

OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE FILMES BIODEGRADÁVEIS A BASE DE AMIDO INCORPORADOS COM ÓLEO ESSENCIAL DE ARAÇÁ-ROXO

Lemuel Miqueias Alves da Silva¹

Jáliston Júlio Lopes Alves²

Cássia Cristina Fernandes³

RESUMO

Eficiência e sustentabilidade são termos primordiais na produção de alimentos. Este trabalho então visa desenvolver filmes biodegradáveis à base de amido de mandioca incorporado com óleo essencial de araçá-roxo (*Psidium myrtoides* O. Berg). O objetivo é analisar as características físico-químicas do óleo essencial e incorporá-lo em filmes biodegradáveis para combater microrganismos fitopatogênicos e retardar a oxidação causada por espécies reativas de oxigênio (EROs), prolongando a vida útil de alimentos. O amido de mandioca foi escolhido pela sua capacidade filmogênica e o óleo essencial de araçá-roxo como aditivo por suas propriedades biológicas e antioxidantes. Os resultados mostraram que o óleo essencial inibiu o crescimento micelial de fungos em cerca de 40% e os atributos antioxidantes atingiram 80% na absorção do radical DPPH. A análise cromatográfica revelou os compostos terpênicos encontrados e responsáveis por tais efeitos sendo o *trans*-cariofileno e o α -humuleno. O filme mostrou-se biodegradável, se decompondo cerca até 65% em 72h de contato com solo e 24h em água, reforçando sua sustentabilidade.

Palavras-chave: Polímeros, sustentabilidade, Óleos voláteis, Indústria alimentícia, Alimentos seguros.

ABSTRACT

Efficiency and sustainability are key terms in food production. This work aims to develop biodegradable films based on cassava starch incorporated with the essential oil of araçá-roxo (*Psidium myrtoides* O. Berg). The objective is to analyze the physicochemical characteristics of the essential oil and incorporate it into biodegradable films to combat phytopathogenic microorganisms and retard oxidation caused by reactive oxygen species (ROS), thereby prolonging the shelf life of food. Cassava starch was chosen for its film-forming ability, and the essential oil of araçá-roxo was selected as an additive for its biological and antioxidant properties. The results showed that the essential oil inhibited fungal mycelial growth by approximately 40%, and the antioxidant attributes reached 80% in DPPH radical absorption. Chromatographic analysis revealed the terpenic compounds responsible for these effects, namely *trans*-caryophyllene and α -humulene. The film demonstrated biodegradability, decomposing by about 65% in 72 hours of soil contact and 24 hours in water, reinforcing its sustainability.

Keywords: Polymers, Sustainability, Volatile Oils, Food Industry, Safe Food.

1 INTRODUÇÃO

A busca pelo desenvolvimento de materiais poliméricos como uma alternativa ecológica que substitua plásticos sintéticos que

vem de fonte não renovável e com uma taxa de degradabilidade limitada, apresenta uma grande questão a ser resolvida para garantir a preservação ambiental e atender as necessidades

¹ Graduando em Engenharia Química – Discente do Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, GO, Brasil

*E-mail para contato: lemuelmas@gmail.com

² Doutor em Ciências Agrárias pelo Instituto Federal Goiano, Brasil – Pesquisador do Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, GO, Brasil

³ Doutorado em Química Orgânica pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil – Professora do Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, GO, Brasil

das indústrias que necessitam de plástico, como a alimentícia em que as embalagens são essenciais (FRIEDRICHSEN et al., 2022).

As embalagens desenvolvem um papel fundamental na preservação dos alimentos, atuando como uma barreira de proteção contra reações químicas e contaminação por microrganismos, prevenindo também a perda de propriedades, como a umidade, dessa forma diversas embalagens ativas estão sendo desenvolvidas globalmente, destacando-se os filmes de revestimento, assim como os sachês antimicrobianos e antioxidantes (BITTENCOURT et al., 2020).

Uma alternativa para viável que cumpre com a necessidade de biodegradabilidade contribuindo para a preservação ambiental e que preza pela preservação física, química e qualitativa do produto, confeccionada a partir de uma matéria-prima com capacidade filmogênica, resistente e flexível após o tratamento plastificante são os filmes a base de amido de mandioca (ALTMANN et al., 2018).

Essas embalagens primárias produzidas podem ser incorporadas com outros produtos ativos que intensifiquem suas propriedades de proteção antimicrobiana e antioxidante, liberando substâncias com essas características em contato do alimento, sendo os óleos essenciais uma alternativa para essa ação (CARNEIRO et al., 2020).

Óleos essenciais (OEs) são substâncias orgânicas extraídas de diversas partes das

plantas, definidos de forma geral como misturas complexas de compostos voláteis lipofílicos, comumente em estado líquido e odoríferos com diversas características e aplicações nas indústrias de alimentos, cosméticos, saúde e farmácia, por sua aromaticidade até atividades antipútridas, apresenta vantagens sustentáveis e viabilidade.

O araçá-roxo (*Psidium myrtoides* O. Berg), apresenta bom rendimento desses óleos voláteis, é uma importante árvore frutífera que faz parte da família Myrtaceae e pertencente ao domínio do cerrado, vem sendo alvo de estudos pois possui componentes que potencialmente atuam na inibição de patógenos como o *Rhizopus stolonifer* causador de uma das principais doenças que afetam a pós colheita de frutos reduzindo a produtividade, prejudicando o desenvolvimento econômico da comercialização do fruto e aumenta a demanda pelo desenvolvimento de medidas de controle (OLICÓN-HERNÁNDEZ et al., 2019).

