

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS

ELISA OTHERO SCARCELLA NAHÁS

**FILMES BIOPOLIMÉRICOS CARREADORES DE COMPOSTOS FENÓLICOS E
ÓLEO ESSENCIAL DE *Rosmarinus officinalis* L.**

POÇOS DE CALDAS/MG

2024

ELISA OTHERO SCARCELLA NAHÁS

**FILMES BIOPOLIMÉRICOS CARREADORES DE COMPOSTOS FENÓLICOS E
ÓLEO ESSENCIAL DE *Rosmarinus officinalis* L.**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos
para obtenção do título de Mestre em Engenharia
Química, pela Universidade Federal de Alfenas.
Orientador: Prof. Dr. Eric Keven Silva
Coorientadora: Prof^ª. Dr^ª. Melina Savioli Lopes

POÇOS DE CALDAS/MG

2024

Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas
Biblioteca Campus Poços de Caldas

Nahás, Elisa Othero Scarcella .

Filmes biopoliméricos carreadores de compostos fenólicos e óleo essencial de *Rosmarinus officinalis* L. / Elisa Othero Scarcella Nahás. - Poços de Caldas, MG, 2024.

66 f. : il. -

Orientador(a): Eric Keven Silva.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, MG, 2024.

Bibliografia.

1. Filmes ativos. 2. Propriedades mecânicas. 3. Estabilidade térmica. I. Silva, Eric Keven, orient. II. Título.

ELISA OTHERO SCARCELLA NAHÁS

FILMES BIOPOLIMÉRICOS CARREADORES DE COMPOSTOS FENÓLICOS E ÓLEO ESSENCIAL DE
Rosmarinus officinalis L.

O Presidente da banca examinadora abaixo assina a aprovação da Dissertação apresentada como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal de Alfenas. Área de concentração: Engenharia Química.

Aprovada em: 31 de julho de 2024.

Prof. Dr. Eric Keven Silva

Presidente da Banca Examinadora

Instituição: Universidade Estadual de Campinas

Profa. Dra. Ana Letícia Rodrigues Costa Lelis

Instituição: Universidade Federal de Viçosa

Profa. Dra. Grazielle Santos Silva Andrade

Instituição: Universidade Federal de Alfenas



Documento assinado eletronicamente por **Eric Keven Silva, Usuário Externo**, em 05/08/2024, às 20:27, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unifal-mg.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1301729** e o código CRC **EE611316**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha mãe, Denise Othero, e meu marido, José Vitor Scarcella Assunção, por todo o apoio que me deram e continuam dando para me tornar Mestre e, futuramente, Doutora. Agradeço ao meu pai, Gilberto Nahás, que hoje não está mais presente fisicamente, mas desde que eu nasci me mostrou o caminho e torceu para que eu chegasse onde estou chegando. Agradeço a todos meus familiares e amigos que fizeram desta jornada um pouco mais leve, em especial à Géssica Maria Lopes Faria, por todo apoio, auxílio, asilo e carinho, e o pessoal do Grupo de Pesquisa *Innpulsed*, da Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas.

Gostaria ainda de agradecer todo o apoio do meu orientador, professor doutor Eric Keven Silva, minha coorientadora professora doutora Melina Savioli Lopes e a professora doutora Grazielle Santos Silva Andrade por auxiliar no desenvolvimento desta pesquisa.

Ainda, agradeço à Universidade Federal de Alfenas, UNIFAL-MG, por esta oportunidade e por disponibilizar seu campus para o desenvolvimento desta pesquisa.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

RESUMO

Os resíduos plásticos depositados no meio ambiente geram uma crescente preocupação instigando a pesquisa e desenvolvimento de alternativas sustentáveis, biodegradáveis e ambientalmente amigáveis. Neste sentido, surgem os filmes biopoliméricos que atendem estes critérios e vêm sendo amplamente utilizados como sistemas carreadores de compostos bioativos extraídos de matrizes vegetais. Este estudo valorizou a água residuária do processo de extração de óleo essencial (EO) de alecrim por hidrodestilação como um extrato aquoso (AE) rico em compostos fenólicos para incorporação em filmes biopoliméricos comestíveis à base de carboximetilcelulose (CMC). Além disso, o EO de alecrim foi adicionado individualmente e sinergicamente com o AE aos filmes de CMC. Os resultados deste estudo demonstraram que a adição dos compostos bioativos aumentou a espessura dos filmes de 0,10 mm para 0,14 mm, além de reduzir 46,65 % da solubilidade em água. Não foram observados efeitos da incorporação dos bioativos sobre a permeabilidade ao vapor d'água (PVA) e no grau de cristalinidade dos filmes. A análise morfológica por microscopia eletrônica de varredura (MEV) revelou pequenos buracos provenientes das gotículas de óleo na superfície do filme e a espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) demonstrou boas interações entre os componentes, devido a formação de ligações de hidrogênio. A análise termogravimétrica (TGA) identificou pequenas alterações entre 150 °C e 360 °C que sugeriram a volatilização dos compostos fenólicos, Tween 80® e glicerol. Em relação às propriedades mecânicas, a resistência à tração (RT) não apresentou diferenças significativas, o alongamento na ruptura (AR) demonstrou resultados intermediários e o módulo de Young foi reduzido devido a incorporação dos bioativos do alecrim. O teor de fenólicos totais (TPC) foi maior, assim como a atividade antioxidante, evidenciando os compostos fenólicos presentes e sua atividade na funcionalização dos filmes produzidos. A incorporação do AE de alecrim e do EO na produção de filmes comestíveis a base de CMC é uma promissora alternativa para o desenvolvimento de filmes ativos para aplicação em alimentos, principalmente para o aumento da vida útil de produtos alimentares. Além disso, a valorização de um subproduto pode contribuir para a sustentabilidade da cadeia de processamento do EO de alecrim.

Palavras-chave: filmes ativos; propriedades mecânicas; estabilidade térmica.

ABSTRACT

Plastic waste deposited in the environment generates growing concern, prompting research and development of sustainable, biodegradable, and environmentally friendly alternatives. In this context, biopolymeric films that meet these criteria have emerged and are being widely used as carrier systems for bioactive compounds extracted from plant matrices. This study valued the wastewater from the process of extracting rosemary essential oil by hydrodistillation as an aqueous extract rich in phenolic compounds for the production of edible biopolymeric films based on carboxymethylcellulose (CMC). In addition, rosemary essential oil was added individually and synergistically with the aqueous extract to the CMC films. The results of this study showed that the addition of bioactive compounds increased the thickness of the films, from 0.10 mm to 0.14 mm, while reducing water solubility, from 100 % soluble to 53.35 %. No effects of the incorporation of bioactives on water vapor permeability and X-ray diffraction spectrum were observed. Morphological analysis by scanning electron microscopy (SEM) revealed holes and oil droplets on the film surface, and Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) showed good interactions between the components, presenting a peak at approximately 1590 cm^{-1} representing the formation of hydrogen bonds between the film components. Thermogravimetric analysis (TGA) identified small changes between $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $360\text{ }^{\circ}\text{C}$ that suggested the volatilization of phenolic compounds, Tween 80®, and glycerol. Regarding mechanical properties, tensile strength showed no significant differences, elongation at break demonstrated intermediate results between CMC/EO and CMC/AE films, and Young's modulus was reduced. The total phenolic content (TPC) was higher, as was the antioxidant activity, evidencing the presence of phenolic compounds and their activity in the functionalization of the films produced. The incorporation of rosemary aqueous extract and essential oil in the production of edible CMC-based films is a promising alternative for the development of active films for application in foods, especially for increasing the shelf life of food products. In addition, the valorization of a by-product can contribute to the sustainability of the rosemary essential oil processing chain.

Keywords: active films; mechanical properties; thermal stability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma da produção dos filmes de CMC.....	26
Figura 2 – Espessura para cada formulação do filme.....	33
Figura 3 – Aparência visual e morfologia da superfície e seção transversal para cada formulação.....	34
Figura 4 – Compostos fenólicos totais para cada formulação do filme.....	35
Figura 5 – Transmitância para cada formulação dos filmes.....	37
Figura 6 – Difração de raios-X para todas as formulações dos filmes.....	39
Figura 7 – FTIR para os componentes e para os filmes.....	40
Figura 8 – Solubilidade de todas as formulações dos filmes.....	42
Figura 9 – Permeabilidade ao vapor d'água para as diferentes formulações dos filmes.....	43
Figura 10 – Perfis de estabilidade térmica para o CMC em pó e as diferentes formulações dos filmes.....	45
Figura 11 – Resistência à tração para os diferentes filmes.....	47
Figura 12 – Alongamento na ruptura para os filmes.....	48
Figura 13 – Módulo de elasticidade para os filmes.....	49
Figura 14 – Resultado dos ensaios de atividade antioxidante FRAP (a) e TEAC (b) para os diferentes filmes.....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Formulação final dos filmes.....	26
Tabela 2 –	Parâmetros de cor e opacidade para os diferentes filmes.	36

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	OBJETIVOS.....	13
2.1	OBJETIVO GERAL.....	13
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1	BIOPOLÍMEROS.....	14
3.1.1	CMC.....	14
3.2	FILMES BIOPOLIMÉRICOS	15
3.2.1	Filmes bioativos	17
3.3	ÓLEOS ESSENCIAIS.....	18
3.3.1	EO de alecrim	19
3.4	FILMES BIOATIVOS A BASE DE CMC	20
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	23
4.1	MATERIAIS.....	23
4.2	EXTRAÇÃO DO EO DE ALECRIM POR HIDRODESTILAÇÃO	23
4.3	CARACTERIZAÇÃO DO EO E DO EXTRATO RICO EM COMPOSTOS FENÓLICOS.....	23
4.4	PRODUÇÃO DOS FILMES DE CMC.....	25
4.5	CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES	26
4.5.1	Espessura.....	26
4.5.2	Morfologia	26
4.5.3	Compostos fenólicos	27
4.5.4	Coloração.....	27
4.5.5	Propriedades ópticas	27
4.5.6	Difração de raios-X.....	28
4.5.7	Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier.....	28
4.5.8	Solubilidade em água	28
4.5.9	Permeabilidade ao vapor d'água.....	29
4.5.10	Estabilidade térmica.....	29
4.5.11	Propriedades mecânicas	29
4.5.12	Atividade antioxidante	30
4.6	ANÁLISE ESTATÍSTICA	30
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	31

5.1	CARACTERIZAÇÃO DO EO E EXTRATO RICO EM COMPOSTOS FENÓLICOS	31
5.2	PRODUÇÃO DE FILMES DE CMC	32
5.3	CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES	32
5.3.1	Espessura.....	32
5.3.2	Morfologia	33
5.3.3	Compostos fenólicos totais	35
5.3.4	Cor e opacidade	36
5.3.5	Transmissão de luz.....	37
5.3.6	Difração de raios-X.....	38
5.3.7	Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier	39
5.3.8	Solubilidade.....	41
5.3.9	Permeabilidade ao vapor d'água.....	42
5.3.10	TGA.....	43
5.3.11	Propriedades mecânicas	46
5.3.12	Análises antioxidantes	49
6	CONCLUSÃO.....	51
	REFERÊNCIAS	53

1 INTRODUÇÃO

Um dos principais dilemas da sociedade atual é a preocupação com os resíduos não renováveis, como filmes sintéticos derivados do petróleo, que causam desordens ecológicos e abalam a economia (Liu *et al.*, 2023). Tais impactos contribuem para crise energética e para o esgotamento de reservas de recursos não renováveis e, por isso, existe uma crescente demanda pela substituição de materiais degradáveis por biodegradáveis (Faria; Silva, 2024).

Emergindo como uma possível solução para o problema apresentado, filmes biopoliméricos têm chamado a atenção dos pesquisadores pois apresentam características plásticas e de barreira e são atóxicos, biodegradáveis e sustentáveis (Abad; Conesa; Sanchez, 2021; Abedi; Sayadi; Oliyaei, 2024). Para sua produção são utilizados agentes estruturantes, os polímeros naturais que apresentam características formadoras de filme, podendo ser polissacarídeos, proteínas e lipídeos, e um agente plasticizante capaz de conferir flexibilidade ao filme (Ferreira *et al.*, 2022; Nayak *et al.*, 2024). Este conjunto de materiais resultam em uma fina camada semipermeável que pode ser aplicada na superfície de alimentos para aumentar a vida útil, além de promover sua conservação, evitando perdas e contaminações (Pirsa, 2024; Yadav *et al.*, 2021). Filmes comestíveis são um exemplo de filmes biopoliméricos feitos com biopolímeros próprios para o consumo humano, podendo ser ingeridos junto com o alimento revestido ou embalado (Erceg *et al.*, 2023).

