Anal Calorim**, v. 123, p. 2129-2137, 2016.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE-IPCC. **Climate change 2021: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, p. 2391, 2021.

JAIN, K.; SHAH, C. A review: Sustainability from waste. **International Journal of Scientific Research in Science and Technology**, v. 6, n. 6, p. 134-155, 2019.

JANTSH, M.H.; BERNARDES, V.M.; OLIVEIRA, J.S.; PASSOS, D.F.; DORNELLES, G.L.; MANZONI, A.G. *et al.* Tucumã () prevents memory loss and oxidative imbalance in the brain of rats with hyperlipidemia. **Journal of Food Biochemistry**, 2021.

JAYAKUMAR, A.; HEERA, K.V.; SUMI, T.S.; JOSEPH, M.; MATHEW, S.; PRAVEEN, G.; NAIR, I.C.; RADHAHKRISHNAN, E.K. Starch-PVA composite films with zinc-oxide nanoparticles and phytochemicals as intelligent pH sensing wraps for food packaging application. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 136, p. 395-403, 2019.

JOBIM, M.L.; SANTOS, R.C.V.; ALVES, C.F.S.; OLIVEIRA, R.M.; MOSTARDEIRO, C.P.; SAGRILLO, M.R. *et al.* Antimicrobial activity of Amazon *Astrocaryum aculeatum* extracts and its association to oxidative metabolism. **Microbiological Research**, v. 169, p. 314-323, 2014.

KAHN, F. Ecology of economically important palms in Peruvian Amazonia. **Advances in Economy Botany**, v.6, p. 42-49, 1988.

KAHN, F.; MOUSSA, F. Economic importance of *Astrocaryum aculeatum* (palmae) in central Brazilian Amazonia. **Acta Botánica Venezolana**, v. 22, n. 1, p. 237-245, 1999. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/44652980>. Acesso em: 05 de maio de 2023.

KANATT, S.R.; RAO, M.S.; CHAWLA, S.P.; SHARMA, A. Active chitosan-polyvinyl alcohol films with natural extracts. **Food Hydrocolloids**, v. 29, n. 2, p. 290-297, 2012.

KHAROLA, S., et al. Barriers to organic waste in a circular economy. **Journal of Cleaner Production**, v. 362, p. 132282, 2022.

KAUSHANI, K.G.; RATHNASINGHE, N.L.; KATUWAWILA, N.; JAYASINGHE, R.A.; NILMINI, A.H.L.R.; PRIYADARSHANA, G. Trends in smart packaging Technologies for sustainable monitoring of food quality and safety. **International Journal of Research and Innovation in Applied Science**, v. VII, n. VII, 2022.

KEVIJ., H.T.; SALAMI, M.; MOHAMMADIAN, M.; MARYAN, K.; EMAM-DJOMEH, Z. Mechanical, physical, and bio-functional properties of biopolymer films based on gelatin as affected by enriching with orange peel powder. **Polymer Bulletin**, v. 78, p. 4387-4402, 2021.

KIELING, A.C., et al. Cadeia do tucumã comercializado em Manaus-AM. **Scientia Amazonia**, v.8, n. 2, p. B1-B9, 2019.

KIELING, A.C. et al. Development of an Epoxy Matrix Hybrid Compositivity with *Astrocaryum aculeatum* (Tucumã) Endocarp and Kaolin from the Amazonas State in Brazil. **Polymers**, v. 15, 2532, p. 15, 2023.

KOOSHA, M.; HAMED, S. Intelligent chitosan/PVA nanocomposite films containing black carrot anthocyanin and bentonite nanoclays with improved mechanical, thermal and antibacterial properties. **Progress in Organic Coatings**, v. 127, p. 338-347, 2019.

KUCHAIYAPHUM, P.; AMORNSAKCHAI, T.; CHOTICHAYAPONG, C.; SAENG SUWAN, N.; YORDSRI, V.; THANACHAYANONT, C., *et al.* Pineapple stem

starch-based films incorporated with pineapple leaf carbon dots as functional filler for active food packaging applications. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 282, 2024.

KUMAR, N.; DANILOSKI, D.; PRATIBHA; NEERAJ; D’CUNHA, N.M.; NAUMOVSKI, N. *et al.* Pomegranate peel extract – A natural bioactive addition to novel active edible packaging. **Food Research International**, v. 156, 2022.