Com base no exposto, esse trabalho tem como objetivo investigar o potencial das embalagens biodegradáveis derivadas de amido, particularmente de fontes de mandioca, como uma alternativa para a substituição de materiais plásticos de origem fóssil, caracterizando o óleo essencial como aditivo e os filmes produzidos.

2 MATERIAIS E METODOS

2.1 EXTRAÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL

O óleo volátil foi extraído das folhas do araçá-roxo colhidas no mês de janeiro em locais de cerrado preservado de Rio Verde – GO (17° 48' 22.04" S, 50° 54' 0.52" O), a matéria-prima foi higienizada e seca em estufa Thoth Th-510-480 com circulação forçada de ar a 35°C por 24 horas, em seguida reduzida em moinho de facas Fortinox Star FT 51, extraíndo assim o óleo essencial por meio de arraste a vapor com o uso do aparelho Clevenger conforme metodologia adaptada da Farmacopéia (2000), separou-se a mistura obtida no funil de separação com lavagens de diclorometano, secos com sulfato de sódio anidro e guardados em frascos isolados em refrigeração.

2.1.1 Caracterização do óleo essencial

2.1.1.1 Cromatografia gasosa

A composição química foi identificada por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-EM) utilizando o modelo QP-2010 da marca Shimadzu Co. A separação dos componentes ocorreu em uma coluna DB5 com gás hélio como fase móvel. O programa de temperatura começou em 80°C, mantidos por 2 minutos, seguida de um aumento de 10°C/min até atingir 280°C, sendo essa temperatura mantida por 5 minutos antes do resfriamento. O aquecedor auxiliar foi mantido a 280°C. Os constituintes do óleo essencial foram identificados e quantificados comparando seus tempos de retenção e espectros de fragmentação de massa com os padrões

armazenados nos bancos de dados do espectrômetro (NIST05.LIB e NIST05s.LIB) e com dados presentes na literatura (GONÇALVES, 2019).

2.1.1.2 Avaliação de citotoxicidade

A avaliação da citotoxicidade foi realizada através do ensaio colorimétrico da resazurina segundo Riss et al. (2016). Para conduzir os experimentos, 1×10^4 células foram semeadas em microplacas com 96 poços. As amostras foram inicialmente dissolvidas em dimetilsulfóxido (DMSO; Sigma-Aldrich) e depois diluídas em meio completo. Para avaliação na linhagem celular não tumoral, a concentração do óleo essencial de araçá-roxo variou de 19,53 a 2.500 $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$. Para avaliação do potencial citotóxico em linhagens de células tumorais, a amostra foi testada em concentração entre 0,78 e 100 $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$. Cada placa incluía poços para controles negativos (não tratados), solvente (1% DMSO) e positivos (25% DMSO). Após um período de incubação de 24 horas a 36,5°C, o meio de cultura foi aspirado e as células foram lavadas com PBS (Solução Salina Tamponada com Fosfato) para remover os tratamentos antes de serem expostas a 80 μL de meio de cultura Ham's Nutrient Mixture F10 (HAM-F10) sem fenol vermelho (Sigma-Aldrich). Posteriormente, 20 μL de resazurina (0,15 mg/mL) foram adicionados a cada poço, seguido de nova incubação a 36,5°C por 4 horas. A absorbância das amostras foi medida

utilizando um leitor multiplacas (ELISA - Asys - UVM 340/MikroWin 2000) no comprimento de onda de 570 nm com comprimento de onda de referência de 600 nm. A análise de regressão não linear foi realizada utilizando o software GraphPad Prism para determinar a concentração de amostras que inibem 50% da viabilidade celular (IC₅₀, metade da concentração inibitória máxima).

2.1.1.3 Atividade antioxidante

A propriedade antioxidante foi medida através da extinção do radical 2,2-difenil-1-picril hidrazil (DPPH) em 515nm através de um espectrofotômetro BEL UV-M51 de acordo com a metodologia adaptada de Rufino et al. (2007). A confecção de uma curva padrão de DPPH realizada com uma diluição seriada da solução estoque de 100 µL.mL⁻¹. Em metanol adicionou-se amostras do óleo essencial em triplicatas nas concentrações de 100; 50; 25; 12,5 e 6,25 µL.mL⁻¹. Acrescentando a solução metanólica 0,06 mM de DPPH na proporção 1:1; repousando por 30 minutos em local escuro realizando a medição da absorbância do DPPH com agitações periódicas da amostra, expressando o resultado em porcentagem pela fórmula:

$$\text{Inibição do radical DPPH(\%)} = 1 - \frac{\text{Absorbância controle}}{\text{Absorbância tratamento}} * 100$$

Equação 1

2.1.1.4 Atividade antifúngica contra o *Rhizopus stolonifer*

A atividade antifúngica foi avaliada através do método de disco difusão em ágar. O OE foi diluído em água e tween 80 nas concentrações de 150, 75, 37,5 e 18,75 µL.mL⁻¹ e espalhado 250 µL da solução sobre a superfície do meio BDA em placas de Petri. Discos de 8mm contendo o fungo foi depositado no centro das placas e armazenados por 7 dias em câmara BOD a 21°C. Após a colônia fúngica ocupar toda a placa controle foi feito a aferição do halo de crescimento dos fungos nas concentrações de OE testados. Foram realizadas duas medições perpendiculares por toda extensão da colônia. Os testes foram realizados em quintuplicata conforme metodologia utilizada por Garcia et al. (2012). Os resultados foram expressos em porcentagem pela inibição do crescimento micelial (ICM) através da fórmula:

$$\text{ICM(\%)} = \frac{(\text{crescimento controle} - \text{crescimento tratamento})}{\text{crescimento controle}} * 100$$