Para melhoria das características funcionais dos filmes, compostos bioativos vêm sendo adicionados. Entre eles, os óleos essenciais, que são conservantes naturais extraídos de plantas e apresentam inúmeras propriedades ativas como atividade antioxidante e antimicrobiana, capazes, portanto, de melhorar a segurança e a qualidade alimentar (Ali Ghoflgar Ghasemi *et al.*, 2024; Duan *et al.*, 2024). Além do EO, extratos de plantas podem ser incorporados na matriz formadora de filme, contribuindo, também, com propriedades bioativas para os filmes.

O alecrim é uma planta mundialmente conhecida e amplamente utilizada devido suas características aromáticas e propriedades bioativas, tais como atividade antioxidante (Ban *et al.*, 2016), antimicrobiana (Nieto; Ros; Castillo, 2018) e anti-inflamatória (da Silva Bomfim *et al.*, 2020). Além disso, é muito utilizado em cosméticos e na gastronomia. Todas estas características são atribuídas aos compostos bioativos presentes, principalmente os compostos fenólicos, que fazem o papel de defesa das plantas (Andrade, J. M. *et al.*, 2018). Seu EO é amplamente utilizado e reconhecido. Por outro lado, a água residual da extração do óleo é geralmente descartada, gerando preocupações ambientais, já que apresenta compostos fenólicos, que possuem alta capacidade antibacteriana, que podem alterar o metabolismo dos

seres vivos nos recursos hídricos nos quais venha ser descartada, além de apresentar grande carga orgânica (Bocker; Silva, 2024).

Neste estudo foram avaliadas as principais características dos filmes biopoliméricos comestíveis a base de CMC incorporados com EO de alecrim e o AE rico em compostos fenólicos. O principal objetivo foi desenvolver um sistema carreador com o potencial de aumentar a vida útil de alimentos devido às propriedades antioxidantes associadas aos compostos bioativos do alecrim.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolvimento e caracterização de filmes comestíveis à base de CMC para carreamento de EO de alecrim e compostos bioativos através da valorização da água residuária do processo de hidrodestilação.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Extração do EO de alecrim utilizando a técnica de hidrodestilação;
- b) Aproveitamento da água residuária do processo de obtenção do EO de alecrim como um AE rico em compostos fenólicos;
- c) Caracterização do EO e do AE obtidos pelo processo de hidrodestilação do alecrim;
- d) Desenvolvimento e caracterização de filmes à base de CMC incorporados com EO e AE de alecrim.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 BIOPOLÍMEROS

Biopolímeros são polímeros naturais que apresentam boa capacidade de formar estruturas de revestimentos comestíveis criando uma camada fina para proteção dos alimentos. Eles podem transportar as substâncias ativas e, dessa forma, atuam agregando valor nutricional ao alimento (Ferreira *et al.*, 2022). Para a substituição de polímeros plásticos, suas características devem ser sustentáveis, atóxicas e biodegradáveis.

Polissacarídeos como CMC, amido, quitosana e gomas são biopolímeros de cadeia longa compostos por repetições de monossacarídeos unidos por ligações glicosídicas. Apresentam características distintas como organização fibrilada, estrutura porosa e disponibilidade de sítios de ligações de hidrogênio, permitindo a absorção ou aprisionamento de compostos bioativos (Papadaki *et al.*, 2024). Devido a sua natureza, eles se tornam ideais para o desenvolvimento de materiais tais como filmes para embalagem alimentar, porém, apresentam baixa resistência à umidade, sendo necessário maiores estudos para otimizar suas propriedades (Bhatia; Al-Harrasi; *et al.*, 2024; Hernández; Ludueña; Flores, 2023).

Além dos polissacarídeos, lipídios como ceras, monoglicerídeos e ácidos graxos, e proteínas como caseína, soja e queratina, são explorados devido ao seu alto potencial para a produção de filmes comestíveis (How *et al.*, 2024; Teymoorian *et al.*, 2024; Tian *et al.*, 2023). Dentre os agentes estruturantes, destaca-se o CMC, polissacarídeo amplamente utilizado na formulação de filmes comestíveis.

3.1.1 CMC

A CMC é o polissacarídeo derivado da celulose mais utilizado, já que é mais abundante na natureza e pode ser obtida de diversas fontes, como madeira, algodão, resíduos agrícolas e alimentos. A CMC é produzida pela substituição de grupos hidroxila da celulose por grupos carboximetil, resultando em um polímero solúvel em água com propriedades viscosas e formadoras de filme (Lan *et al.*, 2021; Simsek; Eke; Demir, 2020; Yildirim-Yalcin; Tornuk; Toker, 2022).

A utilização deste biopolímero na produção de filmes é de grande interesse devido suas propriedades térmicas, características viscosas, flocculantes, biodegradáveis e sustentáveis, além de ser transparente, atóxica, baixo custo e amplamente disponível (Eshaghi, R.; Mohsenzadeh,

M.; Ayala-Zavala, J. F., 2024; Yildirim-Yalcin; Tornuk; Toker, 2022). Além disso, apresenta propriedades físico-químicas únicas, como propriedade de barreira de oxigênio e dióxido de carbono, habilidade de formar filme e capacidade de reter água, fazendo que este seja o material ideal para aplicação em embalagens comestíveis (Eshaghi, R.; Mohsenzadeh, M.; Ayala-Zavala, J. F., 2024; Lin *et al.*, 2020; Nongnual *et al.*, 2024).

Pesquisas utilizam vários meios para melhorar o desempenho de resistência a água do CMC para superar as restrições devido à alta solubilidade em água. Então, para modificar as características de filmes de CMC, como aumentar as propriedades de barreira, melhorar as propriedades mecânicas e características ópticas dos filmes, outros biopolímeros, nanomateriais, nanopartículas e substâncias ativas ou aditivos naturais podem ser adicionados na formulação dos filmes. Além disso, a incorporação de ingredientes bioativos pode conferir propriedades antioxidantes e antimicrobianas, aumentando a qualidade e a segurança dos alimentos e contribuindo para a redução de desperdícios alimentares e poluição ambiental (Eshaghi, Reza; Mohsenzadeh, Mohammad; Ayala-Zavala, Jesús Fernando, 2024; Mohamed; El-Sakhawy; El-Sakhawy, 2020; Nongnual *et al.*, 2024).

3.2 FILMES BIOPOLIMÉRICOS

Pesquisas atuais focam na resolução de problemas causados por resíduos plásticos, buscando alternativas sustentáveis, renováveis, abundantes na natureza e biodegradáveis (Cui *et al.*, 2023). A substituição de plásticos derivados de petróleo por materiais biodegradáveis, obtidos de fontes renováveis e de baixo custo, que apresentam propriedades semelhantes aos plásticos convencionais, é um ponto central desses estudos (How *et al.*, 2024).

A crescente utilização de plásticos derivados de petróleo tem reduzido significativamente as reservas de recursos não renováveis e exacerbado a crise energética (Liu *et al.*, 2023). Além disso, a não biodegradabilidade dos materiais de embalagem à base de petróleo tem gerado problemas ecológicos e econômicos substanciais (Nongnual *et al.*, 2024).

A produção de insumos a base de petróleo vem crescendo continuamente alcançando 390 milhões de toneladas em 2021, enquanto o acúmulo de resíduos deste no meio ambiente, incluindo solos, águas e costas, deve crescer para 25 milhões de toneladas até 2025 (Hernández; Ludueña; Flores, 2023). Desde o início do século XXI, a sociedade tem enfatizado a proteção ambiental e o desenvolvimento sustentável (Tian *et al.*, 2023; Zhou, W. *et al.*, 2021). Por isso, a busca de uma solução para este problema vem sendo uma demanda enorme dentre as pesquisas atuais.

Além disso, outro problema ambiental avaliado é o desperdício de alimentos, apresentando inúmeros malefícios para o meio ambiente, economia e a sociedade como um todo (How *et al.*, 2024). Este desperdício não está somente relacionado com recursos preciosos, como água, energia e terra, mas também aumenta a emissão de gases do efeito estufa e piora a insegurança alimentar global (Lin *et al.*, 2020; Nongnual *et al.*, 2024).

Filmes biopoliméricos, também conhecidos como embalagens biodegradáveis, são baseados em materiais que se decompõem facilmente e são atóxicos, sustentáveis e obtidos através de fontes renováveis, substituindo os polímeros sintéticos que degradam o meio ambiente (Abedi; Sayadi; Oliyaei, 2024; Bhatia; Abbas Shah; *et al.*, 2024; Cherman *et al.*, 2022; Eshaghi, R.; Mohsenzadeh, M.; Ayala-Zavala, J. F., 2024; Jiménez *et al.*, 2012)

Um dos métodos de produção de filmes biopoliméricos mais utilizados é o método *casting*, que envolve basicamente três etapas: a solubilização dos biopolímeros junto com a adição do plasticizante, a deposição da solução filmogênica nos moldes pré-definidos e o processo de secagem para evaporação do solvente (Rhim *et al.*, 2006). Agentes plasticizantes conferem maleabilidade e flexibilidade ao filme, tornando-os mais fáceis de lidar na sua produção, moldagem ou uso. O glicerol ou glicerina é um dos plasticizantes mais utilizados. Ele é caracterizado como hidrofílico, miscível em água e de baixo peso molecular (de Graaf; Karman; Janssen, 2003). O glicerol atua reduzindo as forças intermoleculares entre as cadeias poliméricas permitindo que o material seja mais flexível e menos rígido (Benitez *et al.*, 2024).

Entre os filmes biopoliméricos, existem os filmes comestíveis, obtidos a partir de biopolímeros próprios para o consumo humano. A pesquisa e desenvolvimento destes filmes para embalagem de alimentos não tóxicos e biodegradáveis têm sido intensamente conduzidos, visando se adaptar ao desenvolvimento de uma economia de baixo carbono e ecologicamente correta (Abad; Conesa; Sanchez, 2021; Zhou, W. *et al.*, 2021). Um relatório econômico recente demonstrou que o mercado de filmes e revestimentos comestíveis em nível global aumentou de US\$ 2,95 bilhões em 2022 para US\$ 3,2 bilhões em 2023, uma taxa de crescimento anual composta de 8,6% (Bhatia; Shah; *et al.*, 2024).

Os consumidores apresentam uma crescente preferência para materiais sustentáveis, produtos de alta qualidade, saudáveis, frescos, seguros, com melhores qualidades sensoriais, com maior vida útil e embalados em materiais naturais, justificando o crescente interesse em pesquisas destes filmes (Nongnual *et al.*, 2024). Os biopolímeros são capazes de formar filmes que fazem uma fina camada protetora nas superfícies de alimentos sem interferir nas suas propriedades, aumentando a sua vida útil, e não são planejadas para serem descartadas, e sim

para serem consumidas junto com o produto, já que são comestíveis (Ferreira *et al.*, 2022; How *et al.*, 2024).

O filme, quando aplicado na superfície do alimento, cria uma proteção semipermeável através da superfície, e tem função de diminuir a migração de umidade, dióxido de carbono, oxigênio, aromas, lipídeos e outras substâncias que possam degradar o produto, resultando na manutenção da qualidade, redução de desperdícios, proteção contra microrganismos patogênicos, danos mecânicos e radiação UV (Cui *et al.*, 2023; Erceg *et al.*, 2023; Nayak *et al.*, 2024; Yadav *et al.*, 2021). Além disso, dependendo da composição do filme, é possível a utilização de compostos bioativos com inúmeras funções, como no caso do alecrim, que apresenta ação anti-inflamatória, antifúngica, antibiótica, antioxidante, dentre vários outros benefícios, criando-se assim a classe dos filmes bioativos (Cherman *et al.*, 2022; Ferreira *et al.*, 2022).

3.2.1 Filmes bioativos

A tecnologia de filmes bioativos vem emergindo nos últimos anos como uma resposta viável para o contornar o desperdício de alimentos e o atender o desejo dos consumidores de alimentos mais frescos e seguros. Para aumentar a vida útil de produtos perecíveis, materiais e novas tecnologias são combinados para propósito de preservação (Shi *et al.*, 2024). Esta tecnologia pode ser utilizada para aumentar o tempo de armazenamento de colheitas perecíveis como tomate, morango, alho, pera, manga, banana, dentre outros (Nongnual *et al.*, 2024).