KUREK, M.; GAROFULIC, I.E.; BAKIC, M.T.; SCETAR, M.; UZELAC, V.D.; GALIC, K. Development and evaluation of a novel antioxidant and pH indicator film based on chitosan and food waste sources of antioxidants. **Food Hydrocolloids**, v. 84, p. 238-246, 2018.

KHAN, A.; RIAHI, Z.; KIM, J.T.; RHIM, J.-W. Carboxymethyl cellulose/gelatin film incorporated with eggplant peel waste-derived carbon dots for active fruit packaging applications. **International Journal of Biological Macromolecule**, v. 271, n. 2, 2024.

KHRUNYK, Y.; LACH, S.; PETRENKO, I.; EHRLICH, H. Progress in modern marine biomaterials research. **Marine Drugs**, v. 18, n. 589, p. 1-47, 2020.

LALNUNTHARI, C., DEVI, L.M., AMAMI, E., BADWAIKA, L.S. Valorisation of pumpkin seeds and peels into biodegradable packaging films. **Food and Bioproducts Processing**, v. 118, p. 58–66, 2019.

LACOVONE, C.; GUZ, L.; FAMÁ, L. Sustainable innovations in food packaging: Antioxidant basil-enriched cassava starch films with UV protection and Enhanced water and mechanical resistance. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 45, 2024.

LEITÃO, Antônio Machado. **Caracterização morfológica e físico-química de frutos e sementes de *Astrocaryum aculeatum* Meyer (Arecaceae), de uma floresta secundária**. 2008. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Programa Integrado de Pós-Graduação em Biologia Tropical e Recursos Naturais, Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia (INPA)/Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Manaus, 2009.

LINDSTROM, T.; OSTERBERG, F. Evolution of biobased and nanotechnology packaging – a review. **Nordic Pulp & Paper Research Journal**, v. 35, n. 4, p. 491-515, 2020.

LIRA, C.S.; BERRUTI, F.M.; PALMISANO, P.; BERRUTI, F.; BRIENS, C.; PÉCORÁ, A.A.B. Fast pyrolysis of Amazon tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) seeds in a bubbling fluidized bed reactor. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 99, p. 23-31, 2013.

LUCHESE, C.L., URANGA, J., SPADA, J.C., TESSARO, J.C., LA CABA, K. Valorisation of blueberry waste and use of compression to manufacture sustainable starch films with enhanced properties. **International Journal of Biological Macromolecules**, 955–960, 2018.

LUCHESE, Cláudia Leites. **Desenvolvimento de embalagem biodegradável a partir de amido contendo subproduto provenientes do processamento de alimentos**. 2018. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2018.

MACHADO, A.P.F.; NASCIMENTO, R.P.; ALVEZ, M.R.; REGUENGO, L.M.; MAROSTICA, M.R. Brazilian tucumã-do-Amazonas (*Astrocaryum aculeatum*) and tucumã-do-Pará (*Astrocaryum vulgare*) fruits: bioactive composition, health benefits, and technological potential. **Revista Food Research International**, v. 151, p. 110902, 2022.

MAIA, G.C.H.M., et al. Effects of *Astrocaryum aculeatum* Meyer (Tucumã) on diet-induced dyslipidemic rats. **Journal of Nutrition and Metabolism**, p. 9.

MALAFATTI, J.O.D.; RUELLAS, T.M.O.; SCHILDT, L.F.L.; DOMINGUES, M.A.; MARINHO, B.S.; MEIRELLES, M.R. *et al.* Propriedades mecânicas de filmes de amido termoplástico na presença de ureia. **Embrapa Instrumentação**, p. 237-249, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1134436/propriedades-mecanicas-de-filmes-de-amido-termoplastico-na-presenca-de-ureia>. Acesso em: 26 jun. 2024.

MAQUART, P.O.; FROEHLICH, Y.; BOYER, S. Plastic pollution and infectious diseases. **The Lancet Planetary Health**, v. 6, n. 10, p. 842-845, 2022.