Equação 2

2.2 PRODUÇÃO DOS FILMES

Foi realizada a diluição do amido de mandioca comercial (3%) em água destilada (p/v), acrescentando 30% de glicerol (p/p) em banho-maria para promover a gelatinização do amido em aproximadamente 70°C mantida por 10 minutos em agitador magnético. Submeteu então a mistura ao processo de resfriamento para se alcançar a temperatura de 40°C onde se incorporou-se o óleo essencial previamente obtido, com as proporções de 0,06 %, 0,125 % e 0,25% e 0,5 % (v/v) juntamente com o

emulsificante na mesma proporção para auxiliar na dispersão sendo agitados por 3 minutos no agitador magnético.

Verteu-se então a solução obtida em placas de Petry buscando uma espessura homogênea, em seguida as placas serão colocadas em uma estufa de circulação forçada

de ar a temperatura de 40°C por 24 horas, retirando da placa e colocando em outro recipiente lacrado e armazenando os filmes biodegradáveis a 4°C todo processo de acordo com a metodologia adaptada de Ghasemlou et al. (2013).

Tabela 1. Concentrações dos componentes dos Filmes Biodegradáveis a base de amido incorporados com óleo essencial de arará-roxo

Tratamento	Água destilada	Amido	Glicerol	Solução Emulsificante	Óleo Essencial
FAR-0	94%	3%	1%	2,00%	0,00%
FAR-0.0625	94%	3%	1%	1,94%	0,06%
FAR-0.125	94%	3%	1%	1,88%	0,12%
FAR-0.250	94%	3%	1%	1,75%	0,25%
FAR-0.500	94%	3%	1%	1,50%	0,50%

2.2.1 Caracterização dos filmes

2.2.1.1 Umidade

A umidade foi determinada conforme Turquett et al. (2021), cortou-se amostras em triplicatas de 2x2 cm de cada filme pesando em balança analítica as acondicionando por 24h a 105°C em uma estufa de circulação forçada de ar. Após o tempo determinado realizou -se a pesagem do material seco e jogadas na seguinte formula:

$$\text{Porcentagem de Umidade} = \frac{\text{massa inicial} - \text{massa final}}{\text{massa inicial}} * 100$$

Equação 3

2.2.1.2 Solubilidade em água

Cortando discos de 4 cm² conforme metodologia de Lucena *et al.*, (2017) fez-se a secagem do material em estufa a 105°C por 24 horas pesando

então as amostras e imergindo em água destilada e agitando em temperatura ambiente na mesa agitadora SL – 18/DT da marca Solab. Em seguida as amostras foram filtradas em n filtro (verificar especificações do filtro) e secas novamente a 105°C determinando assim a massa da matéria seca que não solubilizou em água. A solubilidade em água foi determinada pela equação:

$$\text{Solubilidade em água} = \frac{\text{massa inicial} - \text{massa final}}{\text{massa inicial}} * 100$$

Equação 4

2.2.1.3 Biodegradabilidade

O ensaio de avaliação da biodegradabilidade foi conduzido utilizando solo coletado no município de Rio Verde – GO (17° 48' 18,66" S, 50° 54'

22,20" O) e consistiu em uma mistura de areia, terra e esterco. Os filmes de dimensão 2x2 cm foram devidamente identificados e colocados em béqueres de 250 mL contendo 200 g de solo seguindo uma adaptação do método de Mello et al. 2007. O solo utilizado. Estes foram posicionados a uma profundidade de 3 cm abaixo da superfície do solo, em uma câmara de B.O.D., mantida a uma temperatura de 30 °C e umidade relativa de 99%, garantindo assim a constância da umidade do solo. O experimento foi conduzido em triplicata e os filmes foram avaliados no intervalo de 72 horas, essa avaliação foi realizada com removidos utilizando um pincel para minimizar a presença de resíduos de solo e foram fotografados para posterior análise da área com o programa ImageJ.

2.2.1.4 Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)

A espectroscopia na região do infravermelho com Transformada de Fourier e reflectância difusa atenuada (FTIR) foi empregada para identificar os grupos funcionais presentes tanto no óleo essencial quanto nos filmes biodegradáveis sintetizados. Para isso, as amostras foram preparadas nos moldes e analisadas utilizando um espectrofotômetro de infravermelho. As análises foram realizadas dentro de uma faixa espectral variando de 4000 a 400 cm^{-1} , com uma resolução de quatro cm^{-1} e 32 varreduras.

2.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise estatística compreendeu a observação do desvio padrão das médias das triplicatas, essa foi através da análise de variância (ANOVA), pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$), ambos no software Origin 2024.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 ANÁLISE DO ÓLEO ESSENCIAL

3.1.1 Cromatografia Gasosa

Os componentes identificados em maior concentração foram os hidrocarbonetos sesquiterpênicos, descrito como compostos de grande interesse para a pesquisa da química de produtos naturais devidos suas atividades biológicas uteis para o ser humano e sua diversidade estrutural (CHAPPELL et al., 2010). Desse grupo destacou-se o transcariofileno e o α -humuleno ambos popularmente encontrados em óleos essenciais de diferentes espécies e descritos na literatura com características anti-inflamatórias, antioxidantes e antimicrobianas como anteriormente já relatados, esses são de grande interesse médico e farmacêutico por ser encontrado em produtos naturais e apresentarem essas propriedades, levando ao desenvolvimento de novos produtos tanto para uso de tratamento animal quanto vegetal (SANTANA et al., 2024).