Filmes comestíveis podem ser suplementados por meio da incorporação de componentes bioativos como agentes antimicrobianos para promover capacidades bioativas, aumentando as propriedades físico-químicas e aumentando a segurança dos alimentos e sua vida útil, além da maximização de retenção do sabor original do alimento durante o armazenamento e transporte (Shi *et al.*, 2024; Zhou, W. *et al.*, 2021). Estes são chamados então de filmes bioativos.

Os óleos essenciais são considerados um dos candidatos com atividade antimicrobiana mais promissores devido a sua segurança e potente ação contra patógenos alimentares. A encapsulação de EO em filmes comestíveis baseados em polissacarídeos é uma estratégia eficiente para superar as limitações da utilização do EO para preservação de alimentos (Zhou, W. *et al.*, 2021). Existem diversos estudos que apontam a eficiência do EO em filmes bioativos para embalagem de alimentos. Além disso, o EO ajuda na melhoria de propriedades mecânicas e de barreiras dos filmes (Shi *et al.*, 2024).

3.3 ÓLEOS ESSENCIAIS

Os óleos essenciais são compostos voláteis derivados de plantas, extraídos principalmente através de hidrodestilação de partes vegetais como folhas, cascas, raízes, flores ou frutos. Eles são denominados "essenciais" por conterem a essência aromática característica de cada planta e são reconhecidos por suas propriedades aromáticas, antimicrobianas, antioxidantes, dentre outras atividades biológicas. A composição química dos óleos essenciais apresenta uma variedade de compostos orgânicos, incluindo terpenos, fenóis, aldeídos e cetonas, que determinam suas funções específicas (Correa-Pacheco *et al.*, 2023; Duan *et al.*, 2024).

A incorporação de óleos essenciais em filmes comestíveis tem sido alvo de pesquisas, devido ao seu potencial para aprimorar a segurança e a qualidade dos alimentos. Ela pode ser realizada de diferentes maneiras, como a adição direta do óleo, a criação de emulsões ou a encapsulação do óleo em nanopartículas ou micropartículas, sendo a escolha do método influenciada pelo tipo de EO, pelas características desejadas no filme e pela aplicação específica.

Apesar destas qualidades, os óleos essenciais apresentam limitações práticas devido as alterações organolépticas que eles podem promover, quando em altas dosagens, além da hidrofobicidade e alta volatilidade. A adição direta de óleos essenciais ao filme pode ser ineficaz devido suas características, o que pode resultar em distribuição desigual e perda dos compostos por transferência de massa durante o armazenamento (How *et al.*, 2024). Para contornar esses desafios, a emulsificação dos óleos essenciais se tornou uma alternativa amplamente utilizada. Uma emulsão é por definição um sistema termodinamicamente instável composto por duas ou mais fases líquidas não miscíveis. O EO é a fase dispersa em uma fase aquosa, por meio da utilização de um emulsionante. A formação de um filme interfacial para reduzir a energia livre total do sistema auxilia para obtenção de uma distribuição mais homogênea do óleo no filme e uma liberação mais controlada (Ali Ghoflgar Ghasemi *et al.*, 2024; Iqbal *et al.*, 2024).

A encapsulação de óleos essenciais em nanopartículas ou micropartículas é uma estratégia eficaz para aumentar a estabilidade e eficácia desses óleos em filmes comestíveis. A encapsulação envolve o revestimento do EO com uma camada de polímero, que atua como uma barreira protetora, minimizando as perdas devido à volatilidade do óleo e permitindo uma liberação controlada (Hajji *et al.*, 2021; Kostić *et al.*, 2023).

A inclusão de óleos essenciais pode modificar a permeabilidade do filme a gases, tais como oxigênio e dióxido de carbono, o que pode ser vantajoso para a conservação de alimentos sensíveis ao oxigênio. Adicionalmente, a presença de óleos essenciais pode conferir ao filme propriedades antimicrobianas, inibindo o crescimento de bactérias e fungos na superfície do alimento. Contudo, a adição de óleos essenciais também pode influenciar as propriedades mecânicas do filme, como resistência e elasticidade, dependendo da concentração e do tipo de EO utilizado (Bhatia; Shah; *et al.*, 2024; Jafari; Zandi; Ganjloo, 2023). Neste estudo em questão foi utilizado o EO de alecrim, amplamente utilizado e reconhecido como seguro e eficaz.

3.3.1 Óleo essencial de alecrim

O alecrim, de nome científico *Rosmarinus officinalis* L., é uma planta amplamente conhecida de origem mediterrânea. Foi muito utilizada pela humanidade devido a sua ação antibacteriana (Bozin *et al.*, 2007), antifúngica (da Silva Bomfim *et al.*, 2020), anticancerígena (Cheung; Tai, 2007), antidiabética (Bakirel *et al.*, 2008), antioxidante (Şeker *et al.*, 2023), e anti-inflamatória (Al-Hijazeen, 2022; Borges *et al.*, 2018; da Silva Bomfim *et al.*, 2020; Ghavam, 2022; Gonzalez-Trujano *et al.*, 2007), além de ser muito utilizada na área gastronômica (Külcü; Kalkan, 2022).

Quando o alecrim é submetido à hidrodestilação, obtêm-se duas frações de naturezas químicas distintas: a fração lipofílica (EO) e a hidrofílica (AE). O AE é uma água residual da extração do EO, e geralmente é descartada como resíduo. Entretanto, é totalmente subestimada quanto as suas funcionalidades, pois apresenta diversos compostos fenólicos (Achour *et al.*, 2021; Nieto; Ros; Castillo, 2018). O estudo de Achour *et al.* (2021) analisou o AE, que apresentou em sua composição flavonoides, ácidos fenólicos, terpenos, jasmonato, glicosídeos fenólicos e ligninas, sendo que os principais compostos fenólicos presentes foram o ácido rosmarínico, ácido cafeico e luteolina. Os compostos fenólicos estão presentes na maior parte das plantas comestíveis, e são conhecidos como metabólitos secundários destas que tem como função sua defesa contra patógenos, raios UV, parasitas e predadores (Andrade, M. A. *et al.*, 2018; Nieto; Ros; Castillo, 2018)

O EO de alecrim é um componente hidrofóbico e volátil e apresenta propriedades antioxidantes, antimicrobianas, antiviral e antifúngica (Khakpour; Pirsá, 2024; Zhou, Y. *et al.*, 2021). Sua composição varia de acordo com o solvente utilizado na extração e condições externas de crescimento das plantas (Andrade, J. M. *et al.*, 2018), e apresenta diversos compostos voláteis, monoterpenos, sesquiterpenos e compostos aromáticos (Lovkova *et al.*,

2001). Os estudos de Andrade, M. A. *et al.* (2018) e Khakpour e Pirsá (2024) encontraram como principais compostos a cânfora (1,8-cineol), α -pineno, borneol, canfeno, β -pineno e limoneno.

3.4 FILMES BIOATIVOS A BASE DE CMC

A utilização da CMC para formação de filmes é muito utilizada, tendo amplas pesquisas e estudos, sendo, portanto, possível fazer uma comparação das características dos filmes reportadas na literatura. Além disto, é considerada um bom material natural para preparação de filmes comestíveis devido a sua biodegradabilidade e excelente capacidade formadora de filme. Ainda, apresenta boa interação com outros biopolímeros e compostos bioativos (Shi *et al.*, 2024).

No estudo de Shi *et al.*, de 2024, eles produziram filmes comestíveis bioativos à base de quitosana e CMC incorporados com EO de *Litsea cubeba*, e avaliaram as propriedades mecânicas, de barreira e capacidade antimicrobiana. A incorporação do EO formou ligações intermoleculares com a cadeia polimérica, levando a uma estrutura filamentosa mais densa, aumentando a RT e o AR. As propriedades de barreira também foram estudadas sendo que PVA obteve um valor menor após a incorporação de EO, sendo desejável para embalar alimentos com pouca umidade, podendo prevenir a deterioração oxidativa dos alimentos. Além disso, o estudo obteve resultados que provaram a capacidade de prevenção de contaminação bacteriana por *Staphylococcus aureus* e *Escherichia coli*. O trabalho também avaliou a aplicação deste filme bioativo em carne de frango e, após 10 dias a 4°C, a adição do EO nos filmes comestíveis diminuiu alterações de pH, coloração e textura e reduziu a produção de peróxidos lipídicos, aumentando a vida útil do produto e demonstrando o potencial do filme de quitosana e CMC incorporados de EO de *Litsea cubeba* como embalagem biodegradável para preservação de carne de frango.

Em outro estudo Nongnual *et al.* (2024) tiveram como objetivo apresentar uma exploração aprofundada do papel da embalagem bioativa na mitigação do desperdício de alimentos e na melhoria da vida útil de armazenamento de bananas. Foram investigados os potenciais efeitos do EO de manjerição e citronela em embalagens comestíveis feitas de CMC com ligações cruzadas para o prolongamento de vida útil de bananas. Como resultados, a incorporação dos óleos essenciais protegeu as embalagens contra contaminação bacteriana. Além disso, a embalagem comestível com os óleos essenciais demonstrou eficiência em preservar a coloração, minimizar a perda de peso e aumentar a firmeza de bananas durante o

armazenamento. Estas embalagens demonstraram potencial de aumentar a vida útil das bananas, impedindo o processo de amadurecimento e preservando as características sensoriais da fruta, tornando a abordagem de produção de filmes a base de CMC promissoras como embalagem bioativa.

Zhou, Y. *et al.* (2021) estudaram as características estruturais de filmes de CMC com pullulan e quitosana incorporados com EO de galanga em diferentes concentrações. Eles avaliaram também a vida útil e a qualidade de mangas durante o armazenamento em condições ambientes, contribuindo para o desenvolvimento de embalagens ativas para alimentos para prolongar a vida útil de produtos frescos e processados. Foi observada uma diminuição da PVA, aumento da RT e AR. Também foi feita a aplicação do filme na superfície da fruta para avaliar a perda de massa, firmeza e a aparência durante 15 dias. Foi observado que a formulação que continha alta concentração de EO apresentou o melhor efeito de preservação pela aparência da fruta, menor perda de massa e maior firmeza. O estudo então demonstrou que a adição do EO de galanga em filmes compostos de CMC, quitosana e pullulan podem servir como uma referência efetiva no desenvolvimento e utilização de embalagens ativas para manter o frescor de frutas e vegetais devido a sua considerável biodegradabilidade, propriedades mecânicas e efeitos de preservação.

Lin *et al.* (2020) estudaram filmes compósitos comestíveis e ativos de fibra dietética solúvel de okará com pectina, CMC e EO de tomilho. Diversas propriedades foram estudadas, inclusive as atividades antioxidantes e antibacterianas. A adição do EO de tomilho gerou um aumento da resistência a tração, porém, diminuiu o AR. Foi relatado a ação antioxidante de aproximadamente 40% com a adição do EO e ainda apresentou atividade antibacteriana. Em resumo, a adição do EO de tomilho melhorou a performance do filme (Lin *et al.*, 2020).

Outro trabalho que corrobora com estes achados foi o de Eshaghi *et al.* (2024), os autores estudaram filmes compósitos de CMC e goma de mirra contendo nanopartículas de óxido de titânio e EO de endro (*Anethum graveolens* L.). Esta combinação permitiu criar um filme com propriedades antimicrobianas melhoradas devido a liberação dos compostos do EO e as propriedades antimicrobianas do TiO₂, que podem trabalhar juntos para inibir o crescimento de patógenos, aumentando a vida útil de filés de peixe. Foram analisadas várias características destes filmes, sendo que as propriedades mecânicas apresentaram melhorias significativas, tais como aumento da flexibilidade. Além disso, foi notado um aumento significativo das propriedades de barreira. A atividade antimicrobiana também foi analisada foi possível concluir que a adição simultânea dos componentes gerou efeito antimicrobiano potencializado. Os

filmes aumentaram a vida útil de filés de peixe refrigerados por mais de 12 dias inibindo o crescimento microbiano e reduzindo velocidade de oxidação.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 MATERIAIS

O glicerol foi adquirido da Synth (Diadema, SP, Brasil), CMC, Tween 80®, ácido 2,2'-azinobis-(3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico)-diamônio (ABTS), reagente de Folin-Ciocalteu, ácido gálico e ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico (Trolox) foram adquiridos da Sigma-Aldrich Company (Cotia, SP, Brasil). As folhas secas de alecrim foram adquiridas do Mercado Municipal (Poços de Caldas, MG, Brasil). Os demais solventes e reagentes utilizados foram de grau analítico.