MATOS, K.A.N.; LIMA, D.P.; BARBOSA, A.P.P.; MERCADANTE, A.Z.; CHISTÉ, R.C. Peels of tucumã (*Astrocaryum vulgare*) and peach palm (*Bactris gasipaes*) are by-products classified as very high carotenoid sources. **Food Chemistry**, v. 272, p. 216-221, 2019.

MENDONÇA, I.M; PAES, O.A.R.L.; MAIA, P.J.S.; SOUZA, M.P.; ALMEIDA, R.A.; SILVA, C.C. *et al.* New heterogeneous catalyst for biodiesel production from waste tucumã peels (*Astrocaryum aculeatum* Meyer): parameters optimization study. **Renewable Energy**, v. 130, p. 103-110, 2019.

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

MEDINA-JARAMILLO, C.; SELIGRA, P.G.; GOYANES, S.; BERNAL, C.; FAMÁ, L. Biofilms based on cassava containing extracts of yerba mate as antioxidant and plasticizer. **Starch/Starke**, v. 67, p. 780-789, 2015.

MERZ, B.; CAPELLO, C.; LEANDRO, G. C.; MORITZ, D. E.; MONTEIRO, A. R.; VALENCIA, G. A. A novel colorimetric indicator film based on chitosan, polyvinyl alcohol and anthocyanins from jambolan (*Syzygium cumini*) fruit for monitoring shrimp freshness. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 153, p. 625–632, 2020.

MILLER, W.M.P; CRUZ, F.G.G.; CHAGAS, E.O.; SILVA, A.F.; ASSANTE, R.T. Farinha do resíduo de tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart.) na alimentação de poedeiras. **Rev. Acad. Ciênc. Agrár. Ambient.**, Curitiba, v. 11, p. 105-114, 2013.

MILLICAN, J.M.; AGARWAL, S. Plastic pollution:a material problem. **Macromolecules**, v. 54, p. 4455-4469, 2021.

MIR, S.A.; DAR, B.N.; WANI, A.A.; SHAH, M.A. Effect of plant extracts on the techno-functional properties of biodegradable packaging films. **Trends in Food Science & Technology**, v. 80, p. 141-154, 2018.

MIRANDA, P.H.S.; MORAIS, R.A.; SOUSA, H.M.S.; GUALBERTO, L.S.; FREITAS, B.C.B.; ASQUIERI, E.R. *et al.* Effects of Pectinase treatment on the optimization and Extraction of pigments from Bacupari, Tucumã and Peach Palm using response surface methodology. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 35, n. 2, p. 1-15, 2024.

MOUSSA, F.; KAHN, F. **Uso y potencial económico de dos palmas, *Astrocaryum aculeatum* Meyer y *A. vulgare* Martius, em la Amazonía brasileña.** Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement em Coopération (ORSTOM), Brasília DF, Brasil, 1997.

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

MÜLHAUPT, R. Green polymer chemistry and bio-based plastic: Dreams and reality. **Wiley**, v. 44, n. 2, 2012. Disponível em: <https://onlinelibrary-wiley-com.ez2.periodicos.capes.gov.br/doi/10.1002/macp.201200439>. Acesso em: 25 jun. 2024.

MUSHTAQ, M.; GANI, A.; GANI, A.; PUNOO, H.A.; MASOODI, F.A. Use of pomegranate pell extract incorporated zein film with improved properties for prolonged shelf life of fresh Himalayan cheese (Kalari/Kradi). **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 48, 2018.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Relatório da ONU aponta soluções para reduzir a poluição plástica.** 2023. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/231688-relat%C3%B3rio-da-onu-aponta-solu%C3%A7%C3%B5es-para-reduzir-polui%C3%A7%C3%A3o-pl%C3%A1stica>. Acesso em: 25 jun. 2024.

NAVAF, M.; SUNOOJ, K.V.; AALIYA, B.; AKHILA, P.P.; SUDHEESH, C.; MIR, S.A.; GEORGE, J. Impacto f metal and metal oxide nanoparticles on functional and antimicrobial activity of starch nanocomposite film. A review. **Measurement: Food**, v. 11, 2023.

NANDI, S.; GUHA, P.; Modelling the effect of guar gum on physical, optical, barrier and mechanical properties of potato starch composite film. **Carbohydrate Polymers**, v. 200, p. 498-507, 2018.