Tabela 2. Composição química do óleo essencial de araçá-roxo

Compound	RT (min)	%RA	RI _{exp}	RI _{lit}
(<i>E</i>)-3-hexen-1-ol	4.79	0.7	743	748
α -pinene	6.13	1.7	941	939
β -pinene	7.11	0.1	985	980
β -myrcene	7.39	0.1	997	991
limonene	8.47	0.2	1027	1031
<i>cis</i> - β -ocimene	8.72	0.1	1041	1039
linalool oxide trans	10.40	0.1	1089	1088
<i>cis</i> - β -terpineol	10.77	0.3	1142	1144
terpinene-4-ol	13.64	0.1	1180	1177
α -terpineol	14.17	0.2	1192	1189
α -cubebene	21.67	8.4	1348	1351
<i>trans</i> -caryophyllene	23.60	18.6	1424	1428
α -himachalene	24.12	3.9	1446	1447
α -humulene	24.91	17.6	1455	1455
γ -muurolene	25.62	1.8	1476	1477
β -selinene	25.98	2.0	1483	1485
β -bisabolene	26.94	5.8	1514	1509
δ -cadinene	27.54	3.7	1524	1524
selina-3.7(11)-diene	28.15	2.9	1538	1532
germacrene B	28.71	3.2	1640	1560
nerolidol	29.01	1.9	1670	1564
Caryophyllene oxide	29.69	4.4	1739	1581
Veridiflorol	30.36	0.5	1527	1590
humulene oxide II	30.62	2.0	1553	1608
Cubenol	31.32	3.4	1623	1641
α -Cadinol	32.27	4.6	1718	1653
5-isocedranol	32.87	2.3	1778	1674
α -bisabolol	33.44	6.0	1853	1683
Juniper camphor	33.77	0.8	1868	1691
Monoterpene hydrocarbons		2.2		
Oxygenated monoterpenes		0.7		
Sesquiterpene hydrocarbons		68.9		
Oxygenated sesquiterpenes		25.9		
Others		0.7		
Not identified		1.6		

3.1.2 Avaliação de Citotoxicidade

Tabela 3. Análise de Citotoxicidade contra diferentes células humanas.

	IC ₅₀ (µg.mL ⁻¹)			
	GM07492A	HeLa	MCF-7	U-251MG
Óleo Essencial Araçá-roxo	59.71 ± 3.35	> 100	> 100	> 100

GM07492A - Human Fibroblast; **HeLa** - Human Cervical Adenocarcinoma; **MCF-7** - Human Breast Adenocarcinoma; **U-251MG** - Human Glioblastoma

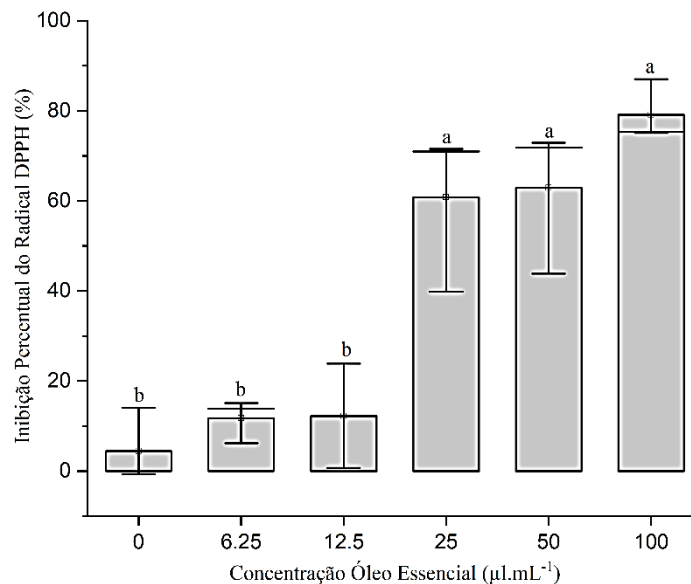
A análise do efeito do óleo essencial nas células humanas fibroblastos por volta da concentração de 60 µg.mL⁻¹ ocorreu a inviabilização de 50% das células, o que demonstra uma citotoxicidade aparente contra células humanas, podendo ser um desafio no uso desse composto para o desenvolvimento de produtos farmacêuticos para uso humano, já de outra forma o teste conta células cancerígenas não obteve uma inibição satisfatória, demonstrando a necessidade de implemente de

novos compostos ao óleo essencial ou novos testes e pesquisas para o uso com o fim de inviabilização do câncer humano (YAMAGUCHI et al., 2013).

3.1.3 Atividade Antioxidante

Ao determinar a concentração necessária para reduzir pela metade a atividade oxidante padrão (EC₅₀), obteve-se um valor de 15,01 µL.mL⁻¹. Este valor é comparável ao de outras fontes de compostos antioxidantes, apresentando similaridade com plantas reconhecidas por sua atividade inibitória de radicais livres, como *O. vulgare*, que possui um valor médio de EC₅₀ de 14,00 µL.mL⁻¹ (Silva et al., 2021). De acordo com a literatura, esta atividade antioxidante é atribuída aos compostos fenólicos identificados como o α-humulene que apresenta grandes propriedades antioxidantes, acrescentados de propriedades anti-inflamatórias, antimicrobianas e até mesmo anticâncer (LEITE et al., 2021).

Figura 1. Inibição do Radical DPPH avaliado em relação à diferentes concentrações de óleo essencial de araçá-roxo.