4.2 EXTRAÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL DE ALECRIM POR HIDRODESTILAÇÃO

A extração do EO foi realizada utilizando o método adaptado de Vella *et al.* (2010), empregando hidrodestilação com o aparato do tipo Clevenger. Aproximadamente 30 g de folhas de alecrim secas e 400 mL de água destilada foram colocados em um frasco volumétrico de 1000 mL. O frasco foi então colocado sobre uma manta de aquecimento a 100°C acoplado ao aparelho tipo Clevenger. Cada batelada de extração durou aproximadamente 20 minutos. O EO obtido foi coletado em um frasco de vidro, enquanto o AE foi submetido à filtração simples antes de ser transferido e armazenado em um frasco de vidro de borossilicato de 1000 mL. Posteriormente, tanto o AE quanto o EO foram alocados em um recipiente adequado e armazenado sob refrigeração.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL E DO EXTRATO AQUOSO

Os compostos voláteis do EO obtido na etapa anterior foram identificados usando um cromatógrafo de gás HP-7890, um detector de espectrômetro de massa HP-5975C (Agilent, Santa Clara, EUA) e uma coluna HP-5MS, com dimensões de 30 metros de comprimento por 0,25 milímetros de diâmetro interno e uma espessura de filme de 0,25 micrômetros. A linha de transferência do espectrômetro de massa foi mantida a 250 °C. A energia de impacto foi de 70 eV, e a relação de massa-carga (m/z) variou de 50 a 500 (Huang *et al.*, 2023). O gás carreador ($1,0 \times 10^{-3}$ L/min) usado foi hélio. O programa de temperatura do forno foi o seguinte: 80°C por 3 minutos, aumentado até 200 °C a uma taxa de 20 °C/min, e mantido a 200 °C por mais 4 minutos. Uma temperatura de 250 °C foi usada tanto para o injetor quanto para o detector. Os

compostos foram identificados comparando os espectros de massa obtidos com a biblioteca NIST, considerando uma similaridade igual ou superior a 90 % (Erceg *et al.*, 2023).

O conteúdo de eucaliptol (1,8-cineol), o principal composto em EO, foi quantificado. Para isso, cerca de 10 μ L de amostra de óleo foi dissolvida em 5 mL de acetato de etila (Synth, Diadema, Brasil) e homogeneizada manualmente. Uma alíquota de 2 mL foi filtrada usando uma membrana de nylon (0,45 μ m) e injetada no cromatógrafo. A razão de *split* foi de 1:20. O gás carreador (Hélio, pureza de 99,9%, White Martins, Campinas, Brasil) fluía a 1,1 mL/min. As temperaturas do injetor e do detector foram de 220 °C e 240 °C, respectivamente. A coluna foi aquecida de 60 °C a 246 °C a uma taxa de 3 °C/min. Para a análise, foi usado um cromatógrafo GC-FID (Shimadzu, CG17A, Kyoto, Japão) equipado com uma coluna capilar de sílica fundida DB-5 (J&W Scientific, 30 m \times 0,25 mm \times 0,25 μ m, Folsom, EUA). A quantificação do conteúdo de eucaliptol (1,8-cineol) foi realizada usando uma curva de calibração de padrão externo (Toledo Hijo; Guinosa; Silva, 2022).

O TPC do AE e do EO foi determinado usando o método colorimétrico de Folin-Ciocalteu, seguindo a metodologia descrita por Arruda *et al.* (2018) com algumas modificações. Uma alíquota de 300 μ L da amostra diluída, 300 μ L do reagente de Folin-Ciocalteu e 2400 μ L de carbonato de sódio (5%, p/v) foram misturados. Subsequentemente, a solução de reação foi mantida no escuro por 20 minutos. A absorbância foi medida a 760 nm contra um branco usando um espectrofotômetro UV-VIS 800XI (FEMTO, São Paulo, Brasil). Uma curva de calibração usando ácido gálico (10 - 50 μ g/mL; $R^2 = 0,999$) como padrão foi empregada para quantificar o teor de fenóis totais. Os resultados foram expressos em equivalentes de ácido gálico por mililitro de AE de alecrim (mg de ácido gálico equivalente - AGE/mL).

A atividade antioxidante do EO e do AE foi determinada por dois métodos diferentes descritos por Arruda *et al.* (2018) com leves modificações. O primeiro foi o ensaio de capacidade antioxidante equivalente a Trolox (TEAC). Este método envolve a preparação do cátion ABTS⁺, alcançada misturando 5 mL de uma solução de ABTS de 7 mmol com 88 μ L de uma solução de persulfato de potássio de 145 mmol e permitindo que a mistura reagisse durante a noite no escuro. A solução de ABTS⁺ foi então diluída com água ultrapura até que uma absorbância de $0,70 \pm 0,02$ a 734 nm foi obtida. Em seguida, 200 μ L da amostra foram misturados com 1 mL da solução de ABTS⁺. Após 6 minutos de incubação no escuro, a absorbância do ABTS⁺ remanescente foi medida a 734 nm. Os resultados foram expressos em micromoles de equivalentes de Trolox por mililitro de material (μ mol TE/mL material).

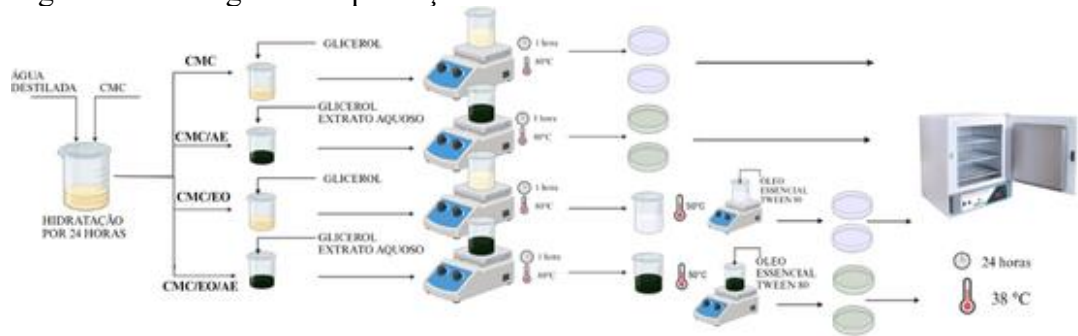
O segundo método para avaliar a capacidade antioxidante foi o ensaio de Poder Antioxidante de Redução de Ferro (FRAP), conforme descrito por Munteanu *et al.* (2021) com

pequenas modificações. A preparação do reagente FRAP exigia um tampão acetato (0,3 mol/L, pH 3,6), uma solução de TPTZ (tripiridiltriazina) (10 mmol/L) e uma solução de FeCl₃ (20 mmol/L). As proporções necessárias para o teste foram 10:1:1. A reação foi iniciada misturando a amostra com o reagente FRAP e água destilada. A mistura foi então incubada por 30 minutos a 37°C no escuro. Finalmente, a absorbância foi medida a 595 nm. Os resultados foram expressos em micromoles de equivalentes de Trolox por mililitro de material ($\mu\text{mol TE/mL material}$).

4.4 PRODUÇÃO DOS FILMES DE CMC

Os filmes foram produzidos pelo método *casting*, com o desenvolvimento de quatro formulações distintas denominadas CMC, CMC/EO, CMC/AE e CMC/EO/AE, conforme apresentado na Tabela 1. A fase inicial envolveu a hidratação de CMC (3% p/p) com diferentes proporções de água destilada ao longo de um período de 24 horas. Após isso, foi incorporado o glicerol (1,3% m/m). Para o filme CMC/AE e CMC/EO/AE, foi adicionado aproximadamente 32% (m/m) de AE. As misturas foram submetidas a agitação magnética constante e aquecidas a 80 °C durante 1 hora. As soluções foram então resfriadas para 50°C. No caso de CMC/EO e CMC/EO/AE, o EO (0,5% m/m) e Tween 80® (0,1% m/m) foram adicionados, e a mistura foi continuamente agitada por 5 minutos. Finalmente, as soluções formadoras de película foram espalhadas em placas de Petri e alocadas em uma estufa com recirculação de ar a 40 °C por 24 horas para secagem. Após esse processo, os filmes foram desmoldados, colocados entre papéis brancos e, em seguida, em um dessecador contendo solução saturada de cloreto de sódio para manter a umidade relativa em 75 % (Tabari, 2018). A Figura 1 apresenta o fluxograma da produção dos filmes de CMC e a Tabela 1 apresenta a quantidade de cada material utilizado na produção dos filmes.

Figura 1 – Fluxograma da produção dos filmes de CMC



Fonte: Autor (2024).

Tabela 1 – Formulação final dos filmes

Filme	CMC (g)	Água destilada (g)	Glicerol(g)	AE (g)	EO (g)	Tween 80 ® (g)
CMC	3,0	96,0	1,3	0,0	0,0	0,0
CMC/EO	3,0	95,3	1,3	0,0	0,5	0,2
CMC/AE	3,0	64,0	1,3	32,0	0,0	0,0
CMC/EO/AE	3,0	64,0	1,3	32,0	0,5	0,2

Fonte: Autor (2024).

4.5 CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES

4.5.1 Espessura

A espessura dos filmes foi medida de acordo com a metodologia de Zhou, Y. *et al.* (2021). Um micrômetro digital da Mitutoyo (Jundiaí, SP, Brasil) foi empregado para medir cinco pontos diferentes do filme, e então a espessura média foi calculada.

4.5.2 Morfologia

A análise de morfologia dos filmes foi realizada usando MEV, de acordo com a metodologia descrita por de Moura (2009). A análise foi realizada usando um instrumento de microscopia eletrônica LEO (LEO Electron Microscopy Inc., Oberkochen, Alemanha), especificamente o modelo Leo 440i. Para expor a seção transversal dos filmes, eles foram imersos em temperaturas criogênicas usando nitrogênio líquido e então fraturados.

Posteriormente, as amostras foram colocadas em superfícies de alumínio adequadas para análise e revestidas por *sputtering* com uma mistura de ouro/páladio por 45 segundos a uma corrente de 20 mA. As amostras foram então examinadas sob o microscópio em ampliações variando de 50 a 1.000 vezes, a uma voltagem de 1,5 kV.

4.5.3 Compostos fenólicos

A quantificação do TPC para os filmes foram feitas da mesma maneira que foi conduzida para o EO e para o AE, porém, os filmes foram solubilizados em 50 mL de água antes da análise.

4.5.4 Coloração

A coloração da película foi obtida usando o colorímetro Konica Minolta, modelo CR-400 (Konica Minolta, Tóquio, Japão). Antes de medir a cor dos filmes, o instrumento foi calibrado usando o padrão fornecido pela empresa e uma referência branca baseada em uma folha de papel de sulfite. Posteriormente, os filmes foram colocados sob as folhas de papel branco, e as medições foram tomadas em três pontos diferentes da superfície do filme em duplicata. Os resultados médios dos parâmetros L, a e b nos diferentes pontos foram exibidos diretamente no equipamento.

Os parâmetros L, a e b representam os parâmetros de Hunter, onde L (luminosidade) varia de 0 para preto a 100 para branco, a varia de -60 indicando azul-esverdeado a +60 indicando vermelho-arroxeadado, e b varia de -60 para tons azulados a +60 para tons amarelados. O Índice de Amarelamento (IA) foi calculado usando a Equação (1) seguindo a metodologia descrita por Ekrami e Emam-Djomeh, 2014.

$$IA = \frac{142.86 \times b}{L} \quad (1)$$

4.5.5 Propriedades ópticas

As propriedades ópticas foram determinadas usando o leitor de microplacas SpectraMax Mini (Molecular Devices, San Jose, EUA). As amostras foram cortadas em discos cilíndricos correspondentes ao diâmetro dos poços da microplaca. A varredura foi realizada entre 200 e 1000 nm, fornecendo valores de transmitância para cada comprimento de onda.

4.5.6 Difração de raios-X

Os espectros de difração de raios-X (DRX) foram obtidos seguindo a metodologia descrita por Dehankar *et al.* (2023) usando o equipamento Rigaku DMAX (Rigaku Corporation, Tóquio, Japão) para identificar o padrão cristalino dos filmes. As amostras foram posicionadas no tubo do instrumento calibrado a uma voltagem de 30 kV, com um ângulo de difração 2θ variando de 5° a 90° e um tamanho de passo de $0,01^\circ$.

4.5.7 FTIR

A análise de FTIR foi conduzida usando o Espectrômetro Agilent Cary 630 (Agilent Technologies, Santa Clara, Califórnia, EUA). Espectros para cada amostra foram adquiridos colocando-as na câmara de exposição ao infravermelho e configurando o instrumento para uma varredura de 600 cm^{-1} a 4000 cm^{-1} , a temperatura ambiente, com uma resolução espectral de 1 cm^{-1} (Mondal *et al.*, 2022).