NASCIMENTO, L. Reação no estado sólido na amorfização da liga amorfa Co<sub>66</sub>Nb<sub>22</sub>B<sub>15</sub>. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológica**, v. 37, n. 2, p. 73-80, 2016.

OLIVEIRA, S.F.; MOURA NETO, J.P.; SILVA, K.E.R. Uma revisão sobre a morfoanatomia e as propriedades farmacológicas das espécies *Astrocaryum aculeatum* Meyer e *Astrocaryum vulgare* Mart. **Scientia Amazonia**, v. 7, n. 3, CS18-CS28, 2018.

OLIVEIRA, E.V.; LARANJEIRA, R.K.S.; YAMAGUCHI, K.K.L. Uso do tucumã (*Astrocaryum aculeatum* Meyer) em cosmético: caracterização química e elaboração de sabonetes artesanais. **Pesquisa e Ensino em Ciências Exatas e da Natureza**, 2023.

ONYEAKA, H.; OBILEKE, K.C.; MAKAKA, G.; NWOKOLO, N. Current Reseach and applications of starch-based biodegradable films for food packaging. **Polymers**, v. 14, n. 1126, 2022.

ORTEGA, F.; GIANNUZZI, L.; ARCE, V.B.; GARCÍA, M.A. Active composite starch films containing green synthesized silver nanoparticles. **Food Hydrocolloids**, v. 70, p. 152-162, 2017.

ORTEGA, J.L.; TAPIA, R.C.; MOLINA, L.C.; DELGADO, J.S.; CALERO, F.C.; TIPÁN, J.C. **Review of biomass and biopolymers synthesized in Ecuador**. 2024. Disponível em: [https://link-springer-com.ez2.periodicos.capes.gov.br/chapter/10.1007/978-3-031-52255-0\\_16](https://link-springer-com.ez2.periodicos.capes.gov.br/chapter/10.1007/978-3-031-52255-0_16). Acesso em: 01 Jul 2024. DOI: [https://doi-org.ez2.periodicos.capes.gov.br/10.1007/978-3-031-52255-0\\_16](https://doi-org.ez2.periodicos.capes.gov.br/10.1007/978-3-031-52255-0_16)

ORTIZ, S.P. Are bioplastics the solution to the plastic pollution problem? **PLoS Biol**, v. 21, n. 3, 2023.

PAIVA, D.L.; LAMPMAN, G.M.; KRIZ, G.S.; VYVYAN, J.R. **Introduction to spectroscopy**. 4. ed. USA: Brooks/Cole, 2009.

PAGANO, I.; CAMPONE, L.; CELANO, R.; PICCINELLI, A.L.; RASTRELLI, L. Green non-conventional techniques for the extraction of polyphenols from agricultural food by-product: A review. *Journal of Chromatography A*, v. 1651, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0021967321004192>. Acesso em: 28 de jan. 2025.

PAULSEN, E.; BARRIOS, S.; BAENAS, N.; MORENO, D. A.; HEINZEN, H.; LEMA, P. Effect of temperature on glucosinolate content and shelf life of ready-to-eat broccoli florets packaged in passive modified atmosphere. **Postharvest Biology and Technology**, v. 138, p. 125–133, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.01.006>

PEREIRA, Anderson Mathias. **Estudo do processo de craqueamento térmico catalítico do sebo bovino para produção de biocombustível**. 2017. 201 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Naturais) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2017.

PIZÓN, Diana Carolina Tusso. **Caracterização do gene PHA sintase de bactéria isoladas a partir de amostras de solo**. 2015. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Microbiologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2015.

RAMOS, Santiago Linorio Ferreyra. **Estrutura genética e fluxo gênico em populações naturais de tucumã-do-Amazonas por meio de microssatélites, visando o manejo e conservação da espécie**. 2014. TESE (Genética e Melhoramento e Plantas) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP, 2014

RAMOS, S.L.F., *et al.* Natural populations of *Astrocaryum aculeatum* Meyer in Amazonia: Genetic, Diversity, and Conservation. **Revista Plants**, v. 11, p. 2957, 2022.

RAMOS, S.L.F.; MACÊDO, J.L.V.; MARTINS, C.C.; LOPES, R.; LOPES, M.T.G. Tratamentos pré-germinativos e procedência de sementes do tucumã-do-amazonas para a produção de mudas. **Rev. Bras. Frutic**, v. 33, n. 3, p. 962-969, 2011.