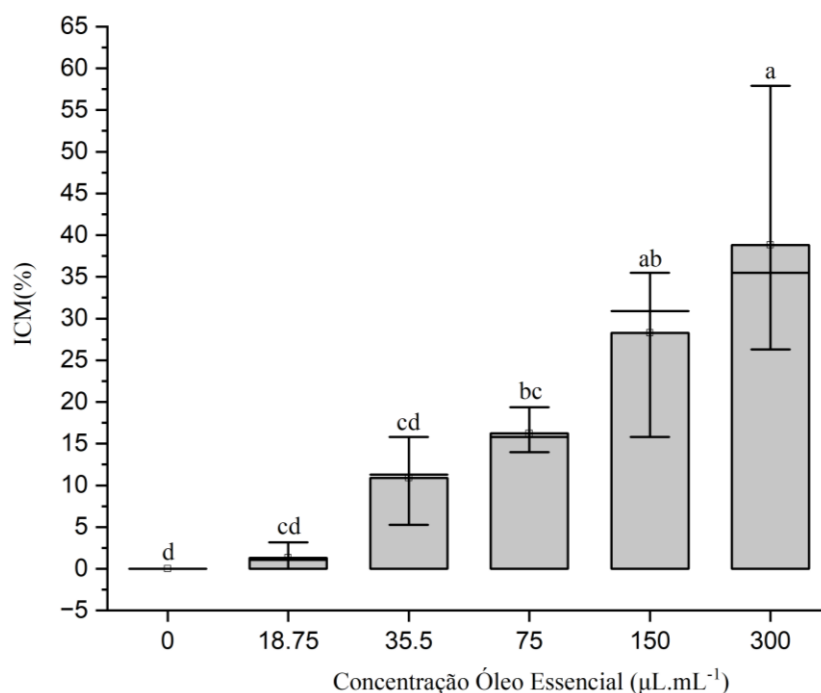


3.1.4 Atividade Antifúngica Contra o *Rhizopus stolonifer*

A inibição do crescimento micelial alcançado com a concentração de 300 $\mu\text{L.mL}^{-1}$ foi de 39%, com concentração de 250 $\mu\text{L.mL}^{-1}$ Santos et al. 2017 com óleos essenciais de *E. fruticosa*, *G. platanifolia* e *M. martiusii* obteve a inibição do crescimento de 28,6; 13,9 e 13,9 respectivamente e com o fungicida químico comercial Iprodiona em uma concentração 8 vezes maior obteve-se a inibição de 58,3% do crescimento do *Rhizopus stolonifer*, indicando dessa forma o potencial antifúngico do óleo essencial extraído das folhas do arará-roxo, onde a concentração de 150 $\mu\text{L.mL}^{-1}$

estatisticamente apresenta a melhor inibição percentual a ser usada contra o fungo analisado, isso pois na análise estatística empregada pelo teste de Tukey identificou-se quais as medias de grupos são significativamente diferentes entre si, as letras iguais denotam a ausência de diferença significativa entre as concentrações. Essa é justificada pela presença de terpenos na composição química do óleo volátil, esses compostos apresentam características lipofílicas que pode provocam rompimento nas membranas das células fúngicas impedindo a multiplicação das mesmas levando a morte (FERRÃO et al.,2020).

Figura 2. Inibição do crescimento micelial avaliado em relação à diferentes concentrações de óleo essencial de arará-roxo.



3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES

3.2.1 Umidade e Solubilidade em Água

Tabela 4. Percentual de umidade dos filmes incorporados com diferentes concentrações de óleo essencial de araçá-roxo.

Tratamento	Umidade (%)	Solubilidade em Água (%)
FAR-0	15,75 ± 1,30 ^a	55,75 ± 22,91 ^b
FAR-0.0625	15,04 ± 0,67 ^a	60,17 ± 30,29 ^b
FAR-0.125	15,76 ± 0,62 ^a	56,29 ± 18,04 ^b
FAR-0.250	15,09 ± 0,82 ^a	33,57 ± 2,43 ^b
FAR-0.500	16,19 ± 0,84 ^a	39,19 ± 3,64 ^b

* Médias seguidas pela mesma letra (a e b) não diferem estatisticamente entre si (p<0,05).

A análise retornou que a concentração de óleo essencial não exerceu papel significativa na umidade e solubilidade em água dos filmes biodegradáveis. Valores similares foram encontrados por Lima et al. 2021 onde a umidade encontrada foi de 19,17 ± 2,99%, esse valor diz a respeito da concentração de amido utilizada e a sua fonte. Há solubilidade em água seguiu o mesmo padrão dos autores com 48,93 ± 7,20%, o que pode indicar fatores de aplicação dos filmes biodegradáveis para embalagens de alimentos, permitindo as trocas gasosas essenciais e evitando a perda de umidade de vegetais.

3.2.3 Biodegradabilidade

Tabela 5. Área biodegradada dos filmes incorporados com óleos essenciais enterrados no solo úmido após o período de 72h.