4.5.8 Solubilidade em água

A metodologia de teste de solubilidade em água foi conduzida seguindo o protocolo descrito por da Rocha *et al.* (2018) com várias modificações. Amostras dos filmes foram cortadas em pedaços de $2 \times 2\text{ cm}$ e colocadas em placas de Petri. Essas placas foram então transferidas para um forno de recirculação ajustado para secar a 105°C por 24 horas. Subsequentemente, as placas de Petri foram removidas, e a massa inicial dos filmes (M_i) foi medida. O próximo passo envolveu a colocação das amostras em um béquer contendo 50 ml de água destilada, onde foram submetidas a agitação magnética constante à temperatura ambiente por 1 hora. Após esse período, a solução foi filtrada, e o resíduo sólido retido foi secado novamente sob as mesmas condições descritas anteriormente. A massa final (M_f) foi então medida. A solubilidade foi calculada usando a Equação (2).

$$\text{Solubilidade } (S) = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100\% \quad (2)$$

Onde S representa a solubilidade do filme em água (%), M_i denota a massa inicial (g) e M_f indica a massa final (g).

4.5.9 Permeabilidade ao vapor d'água

A metodologia de teste de PVA foi conduzida de acordo com Zhou, Y. *et al.* (2021), com algumas modificações. Cloreto de cálcio anidro (0% de umidade relativa) foi colocado em um frasco de vidro, que foi selado com as diferentes formulações de filmes. Os frascos foram pesados e colocados em um dessecador contendo uma solução saturada de cloreto de sódio (75% de umidade relativa). Os frascos foram pesados em intervalos de uma hora ao longo de um período de 6 horas. Após esse período, os frascos foram pesados novamente 24 horas após o início do processo. Usando os dados obtidos, um gráfico de massa versus tempo foi plotado, do qual o declive da linha foi determinado. O declive dividido pela área fornece a taxa de transmissão de vapor de água (TTVA). Esse parâmetro, quando multiplicado pela espessura do filme e dividido pela diferença de pressão entre os dois lados, resulta no valor de PVA, conforme descrito pela Equação (3).

$$PVA = \frac{TTVA \times \text{Espessura}}{\Delta P} \quad (3)$$

Onde PVA apresenta a unidade $\text{g}\cdot\text{mm}/\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot\text{kPa}$, TTVA em $\text{g}/\text{h}\cdot\text{m}^2$, espessura em metros e ΔP é a diferença de pressão entre os dois lados do filme em kPa.

4.5.10 Estabilidade térmica

A estabilidade térmica dos filmes foi avaliada por meio de TGA utilizando o equipamento Netzsch STA 449 F3 Jupiter (Netzsch-Gerätebau GmbH, Selb, Alemanha) seguindo a metodologia de Lavorgna, Piscitelli, Mangiacapra *et al.* (2010), com algumas modificações. Amostras dos diferentes filmes foram colocadas em cadinhos de alumina e submetidas a uma rampa de aquecimento de 25 °C a 600 °C, a uma taxa de aquecimento de 10 °C/min, sob purga de gás nitrogênio.

4.5.11 Propriedades mecânicas

As análises das propriedades mecânicas foram realizadas usando o equipamento de análise de textura TAXTplus (TA Instruments, New Castle, EUA), que foi empregado para investigar a RT, AR e Módulo de Young, seguindo a metodologia descrita por Zhang *et al.* (2024). Amostras dos filmes foram cortadas em dimensões de 10 mm × 100 mm com a velocidade de alongamento ajustada em 50 mm/min e a separação inicial das garras fixada em 50 mm. Antes do teste, as amostras foram colocadas em um dessecador à temperatura ambiente contendo uma solução saturada de cloreto de sódio por 48 horas. Os valores obtidos para cada ensaio foram conduzidos em quadruplicata.

Para calcular a RT, foi utilizado os valores de força máxima dividida pela multiplicação da espessura e largura. O AR foi calculado pela divisão da elongação do filme pelo comprimento inicial vezes 100. Para o módulo de elasticidade, foi plotado um gráfico com as informações de tensão e deformação relativa, onde o coeficiente angular da parte linear do gráfico representa o valor do módulo de elasticidade.

4.5.12 Atividade antioxidante

Para a análise de FRAP e TEAC para os filmes foi empregado as mesmas metodologias descritas para quantificação destes no EO e AE. Amostras dos filmes foram solubilizadas em 50 mL de água destilada em um agitador magnético durante 1 hora à temperatura ambiente. As soluções obtidas foram então analisadas conforme descrito anteriormente.

4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os filmes foram produzidos em duplicata, e todas as respostas foram avaliadas usando ambos os conjuntos de duplicatas. Os resultados foram expressos por meio dos valores médios e os desvios padrão correspondentes. Os impactos da adição dos bioativos de alecrim foram analisados por meio de análise de variância (ANOVA) para as respostas espessura, permeabilidade ao vapor de água, parâmetros de coloração, propriedades mecânicas, teor de compostos fenólicos e atividade antioxidante. A análise estatística foi realizada no software Origin. As demais respostas foram analisadas descritivamente.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERIZAÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL E EXTRATO RICO EM COMPOSTOS FENÓLICOS

A análise do perfil de compostos voláteis do EO de alecrim revelou uma diversidade de constituintes, cada um contribuindo de forma única para suas propriedades terapêuticas e sensoriais. Os principais compostos identificados incluem 1,8-cineol, cânfora, borneol, α -terpineol, β -pineno, cumeno, limoneno, linalol e cariofileno. O 1,8-cineol, também conhecido como eucaliptol, é reconhecido por suas propriedades expectorantes e descongestionantes, comumente utilizado em tratamentos respiratórios (Kessler *et al.*, 2022). A cromatografia gasosa acoplada ao detector de ionização de chama revelou que o conteúdo de eucaliptol no EO foi de 58,2 g/100 g, confirmando sua predominância na composição do óleo.

A cânfora e o borneol são conhecidos por suas propriedades analgésicas e antimicrobianas, enquanto o α -terpineol é valorizado por suas propriedades antioxidantes e antifúngicas (Amani *et al.*, 2022; Ban *et al.*, 2016; Mezza *et al.*, 2018; Ribeiro-Santos *et al.*, 2015). A presença dos compostos voláteis confere ao EO de alecrim suas propriedades terapêuticas, incluindo ação antioxidante, anti-inflamatória, antimicrobiana e analgésica. Essas propriedades têm sido exploradas em várias aplicações, incluindo tratamentos medicinais, cosméticos e produtos alimentícios (Andrade, J. M. *et al.*, 2018; Kontogianni *et al.*, 2022). Um ponto importante que deve ser ressaltado é que a qualidade do EO de alecrim pode variar significativamente dependendo de fatores como a região de cultivo, o método de extração e o armazenamento. Portanto, é essencial realizar análises detalhadas do perfil de compostos voláteis para garantir a autenticidade e a eficácia do produto final.

A análise de TPC, FRAP e TEAC foi realizada para o EO. O conteúdo total de fenóis foi de 5075 \pm 906 mg AGE/mL, FRAP foi de 32 \pm 1 μ mol TE/mL e TEAC foi de 14,2 \pm 0,8 μ mol TE/mL.

Em relação ao AE, a quantificação de compostos fenólicos totais foi de 4089 \pm 174 mg AGE/mL. Determinar o conteúdo fenólico no alecrim é de grande importância devido ao potencial antioxidante desses compostos e seus possíveis efeitos benéficos sobre a saúde humana. Nesse sentido, o resultado obtido nesta pesquisa revelou um conteúdo significativo de compostos fenólicos no AE de alecrim, corroborando estudos anteriores que destacam sua riqueza nesses compostos (Oreopoulou *et al.*, 2024; Pizani *et al.*, 2024). A concentração de compostos fenólicos encontrada no alecrim sugere sua relevância como fonte natural desses

antioxidantes. Compostos fenólicos como ácido rosmarínico, ácido cafeico e derivados de flavonoides, conhecidos por suas propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e neuroprotetoras, entre outras, são os principais fenólicos encontrados em extratos de alecrim, conforme relatado na literatura (Ayyildiz; Pelvan; Karadeniz, 2024; Irakli *et al.*, 2023). FRAP e TEAC conduzidos para o extrato mostraram um valor de $45,2 \pm 0,6$ $\mu\text{mol TE/mL}$ e $35,0 \pm 0,4$ $\mu\text{mol TE/mL}$, respectivamente.

5.2 PRODUÇÃO DE FILMES DE CMC

As quantidades de AE e EO variaram dependendo da formulação, a concentração do agente estruturante e plasticizante permaneceram constantes entre as formulações. A Tabela 1 apresentou detalhadamente a composição final dos filmes.

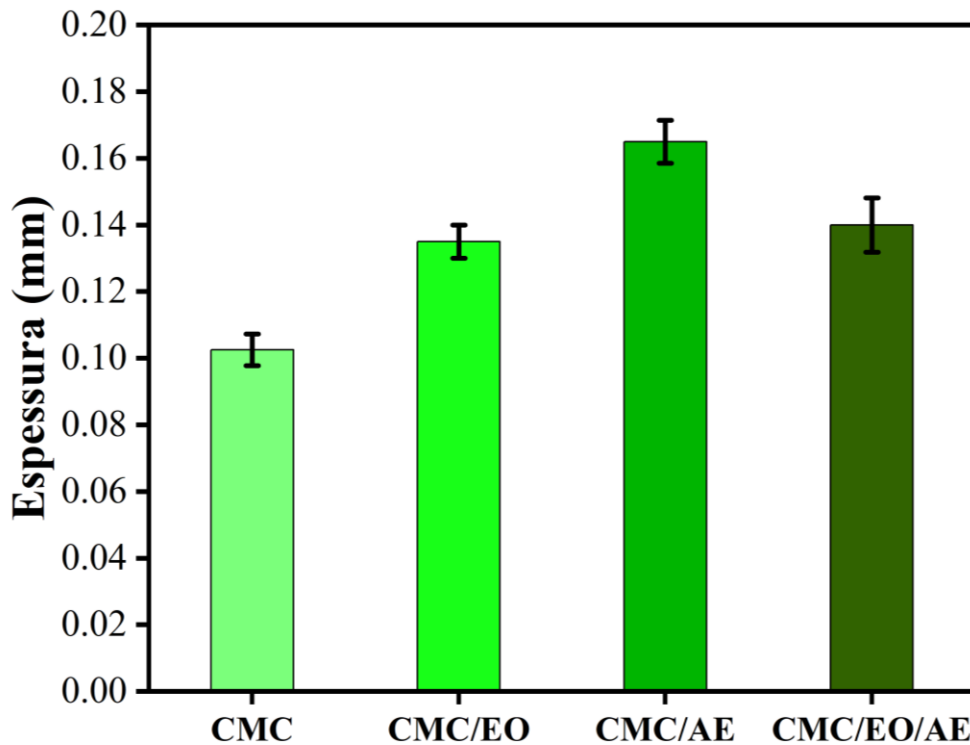
A Figura 3 apresenta o resultado do método de *casting* para as quatro formulações. Os filmes apresentaram diferenças qualitativas na coloração dependendo da sua formulação, porém, todos apresentaram características estruturais similares como fácil desmoldagem, ausência de rachaduras e flexibilidade.

5.3 CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES

5.3.1 Espessura

A determinação da espessura de filmes comestíveis é um passo importante na caracterização desses materiais, pois influencia diretamente suas propriedades físicas, especialmente as propriedades mecânicas e de barreira. Os resultados da espessura dos filmes foram representados pela Figura 2. Os resultados deste estudo indicaram que a incorporação de EO e AE de alecrim influenciou significativamente ($p\text{-valor} < 0,05$) na espessura do filme.