RAMOS, S.L.F., *et al.* Spatial genetic structure, genetic diversity and pollen dispersal in a harvested population of *Atrocaryum aculeatum* in the Brazilian Amazon. **BMC Genetics**, 2016. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/142625/1/art-10.1186-s12863-016-0371-8.pdf>. Acessado em: 25 de jul de 2023.

RIAZ, A.; LEI, S.; AKHTAR, H.M.S.; WAN, P.; CHEN, D.; JABBAR, S. *et al.* Preparation and characterization of chitosan-based antimicrobial active food packaging film incorporated with apple peel polyphenols. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 114, 2018.

ROCHA, G.O.; FARIAS, M.G.; CARVALHO, C.W.P.; ASCHERI, J.L.R.; GALDEANO, M.C. Filmes compostos biodegradáveis a base de amido de mandioca e proteína de soja. **Polímeros**, v. 24, n. 5, p. 587-595, 2014.

RODRIGUES, F.A.M.; SANTOS, S.B.F.; LOPES, M.M.A.; GUIMARÃES, D.J.S.; SILVA, E.O.; SOUZA FILHO, M.S.M.; GUIMARÃES, D.J.S. *et al.* Antioxidants films and coatings based on starch and phenolics from *Spondias purpurea* L. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 182, p. 354-365, 2021.

ROSENBOOM, J.G.; LANGER, R.; TRAVERSO, G. Bioplastics for a circular economy. **Nature Reviews Materials**, v. 7, p. 117-137, 2022.

ROY, S.; RAMAKRISHNAN, R.; GOKSEN, G.; SINGH, S.; LOPUSIEWICZ, L. Recent progress on UV-light barrier food packaging films – a systematic review. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 91, 2024.

RUFINO, M.S.M.; ALVEZ, R.E.; BRITO, E.S.; MORAIS, S.M.; SAMPAIO, C.G.; PEREZ-JIMÉNEZ, J. *et al.* **Metodologia científica: Determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre DPPH**. Fortaleza: Embrapa, Comunicado Técnico 127, 2007.

SAGRILO, M.R.; GARCIA, L.F.M.; SOUZA, O.C.; DUARTE, M.M.M.F.; RIBEIRO, E.E.; CADONÁ, F.C. *et al.* Tucumã fruit extracts (*Atrocaryum aculeatum* Meyer) decrease cytotoxic effects of hydrogen peroxide on human lymphocytes. **Food Chemistry**, v. 173, p. 741-748, 2015.

SALES, P.F.; SILVA, Y.R.O.; LAPA, L.S.S; AMARAL, F.H.C. Caracterização e aplicação de filmes biodegradáveis de amido de milho incorporados com extrato de própolis-verde. **ForScience, Formiga**, v. 9, n. 2, 2021.

SANTANA, A.L.; ZANINI, J.A.; MACEDO, G.A. Dispersion-assisted extraction of guaraná processing wastes on the obtaining of polyphenols and alkaloids. **Journal of Food Process Engineering**, v. 43, 2020.

SANTHOSH, R.; AHMED, J.; THAKUR, R.; SARKAR, P. Starch-based edible packaging: rheological, thermal, mechanical, microstructural, and barrier properties – a review. **Sustainable Food Technology**, v. 2, p. 307-330, 2024.

SANTOS, M.F.G.; MAMEDE, R.V.S.; RUFINO, M.S.M.; BRITO, E.S.; ALVES, R.E. Amazonian native palm fruits as sources of antioxidant bioactive compounds. **Antioxidants**, v. 4, p. 591-602, 2015.

SANTOS, Luana Carolina Rocha Marinho dos. **Resíduos produzidos nas feiras abertas da cidade de Manaus como substrato para o cultivo e produção de lacase por *Pleurotus ostreatus***. 2016. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia e Recursos Naturais), Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia e Recursos Naturais da Amazônia da Universidade Federal do Amazonas/UEA. Manaus, 2016.

SANTOS, R.C.V.; SAGRILLO, M.R.; RIBEIRO, E.E.; CRUZ, I.B.M. The tucumã of Amazonas – *Astrocaryum aculeatum*. **Exotic Fruits**, p. 419-425, 2018.