Tratamento	Área (cm ²)
FAR-0	1,03 ± 0,22 ^a
FAR-0.0625	1,71 ± 0,61 ^a
FAR-0.125	1,41 ± 0,18 ^a
FAR-0.250	1,76 ± 0,58 ^a
FAR-0.500	1,96 ± 0,45 ^a

* Médias seguidas pela mesma letra (a) não diferem estatisticamente entre si (p<0,05)

A concentração de óleo essencial incorporada nos filmes biodegradáveis não tem impacto significativo na biodegradabilidade dos filmes a base de amido, onde no período de 72h cerca de 60% dos filmes foram degradados em contato com o solo demonstrando uma velocidade acelerada da reação do processo devido a vulnerabilidade da estrutura polimérica, com relação direta a umidade do filme e do substrato (LIMA et al., 2021). Lima et al. (2021) chegou à degradação de 65% em 288h e ao comparar com os plásticos comerciais de polipropileno permaneceu intacto, dando embasamento para estudos e testes em que os filmes a base de amido possam substituir embalagens de alimentos e serem descartadas no solo pois são absorvidas sem causar danos ambientais (Figuras 3 e 4).

Figura 3. Amostras de 4cm² de filmes incorporados com óleos essenciais depositados sobre solo.

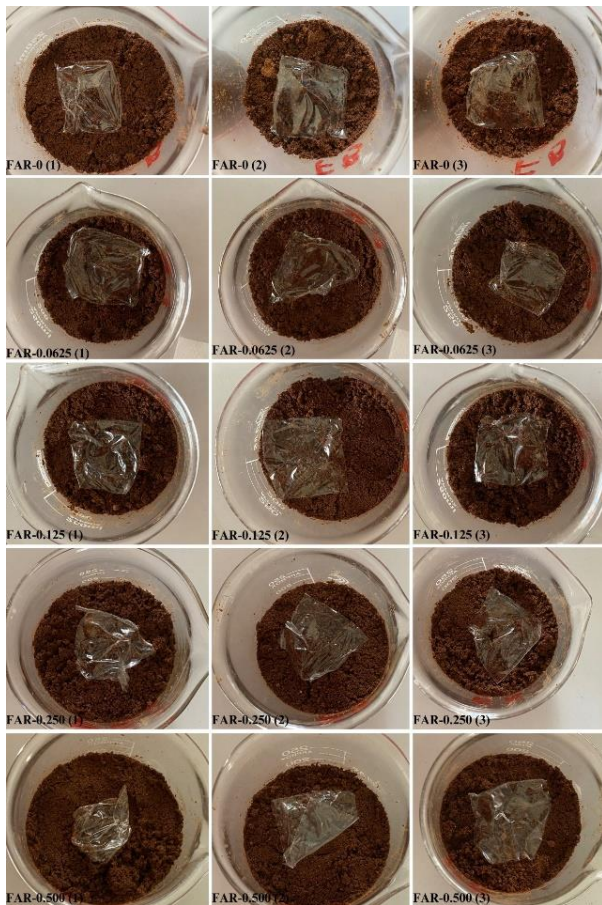
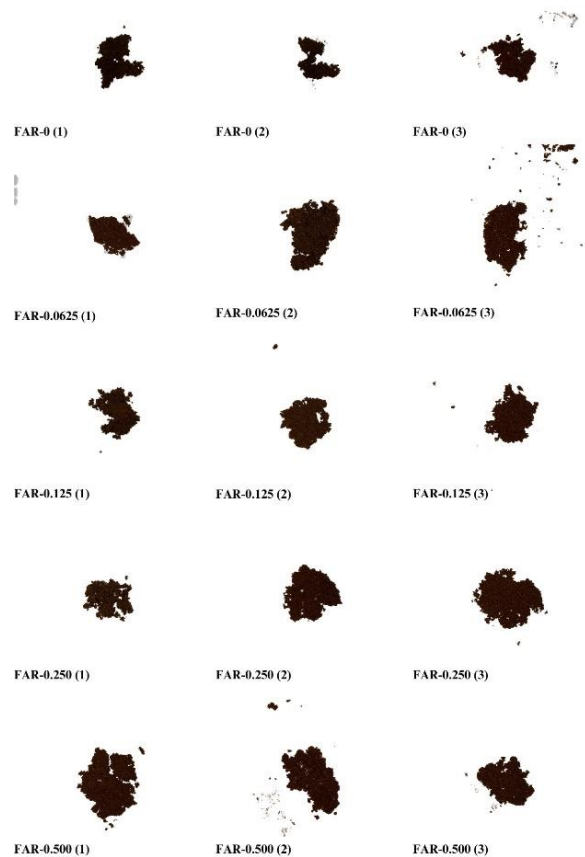


Figura 4. Amostras de filmes a base de amido retirados do solo depois do período de 72h



3.2.4 Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)

Em todos os filmes biodegradáveis examinados observou-se um padrão de similaridade nos espectros obtidos na faixa do Infravermelho Médio, com distinções apresentadas na amplitude das bandas e nos picos característicos dos materiais formados pelos componentes e diferentes concentrações de óleo essencial de arcaçá-roxo. O espectro infravermelho médio descrito do amido o pico no comprimento de onda 850 cm⁻¹, correspondente à conformação α da unidade de

D-glicose; 3000-3660 cm⁻¹, relacionado aos grupos-OH presentes na unidade glicosídica; 2928 cm⁻¹, atribuído à deformação axial das ligações C-H do anel; e 900-1160 cm⁻¹, associado às deformações axiais do sistema C-O-C e das ligações C-O em álcoois (AMARAL et al., 2016). Essas características podem ser observadas sendo amplificadas na intensidade da transmitância pelo perfil cromatográfico do óleo essencial, os terpenos são responsáveis por atribuir essas propriedades químicas dos álcoois, hidrocarbonetos e fenóis, evidenciando a emulsificação do óleo essencial no filme

biodegradável, não sendo evaporado durante a síntese, indicando a que o material pode ser empregado em embalagens de produtos

alimentícios com fins de preservação (LAPA et al., 2020).