Figura 2 – Espessura para cada formulação do filme



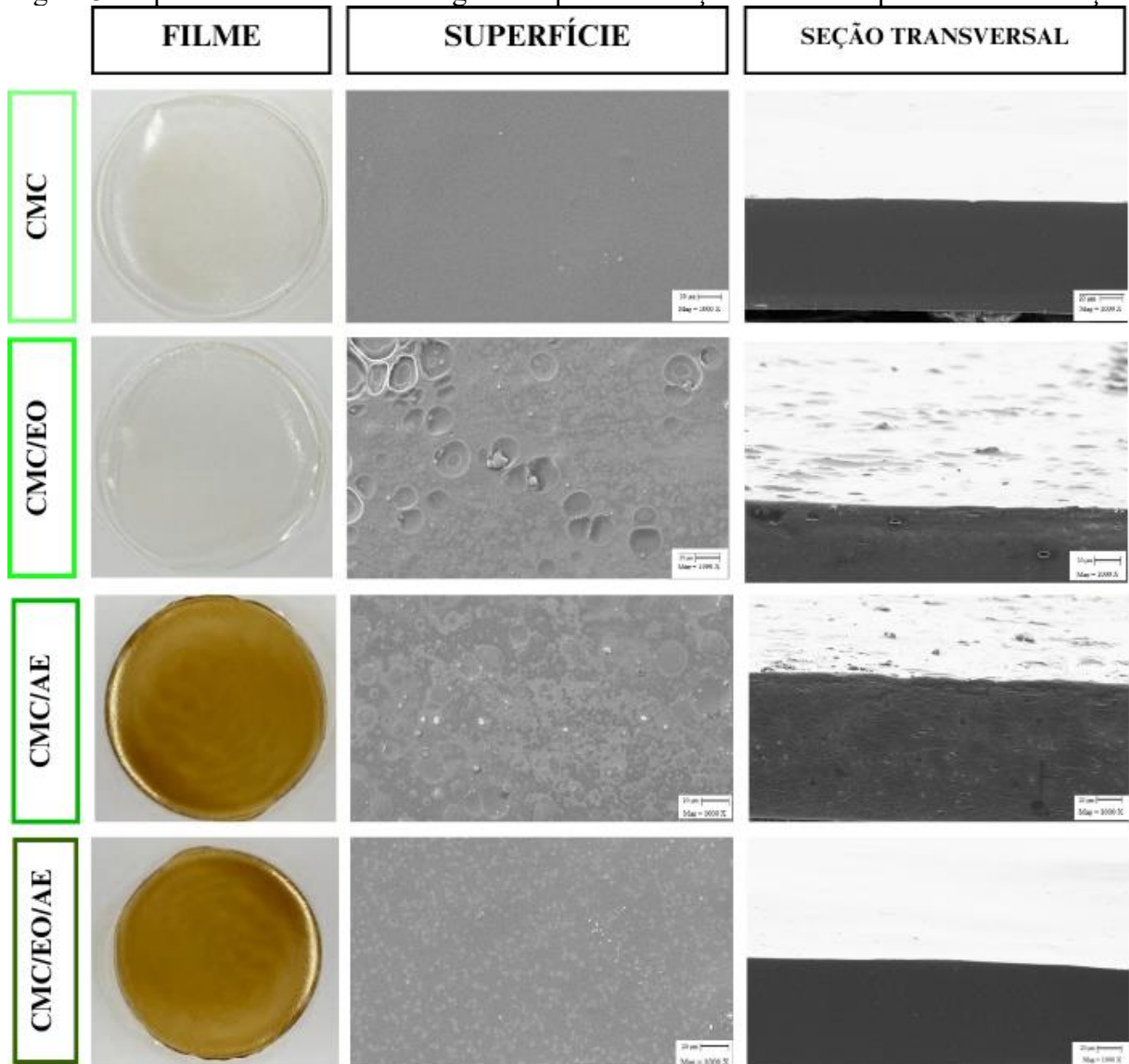
Fonte: Autor (2024).

A análise da Fig.2 sugere que a adição de EO e AE aumentou a espessura do filme em comparação com o filme de CMC. Este aumento está relacionado com a maior quantidade de matéria na formulação do filme, e ainda, a habilidade do EO de interagir com a cadeia polimérica, alterando a integridade da matriz, e conseqüentemente, aumentando a espessura (Abedi; Sayadi; Oliyaei, 2024; Bhatia; Al-Harrasi; *et al.*, 2024; Phuong *et al.*, 2023).

5.3.2 Morfologia

A análise da morfologia das amostras foi realizada por meio da técnica de MEV, a qual é empregada para observar a microestrutura dos filmes, incluindo características como tamanho e distribuição de rachaduras e poros, além de outros aspectos da superfície. Esta técnica analítica é capaz de elucidar propriedades dos filmes como elasticidade, permeabilidade e a resistência (Bhatia; Abbas Shah; *et al.*, 2024). A Figura 3 ilustra a aparência dos filmes e os resultados da análise MEV, exibindo a seção transversal e a superfície de cada filme em uma escala de 20 μm e $\text{Mag} = 1000 \times$.

Figura 3 – Aparência visual e morfologia da superfície e seção transversal para cada formulação



Fonte: Autor (2024).

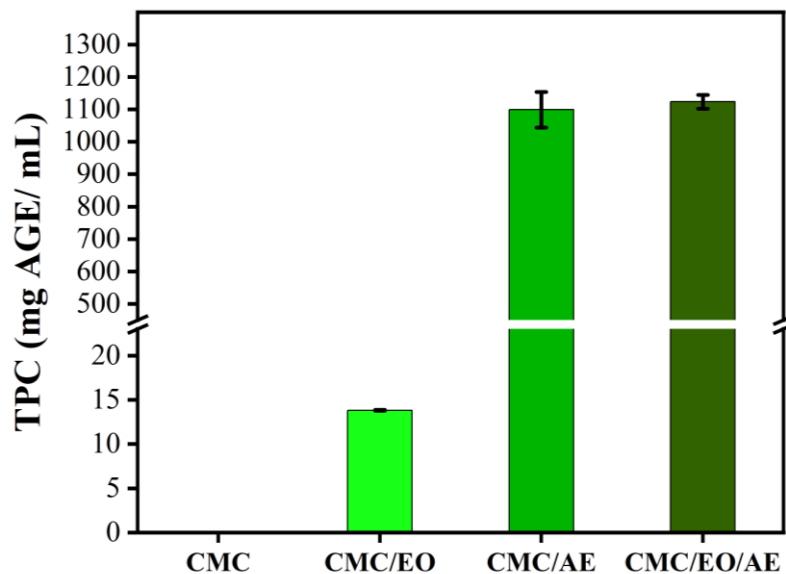
A Figura 3 ainda ilustra a análise da superfície por MEV de cada formulação de filme. O filme de sigla CMC exibiu as características mais homogêneas tanto na superfície quanto na seção transversal, mostrando mínimas deformidades e vazios em comparação com os outros filmes, consistente com estudos anteriores (Dashipour *et al.*, 2014; Ebrahimi *et al.*, 2018). Por outro lado, o filme de CMC/EO mostrou menos deformidades em comparação com o CMC/AE devido à remoção de impurezas sólidas durante o processo de hidrodestilação, resultando em uma superfície mais homogênea. No entanto, foi observada a presença de vazios maiores no filme CMC/EO, provavelmente causada pela coalescência de algumas gotículas do EO de alecrim na emulsão formadora de filme durante a secagem do filme, resultando em gotas maiores na superfície e ligeiro aumento da fragilidade da matriz (Ma *et al.*, 2016; Song; Zuo;

Chen, 2018; Zhou, Y. *et al.*, 2021). O filme de CMC/EO também exibiu vazios maiores, em menor quantidade, na seção transversal. Em contraste, o filme de CMC/AE apresentou uma superfície heterogênea com deformidades como bolhas e regiões possivelmente contendo compostos cristalizados ou micropartículas que passaram pelo processo de filtração do AE (Erken *et al.*, 2022; Nadira *et al.*, 2022). A análise da seção transversal revelou vazios resultantes da evaporação de compostos fenólicos durante a secagem ou da natureza reológica da matriz, potencialmente impactando a RT e as propriedades mecânicas do filme. No entanto, o filme de CMC/AE apresentou numerosas, porém pequenas, deformidades, mas uma seção transversal consistente e sem fissuras. Por fim, o filme de CMC/EO/AE apresentou características intermediárias entre os filmes de CMC/EO e CMC/AE, com vazios tanto na superfície quanto nas visualizações transversais, menores do que no CMC/AE e maiores do que nos filmes de CMC/EO, com volumes de vazio menores do que ambos. No geral, todos os filmes apresentaram uma matriz consistente com propriedades estruturais de polímeros, com algumas heterogeneidades de baixas amplitudes e regiões contendo pequenos grânulos. Esses achados sugerem a aplicação bem-sucedida da técnica de *casting* e a formulação dos filmes.

5.3.3 Compostos fenólicos totais

A determinação do TPC nos diferentes filmes de CMC foi conduzida. A Figura 4 mostra os resultados obtidos.

Figura 4 – Compostos fenólicos totais para cada formulação do filme



Fonte: Autor (2024).

Os valores para TPC estão diretamente relacionados à adição do AE rico em compostos fenólicos, como previamente quantificado. Estudos anteriores sobre a adição de extrato de casca de romã a filmes feitos a partir de feijão-mungo mostraram comportamento semelhante em relação ao aumento no TPC com a adição de extrato rico em compostos fenólicos (Moghadam *et al.*, 2020).

5.3.4 Cor e opacidade

A Tabela 2 apresenta os parâmetros L, a, b e a opacidade para as diferentes formulações dos filmes. Uma diferença significativa (p -valor $<0,05$) foi observada no índice de amarelamento para os filmes incorporados com EA. Esta diferença está diretamente associada com a cor dos compostos fenólicos primários presentes, como quantificado anteriormente pelo TPC.

Tabela 2 – Parâmetros de cor e opacidade para os diferentes filmes

Filme	L	a	b	IA	Opacidade
CMC	90,18±0,25	2,21±0,05	-4,38±0,42	-1,25±0,67	0,74
CMC/EO	89,27±0,41	1,90±0,13	-0,83±0,24	-1,33±0,38	2,12
CMC/AE	65,85±0,62	9,94±0,36	13,95±0,87	91,62±2,73	1,72
CMC/EO/AE	60,72±2,50	13,95±1,27	42,76±2,08	100,86±8,90	2,39

Fonte: Autor (2024).

A diminuição na luminosidade seguida pelo aumento na opacidade dos filmes após a incorporação de AE e EO foi esperada, dado que os compostos fenólicos dentro da matriz aumentam a absorção de luz e contribuem para a coloração das plantas (Andrade, M. A. *et al.*, 2018). Este aumento na opacidade pode ser um problema para o consumidor final, pois compromete a visibilidade e a coloração original dos produtos alimentícios (Lan *et al.*, 2021). Apesar disso, esses filmes podem ser adequados para o transporte e armazenamento de produtos alimentícios ou farmacêuticos, onde a preservação é o objetivo principal e as características visuais são menos importantes.

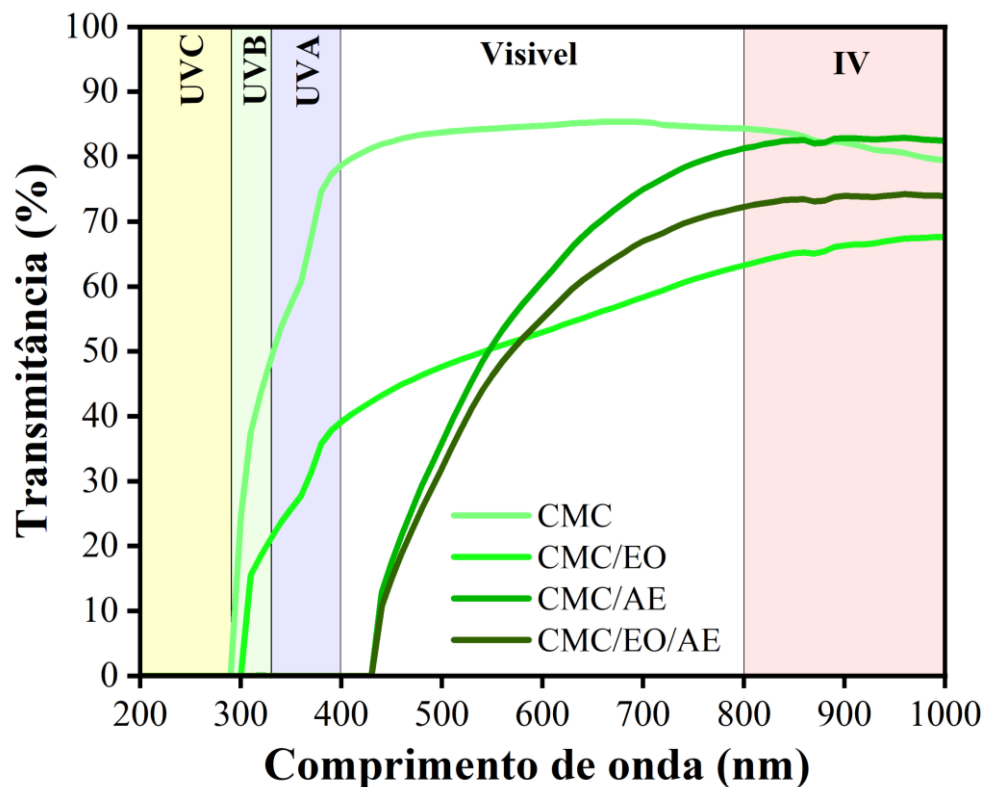
Por outro lado, os filmes que incorporam apenas o EO não mostraram diferenças significativas (p -valor $>0,05$) em comparação com o CMC em termos de Índice de Amarelamento (IA) e opacidade, indicando sua aplicabilidade para consumidores finais sem

implicar na visibilidade do produto, ao mesmo tempo em que retêm as propriedades antioxidantes e antimicrobianas dos compostos fenólicos. Assim, os filmes que contêm AE e EO devem ser direcionados para diferentes propósitos, cada um com sua própria importância: AE, apesar de reduzir a visibilidade do produto, oferece capacidades antioxidantes e de conservação superiores em comparação com o EO isoladamente. Por outro lado, o EO mantém as características visuais e fornece atividade antioxidante menor.