SANCHEZ, M.A.J. El surgimiento de los bioplásticos: un estudio de nichos tecnológicos. **Acta Universitaria: Multidisciplinary Scientific Journal**, v. 30, p. 1-24, 2020.

SHIMAZU, A.; MALI, A.; GROSSMANN, M.V.E. Efeitos plastificante do glicerol e do sorbitol em filmes biodegradáveis de amido de mandioca. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 28, n. 1, p. 79-88, 2007.

SILVA, A.O.; CORTEZ-VEGA, W.R.; PRENTICE, C.; FONSECA, G.G. Development and characterization of biopolymer films based on bocaiuva (*Acromonia aculeata*) flour. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 155, p. 1157-1168, 2020.

SILVA, C. A degradação ambiental causada pelo descarte inadequado das embalagens plásticas: estudo de caso. **Revista do Centro do Ciências Naturais e Exatas - UFSM**, Santa Maria. 2013. <http://dx.doi.org/10.5902/223611708248>.

SILVA, M.B.; PEREZ, V.H.; PEREIRA, N.R.; SILVEIRA, T.C.; SILVA, N.R.F.; ANDRADE, C.M. *et al.* Drying kinetic of tucum fruits (*Astrocaryum aculeatum* Meyer): physicochemical and functional properties characterization. **J Food Sci Technol**, v. 55, n. 5, p. 1656-1666, 2018.

SILVA, A.F.; CRUZ, F.G.G.; RUFINO, J.P.F.; COSTA, V.R.; GUIMARÃES, C.C.; MELO, R.D. Substituição do milho pelo farelo de tucumã em rações para poedeiras comerciais leves. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente-RAMA**, v. 16, n. 2, 2021.

SILVA, A.J.B.; SEVALHO, E.S.; MIRANDA, I.P.A. Potencial das palmeiras nativas da Amazônia brasileira para a bioeconomia: análise em rede da produção científica e tecnológica. **Ciência Florestal**, v. 31, n. 2, p. 1020-1046, 2021.

SILVA, A.F.; CRUZ, F.G.G.; RUFINO, J.P.F.; COSTA, V.R.; GUIMARÃES, C.C.; MELO, R.D. Substituição do milho pelo farelo de Tucumã em rações para poedeiras comerciais leves. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 16, n. 2, 2023.

SILVA, L.J.S.; SCHNEIDER, S.; SANTOS, A.C; MENEGHETTI, G.A.; PINHEIRO J.O.C.; ALVES, R.B.S. A comercialização do tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) por extrativistas em comunidades ribeirinhas do Amazonas. **Sustainability in Debate**, v. 15, n. 2, p. 80-102, 2024.

SINGLETON, V.L.; ORTHOFER, R.; LAMUELA-RAVENTÓS, R.M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. **Methods in Enzymology**, Copyright, v. 299, p. 152-178, 1999.

SOUSA, J.V.L.C.; ALVES, J.C.; PIMENTEL, M.M.N.S.C.; ANDRADE, R.C.; FIGUEREDO, C.S.; VIANA, S.N.A. *et al.* Filmes biodegradáveis a base de amido – mapeamento tecnológico. **Brasilian Journal of Development**, v. 7, n. 9, p. 87635-87646, 2021.

SOUZA, C.D.R.; TEIXEIRA, M.M.; FERNANDES, S.R.L. Influência dos parâmetros na síntese do carvão ativado da casca do *Astrocaryum aculeatum* no processo de adsorção. **Revista Principia-Early**, v. 1, p. 11, 2022.

SOUZA, M.L.R.; NOGUEIRA, J.C.; FREITAS, A.D.G. Culture media evaluation on the *Leucoagaricus gongylophorus* and *Escovopsis* sp. fungi development. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 8, n. 3, 2021.

SOUZA FILHO, O.C.; SAGRILLO, M.R.; GARCIA, L.F.M.; MACHADO, A.K.; CADONÁ, F.; RIBEIRO, E.E. *et al.* The *in vitro* genotoxic effect of tucuma (*Astrocaryum aculeatum*) and Amazonian fruit rich in carotenoids. **Journal of Medicinal Food**, v. 16, n. 11, p. 1013-1021, 2013.