Figura 5. Espectro de absorção na região do infravermelho (FTIR) do óleo essencial de araçá-roxo.

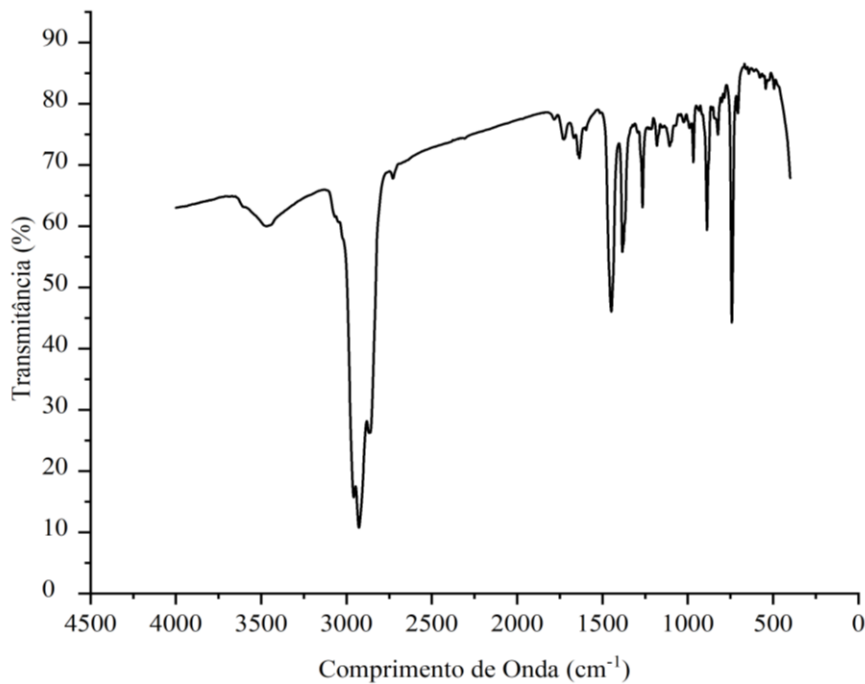
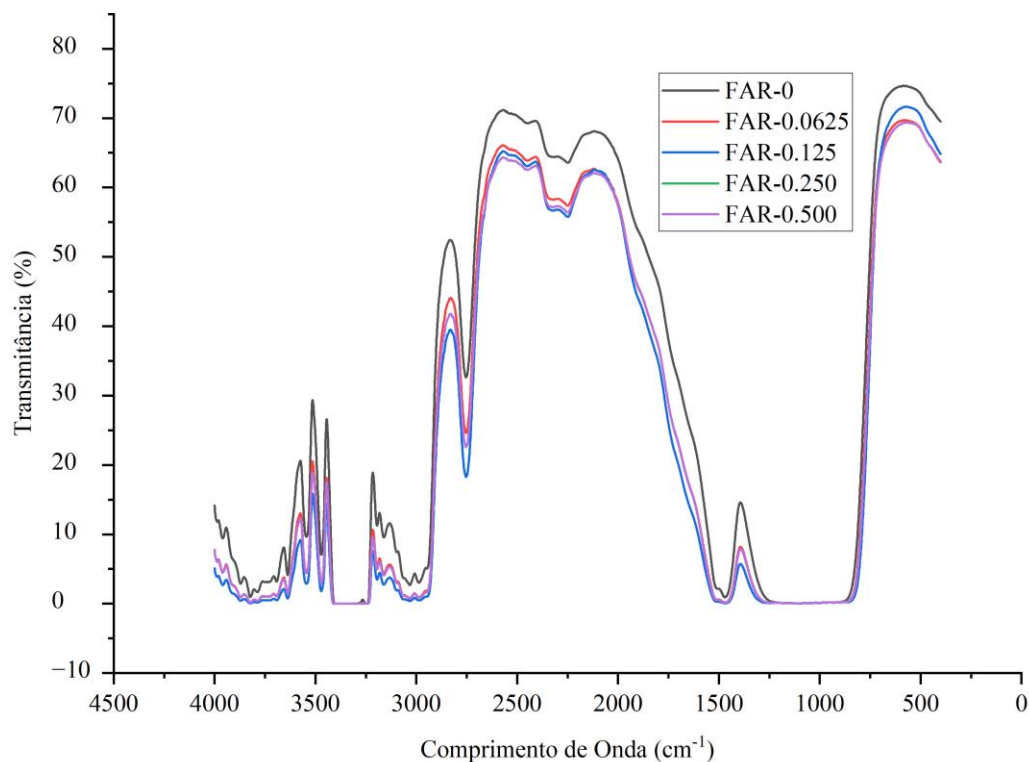


Figura 6. Espectro de absorção na região do infravermelho (FTIR) dos filmes biodegradáveis de amido incorporados ao óleo essencial de araçá-roxo