5.3.5 Transmissão de luz

Os perfis de transmitância de luz demonstram o comportamento dos filmes quando expostos a diferentes comprimentos de onda: ultravioleta, espectro visível e infravermelho, como mostrado na Fig. 5.

Figura 5 – Transmitância para cada formulação dos filmes



Fonte: Autor (2024).

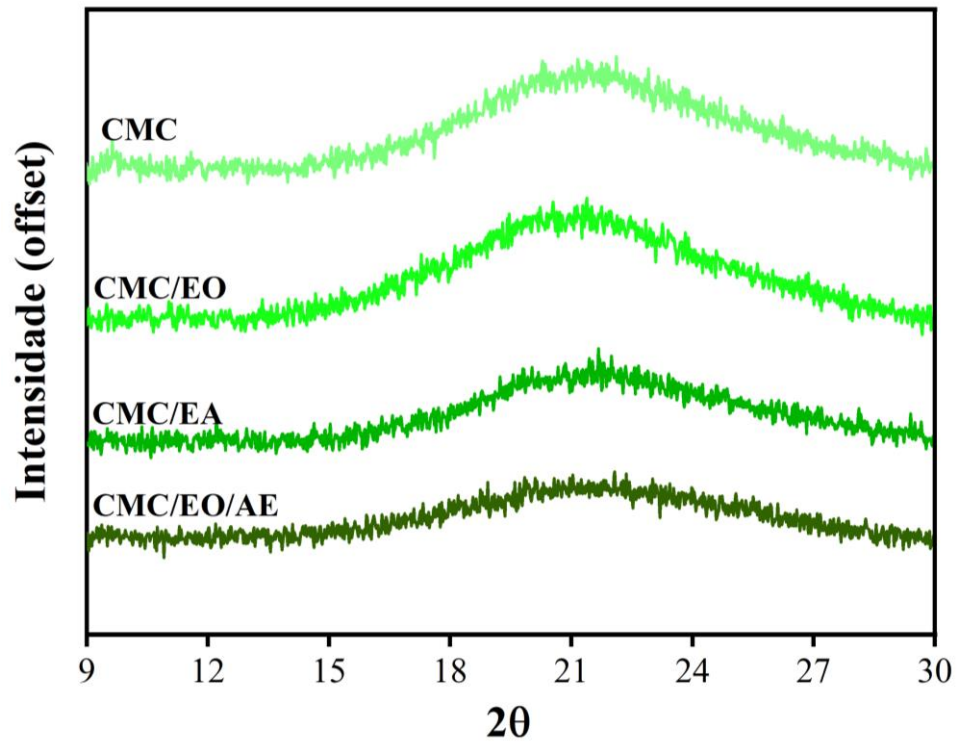
A partir da análise da Fig. 5 foi possível observar um comportamento semelhante entre os filmes que contêm AE, com uma maior absorção de radiação no espectro ultravioleta. Isso é atribuído à capacidade de absorção desses comprimentos de onda pelos compostos fenólicos,

que são abundantes no extrato. Nas plantas, essa característica previne danos causados pela radiação solar (Andrade, M. A. *et al.*, 2018). Tal característica permite que esses filmes sejam adequados para produtos alimentícios ou farmacêuticos sensíveis à UV, conforme apoiado pelos resultados obtidos sobre a coloração. Esses filmes oferecem maior estabilidade durante o transporte e preservação desses produtos, prevenindo danos induzidos pela radiação e prolongando sua vida útil, ao mesmo tempo em que fornecem a capacidade antioxidante desses compostos aos alimentos. Por outro lado, o CMC/EO absorveu uma quantidade menor de radiação UV, ligada a uma menor concentração de compostos fenólicos. A dispersão da luz pelas partículas de óleo é o principal fator responsável por essa característica. Isso demonstra que, ainda em alinhamento com os resultados de coloração, o CMC/EO exibe características superiores para uso direto pelo consumidor, pois tem menos exposição à luz UV e, entre isso, sua coloração e transparência ajudam na visibilidade do produto alimentício embalado (da Rocha *et al.*, 2018; Zhou, Y. *et al.*, 2021). Por fim, o filme de CMC exibiu características consistentes com aquelas encontradas na literatura, com uma transmitância acima de 80% na luz visível.

5.3.6 Difração de raios-X

A Figura 6 ilustra os perfis de DRX das quatro formulações de filmes. Esta análise é uma técnica poderosa usada para avaliar o arranjo atômico ou molecular estrutural de materiais, fornecendo informações sobre suas propriedades (Marangoni Júnior *et al.*, 2022). Os materiais cristalinos apresentam um arranjo atômico molecular regular e ordenado, resultando em picos nítidos e bem definidos. (Bhatia; Al-Harrasi; *et al.*, 2024). Fica evidente a partir dos dados que todos os filmes exibem um único pico semicristalino característico semelhantes em $2\theta \approx 21^\circ$, indicando uma natureza amorfa com picos cristalinos mal discerníveis. O comportamento consistente observado em todos os filmes sugere que a introdução de compostos fenólicos não induz alterações significativas nas características amorfas (Santana *et al.*, 2024). Entretanto, é possível observar uma diminuição de intensidade no pico apresentado para os filmes contendo AE, demonstrando uma diminuição na cristalinidade destes filmes. Resultados estes em concordância com a literatura (Nayak *et al.*, 2024; Toro-Márquez; Merino; Gutiérrez, 2018).

Figura 6 – Difração de raios-X para todas as formulações dos filmes

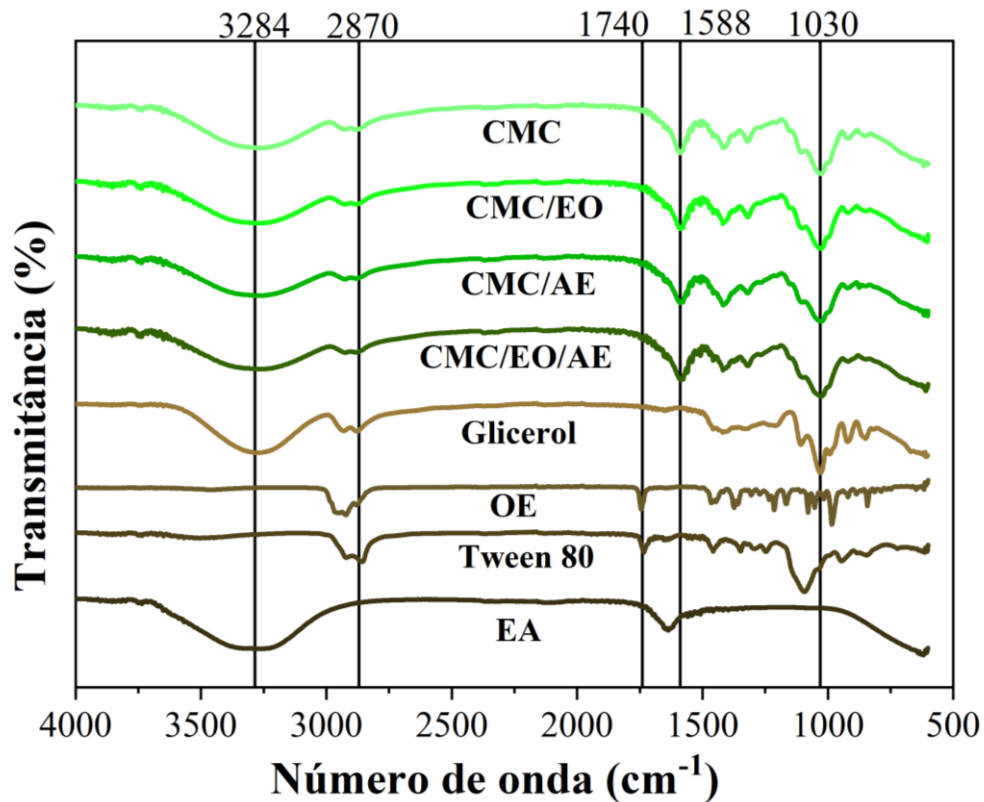


Fonte: Autor (2024).

5.3.7 Espectroscopia de FTIR

A análise de FTIR é empregada para investigar os grupos funcionais presentes em cada componente, bem como suas interações dentro da matriz do filme. Quando a técnica de *casting* é aplicada corretamente, é esperado que o perfil de cada filme possa refletir os distintos grupos funcionais de cada substância individualmente, juntamente com as interações intramoleculares entre os compostos envolvidos. A Figura 7 ilustra as diferenças entre os componentes.

Figura 7 – FTIR para os componentes e para os filmes



Fonte: Autor (2024).

Para o glicerol puro, uma banda de absorção ampla em 3260 cm⁻¹ é identificada, correspondendo ao alongamento O-H do grupo álcool. As bandas em 2930 e 2878 cm⁻¹ são atribuídas ao alongamento das ligações C-H. O dobramento do grupo -OH é caracterizado pela banda em 1653 cm⁻¹. A banda em 1418 cm⁻¹ está associada à deformação angular de -CH₂, enquanto as bandas em 1109 e 1030 cm⁻¹ representam o alongamento das ligações C-O em álcoois secundários e primários (Custodio *et al.*, 2022; Gabhane; Kumar; Sarma, 2020; Jutrzenka Trzebiatowska *et al.*, 2018; Nasir; Mirus; Ismail, 2017; Tarique; Sapuan; Khalina, 2021).

Para o Tween 80®, os picos em 2915 e 2860 cm⁻¹ se destacam, representando as vibrações de alongamento de CH₃ e CH₂, respectivamente. Além disso, a banda em 1735 cm⁻¹ é característica do alongamento de C=O. Finalmente, a banda em 1092 cm⁻¹ caracteriza as ligações C-O-C (Hillgren; Lindgren; Alden, 2002; Khan *et al.*, 2011; Pramod *et al.*, 2015).

Para o AE, a banda inicial entre 3380 e 3200 cm⁻¹ é característica dos grupos hidroxila dos compostos fenólicos. O pico em 1630 cm⁻¹ representa o alongamento do grupo C=O, e o pico final em 618 cm⁻¹ significa o alongamento das ligações C-O, juntamente com o

dobramento fora do plano para a simetria de grupos hidroxila saturados, terciários e secundários (Dzimitrowicz *et al.*, 2019; Ghaedi *et al.*, 2015).

No EO, bandas-chave indicativas de 1,8-cineol foram observadas em 1373, 1213, 1079, 984 e 842 cm^{-1} . A vibração perto de 2930 cm^{-1} representa o grupo hidroxila dos compostos fenólicos (García *et al.*, 2016).