SOUSA, M.L.R.; ALBUQUERQUE, I.R.; MOURA, L.P.R.; ROCHA, B.S.; NOGUEIRA, J.C.; FREITAS, A.D.G. Estudo do potencial biotecnológico da casca de Tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) e *Turnera subulata* (flor do guarujá) *in natura* frente a isolados de bactérias patogênicas. **Revista Valore**, v. 8, e-8065, 2023.

SHAMS, R.; KAUR, S.; DASH, K.K.; CZIPA, N.; KOVÁCS, B.; SHAIKH, A.M. A review of emerging technologies for the extraction of bioactive compounds from berries (Phalsa berries). **Horticulturae**, v. 10, n. 455, 2024.

TERZIOGLU, P.; GUNEY, F.; PARIN, F.N.; SEN, I.; TUNA, S. Biowaste Orange peel incorporated chitosan-polyvinyl alcohol composite films for food packaging applications. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 30, 2021.

TORRES-ORTIZ, D.; GARCÍA-ALCOCER, G.; BERUMEN-SEGURA, L.C.; ESTÉVEZ, M. Green extraction of secondary metabolites from plants: Obstacles, status, and trends. **Sustainable Chemistry for the Environment**, v. 8, 2024.

TUMERKAN, E.T.A.; KOZACI, L.D.; MIRI, A.K.; MAHARJAN, S.; CECEN, B. Sustainable aquatic waste and by-products processing: Biomaterials in tissue engineering facts and gaps. **Materials Today Sustainability**, v. 23, 2023.

UBOMBA-JASWA, E.; KALEBAILA, N. Framing the plastic pollution problem within the water quality-health nexus: current understanding and policy recommendations. **Marine Plastic Debris: Commentary**, v. 116, n. 5/6, 2020.

VALENCIA, G. A.; LOURENÇO, R. V., BITTANTE, A. M. Q. B.; do Amaral Sobral, P. J. Physical and morphological properties of nanocomposite films based on gelatin and Laponite. **Applied Clay Science**, v. 124, p. 260–266, 2016.

VIANNA, S.A. 2020. **Flora e Funga do Brasil: *Astrocaryum aculeatum*** G. Mey. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/listaBrasil/ConsultaPublicaUC/>. Acesso em: 20 abr. 2023.

WANG, F.; XIE, C.; TANG, H.; HAO, W.; WU, J.; SUN, Y.; *et al.* Development, characterization and application of intelligent/active packaging of chitosan/chitin nanofibers films containing eggplant anthocyanins. **Food Hydrocolloids**, v. 139, 2023.

WU, H.; LEI, Y.; ZHU, R.; ZHAO, M.; LU, J.; XIAO, D. *et al.* Preparation and characterization of bioactive edible packaging films based on pomelo peel flours incorporating tea polyphenol. **Food Hydrocolloids**, v. 90, p. 41-49, 2019.

YAQOOB, N.; ZAHIRA, A.; KAMAL, S.; ALMAS, M.; REHMAN, S. Development of multifunctional bioactive food packaging based on silver nanoparticles/grape fruit peel extract reinforced PVA composites. **Materials Today Communications**, v. 37, 2023.

YATES, M.R.; BARLOW, C.Y. Life cycle assessment of biodegradable, commercial biopolymers – A critical review. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 78, p. 54-66, 2013.

YU, X. Bio-based polymers: A mini review. **ChemRxiv**, online, 2022. Disponível em: <https://chemrxiv.org/engage/chemrxiv/article-details/6256f9dc11b14670c52096e6>. Acesso em: 25 jun. 2024.

YUN, D.; WANG, Z.; LI, C.; CHEN, D.; LIU, J. Antioxidant and antimicrobial packaging films developed based on the peel powder of different citrus fruits: A comparative study. **Food Bioscience**, v. 51, 2023.

YUYAMA, L.K.O.; MAEDA, R.N.; PANTOJA, L.; AGUIAR, J.P.L.; MARINHO, H.A. Processamento e avaliação da vida-de-prateleira do tucumã (*Astrocaryum aculeatum* Meyer) desidratado e pulverizado. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 2, p. 408-412, 2008.