4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A viabilidade de desenvolver filmes biodegradáveis utilizando amido de mandioca incorporado óleo essencial de araçá-roxo (*Psidium myrtilloides*) é evidenciada com o potencial desses materiais na produção sustentável de embalagens para uso em alimentos. As análises físico-químicas do óleo essencial confirmaram suas propriedades antimicrobianas, onde a concentração de 150 $\mu\text{L.mL}^{-1}$ demonstrou ser a melhor concentração inibitória ao crescimento fúngico e 25 $\mu\text{L.mL}^{-1}$ foi a mais eficaz contra os agentes oxidantes, isso devido a presença de terpenoides como componentes, com as análises do filme fabricado obteve-se a confirmação da incorporação do composto ativo ao mesmo que também demonstrou biodegradabilidade em solo e água. Recomenda-se futuras investigações podem ampliar esses resultados, explorando diferentes combinações de biopolímeros e aditivos naturais, bem como avaliando a aplicabilidade em diferentes contextos industriais.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALTMANN, I., ATZ, N. R., ROSA, S. M. L. Desenvolvimento e caracterização de filmes biodegradáveis obtidos a partir de amido de milho: uma proposta experimental de produção de biofilmes em sala de aula, **Química Nova na Escola**, v. 40, n. 1, p. 53–58, 2018.
- AMARAL, L. J. D et al. Obtenção de amidos termoplásticos para a extrusão de pós cerâmicos. **Polimeros**, v. 26, p. 60–67, 2016.
- BITTENCOURT, V. R. et al. Embalagens Ativas Como Novas Abordagens Sustentáveis E Ambientalmente Corretas: Uma Revisão Da Literatura. **Avanços em Ciência e Tecnologia de Alimentos - Volume 2**, p. 217–232, 2020.
- CARNEIRO, J. E. et al. Atividade Antimicrobiana E Propriedades Físicas De Filmes Biodegradáveis Incorporados Com Cafeína E Ácido Acético. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 60252–60262, 2020.
- CHAPPELL, J., COATES, R. M. Sesquiterpenes. **Comprehensive Natural Products II**, Elsevier, 2010. v. 1. p. 609–641, 2010.
- DE LUCENA, C.A.A. et al. Desenvolvimento de biofilmes à base de xilana e xilana/gelatina para produção de embalagens biodegradáveis. **Polimeros**, v. 27, p. 35–41, 2017.
- FARMACOPÉIA BRASILEIRA. 4. ed. parte II. São Paulo: Atheneu, 2000.
- FERRÃO, S. K. et al. Atividade antifúngica de óleos essenciais frente a *Candida spp.* **Brazilian Journal of Health Review**, v. 3, n. 1, p. 100–113, 2020.
- FRIEDRICHSEN, J. S. A. et al. O uso de amido como proposta para embalagens biodegradáveis – Uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 14, 2022.
- GARCIA, R.A et al. Atividade antifúngica de óleo e extratos vegetais sobre *Sclerotinia sclerotiorum*. **Original Article Biosci. J**, v. 28, n. 1, p. 48-57, 2012.
- GHASEMLOU, M., et al. Physical, mechanical and barrier properties of corn starch films incorporated with plant essential oils. **Carbohydrate Polymers**, v. 98, n. 1, p. 1117–1126, 2013.

GONÇALVES, G. M. S. et al. The essential oil of *Curcuma longa* rhizomes as an antimicrobial and its composition by Gas Chromatography/Mass Spectrometry. **Revista de Ciências Médicas**, v. 28, n. 1, p. 1, 2019.

LAPA, L. S. S., SILVA, Y. R. de O., SALES, P. F. Aplicação das análises espectroscópicas e termogravimétricas em filmes biodegradáveis de amido de milho incorporados com extrato de própolis-verde. **ForScience**, v. 8, n. 2, p. e00712, 2020.

LEITE, G.M.L. et al. Pharmacological and toxicological activities of α -humulene and its isomers: A systematic review. **Trends in Food Science and Technology**, v. 115, n. February, p. 255–274, 2021.

LIMA, L.S.N.H. et al. Produção E Caracterização Dos Filmes Biodegradáveis À Base De Amido De Mandioca: Influência Da Temperatura De Secagem. **Variantes do Meio Ambiente: Atuação, interdisciplinaridade e Sustentabilidade**, v. 2, 2021.

MELLO, G. S. L. et al. Feasibility of application of bartha's respirometric method to determine biodegradation of pollutants or wastes in latosoils. **Eng. sanit. ambient.**, v. 12, p. 71–78, 2007.

OLICÓN-HERNÁNDEZ, D. R. et al. Quitosano y mucílago de *Opuntia ficus-indica* (nopal) como base de una película polimérica comestible para la protección de tomates contra *Rhizopus stolonifer*. **TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas**, v. 22, p. 1–9, 2019.

RISS, T.L. et al. **Cell Viability Assays**. Eli Lilly & Company and the National Center for Advancing Translational Sciences, 2016.

RUFINO, M.S.M. et al. Metodologia Científica: Determinação da Atividade Antioxidante Total em Frutas pela Captura do Radical Livre DPPH. **Comunicado Técnico**, ISSN 1679-6535, 2007.

SANTANA, J. E. G. et al. Liposomal nanoformulations with trans-caryophyllene and caryophyllene oxide: do they have an inhibitory action on the efflux pumps NorA, Tet(K), MsrA, and MepA?. **Chemico-Biological Interactions**, v. 393, p. 110945, abr. 2024.

SILVA, L. R. et al. Lamiaceae Essential Oils, Phytochemical Profile, Antioxidant, and Biological Activities. Evidence-based Complementary and Alternative Medicine. **Hindawi**, 2021.

TURQUETT, L. C. D. G. B., et al. Avaliação da cobertura comestível elaborada a partir de quitosana, farelo de arroz e fécula de mandioca na conservação pós-colheita de morangos. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 3, p. 33153–33171, 2021.

YAMAGUCHI, K. K. L. et al. Atividades biológicas dos óleos essenciais de *Endlicheria citriodora*, uma lauraceae rica em geranato de metila. **Química Nova**, v. 36, n. 6, p. 826–830, 2013.