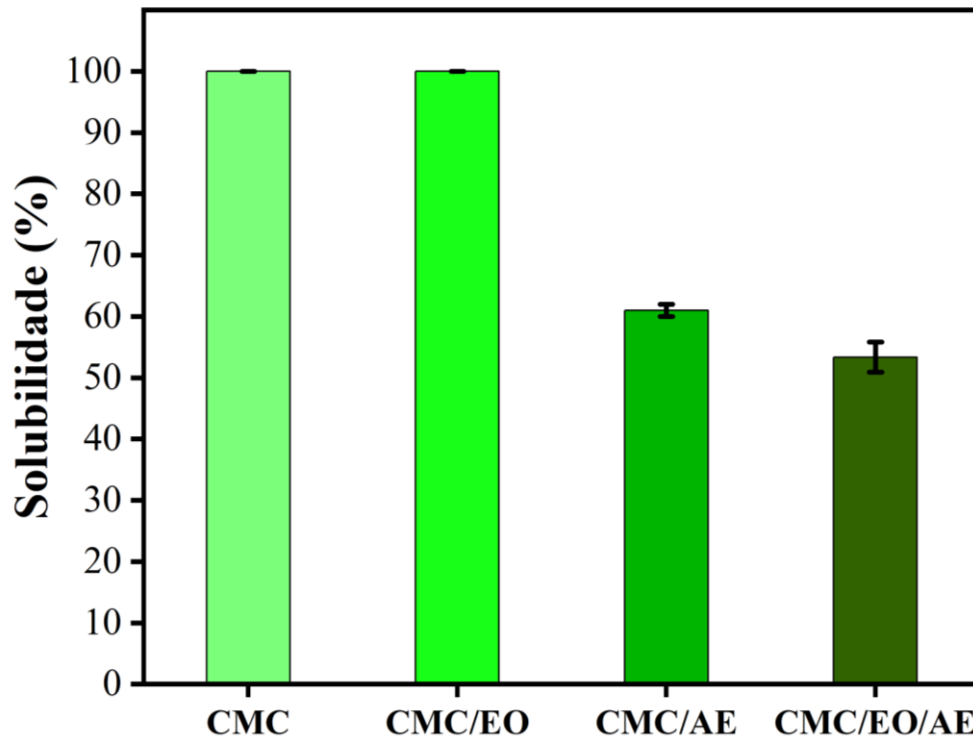
A análise dos espectros dos filmes indica picos de banda consistentes, com variações mínimas na amplitude. O filme CMC mostrou um deslocamento maior na banda perto de 3284 cm^{-1} , devido à sua maior concentração de glicerol na composição, sugerindo um potencial para maior permeabilidade a vapor de água e solubilidade em comparação com os outros filmes. A incorporação de EO levou a uma diminuição na amplitude da banda perto de 3284 cm^{-1} , indicando uma redução no alongamento do grupo -OH típico dos álcoois. Isso é apoiado por um ligeiro aumento no deslocamento da banda em 1030 cm^{-1} , refletindo o alongamento das cadeias de -CH₂ e um aumento nas interações não polares (Bhatia; Al-Harrasi; *et al.*, 2024). Um comportamento semelhante foi observado com menor extensão no CMC/AE, atribuído à interação entre as cadeias de compostos fenólicos presentes, também resultando em um aumento na banda de 1030 cm^{-1} . A observação de um novo pico em 1590 cm^{-1} estabelece as interações de ligação de hidrogênio entre os constituintes do filme (Seyedzadeh-Hashemi *et al.*, 2023).

Em suma, a análise de FTIR indica a incorporação bem-sucedida de compostos na matriz, sugerindo a efetividade da técnica de *casting* para todos os filmes, revelando bandas de ligações intermoleculares dos compostos individuais e suas interações uns com os outros (Bhatia *et al.*, 2023; Lan *et al.*, 2021).

5.3.8 Solubilidade

Para filmes destinados a aplicações de embalagem de alimentos, a solubilidade é um fator crucial a ser analisado juntamente com a PVA, pois reflete a resistência do filme à água. Portanto, o objetivo é alcançar um filme com solubilidade mínima (da Rocha *et al.*, 2018). Polissacarídeos comumente utilizados em formulações de filmes apresentam caráter hidrofílico, levando a um maior valor de solubilidade. Para reduzir seu valor, é possível considerar aumentar a quantidade de glicerol na formulação e incorporar compostos hidrofóbicos, como EO e compostos fenólicos (Ekrami; Emam-Djomeh, 2014; Erken *et al.*, 2022). A Fig. 8 mostra a diferença entre as formulações dos filmes.

Figura 8 – Solubilidade de todas as formulações dos filmes



Fonte: Autor (2024).

Neste estudo, foi observado uma diminuição na solubilidade nos filmes de CMC/AE e CMC/EO/AE, atribuída à natureza hidrofóbica dos compostos fenólicos, que interagiram com os grupos hidroxila (p -valor $< 0,05$). Apesar do EO ser um componente hidrofóbico, sua adição na matriz filmogênica causou uma heterogeneidade e presença de bolhas em sua superfície, evidenciados pela análise MEV, enfraquecendo assim a estrutura e fazendo com que as moléculas de água se difundissem facilmente pelo filme (Liu *et al.*, 2023)

5.3.9 Permeabilidade ao vapor d'água

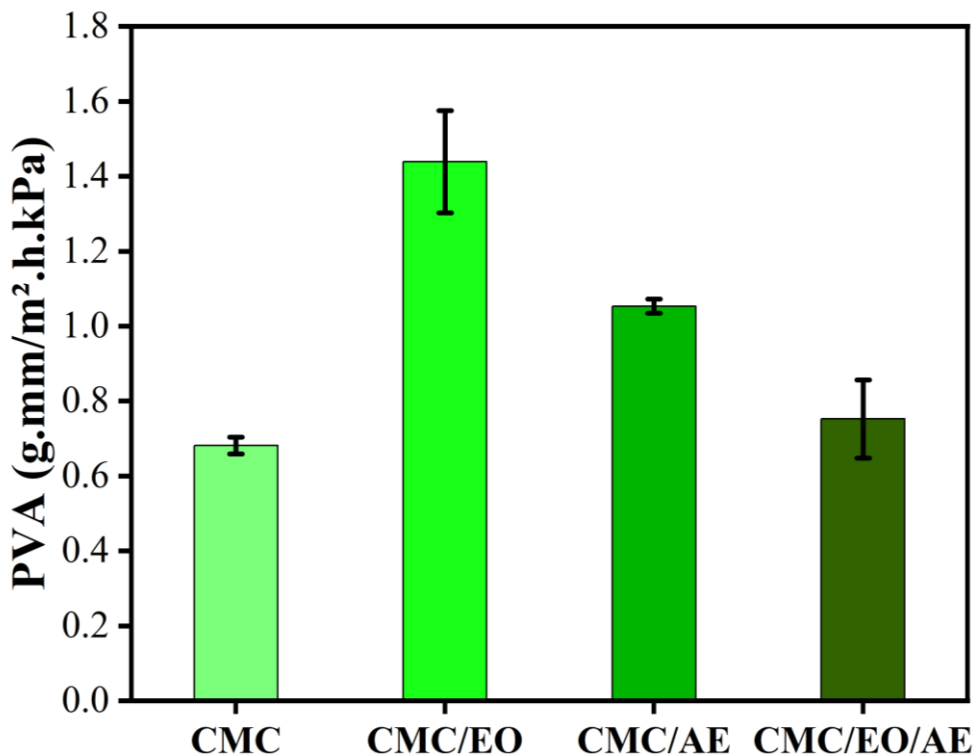
A absorção de umidade entre os alimentos e o ambiente pode reduzir a vida útil dos produtos alimentícios através de vários mecanismos de deterioração envolvendo mudanças físicas, químicas e microbiológicas. Conseqüentemente, um filme biopolimérico projetado para aplicações alimentícias com menor PVA pode prolongar a vida útil dos alimentos protegidos ou armazenados (Ekrami; Emam-Djomeh, 2014).

Devido à natureza hidrofílica do AE e à natureza lipofílica do EO, espera-se que a umidade seja retida na superfície do filme (Erken *et al.*, 2022). Algumas pesquisas relataram em seus estudos que as propriedades de barreira ao vapor de água dependem do número de ligações polares disponíveis (-OH), e a natureza fenólica do extrato que contém ligações de

hidrogênio, resultando em propriedades de barreira ao vapor de água ainda menores (Lan *et al.*, 2021).

A Fig.9 mostrou que a PVA aumentou à medida que a formulação mudou. A PVA foi distinta entre os grupos CMC - CMC/EO e CMC - CMC/EO/AE, (p -valor $< 0,05$). A menor permeabilidade foi do filme de CMC, sendo $0,681 \pm 0,022$ g.mm/m².h.kPa. A maior permeabilidade foi do CMC/EO, sendo $1,439 \pm 0,136$ g.mm/m².h.kPa, o que poderia ser apoiado pela análise de MEV que mostra furos e microporos na estrutura deste filme, permitindo a difusão das moléculas de água (Valizadeh *et al.*, 2019). O CMC/AE mostrou uma PVA de $1,053 \pm 0,019$ g.mm/m².h.kPa e o CMC/EO/AE de $0,752 \pm 0,105$ g.mm/m².h.kPa.

Figura 9 – Permeabilidade ao vapor d'água para as diferentes formulações dos filmes



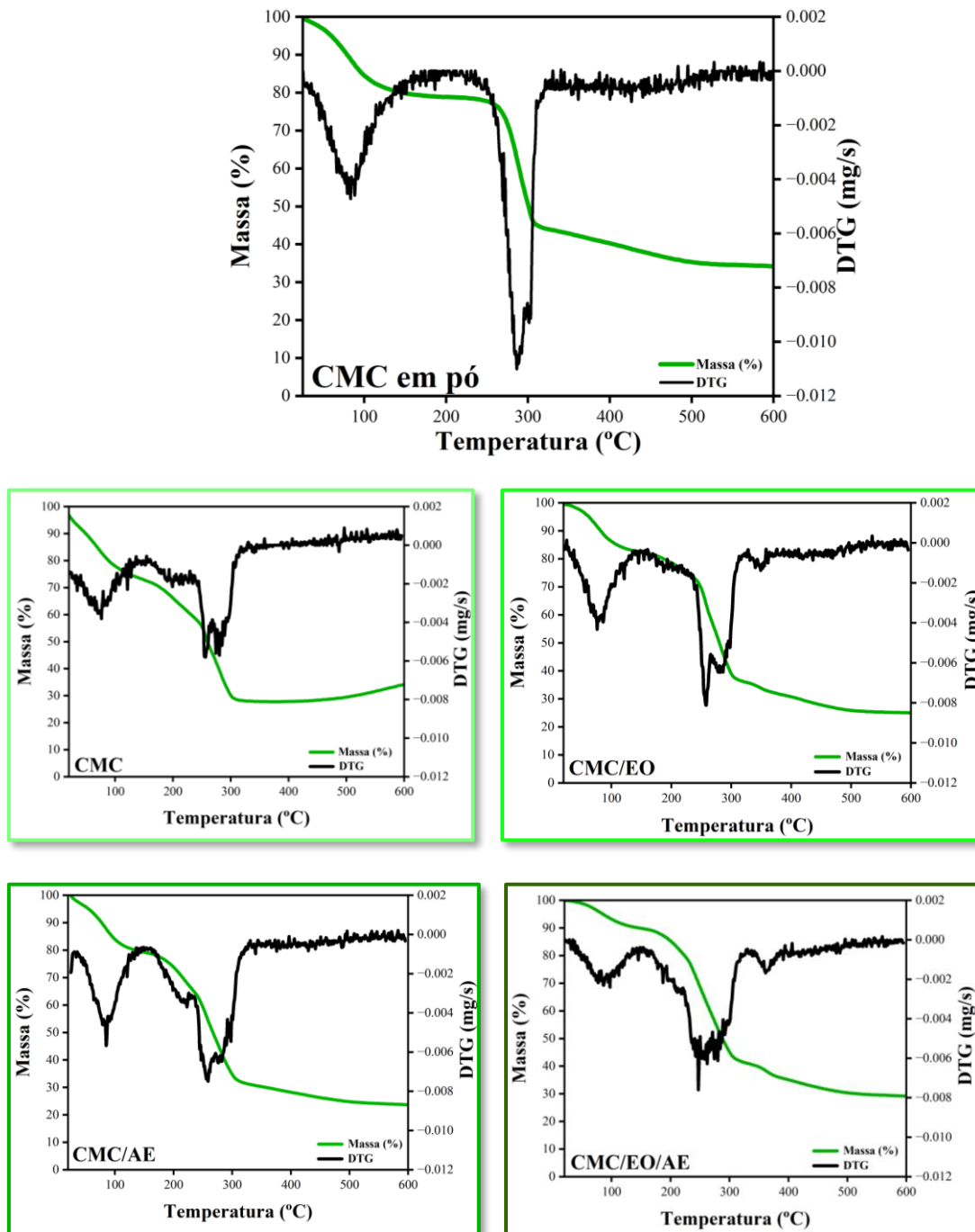
Fonte: Autor (2024).

5.3.10 TGA

A TGA é essencial para entender a estabilidade térmica dos filmes produzidos, bem como o comportamento do filme quando exposto a variações de temperatura, que podem ocorrer durante o armazenamento e transporte de produtos. Ao analisar esses dados, é possível inferir qual filme tem melhor tolerância à variação térmica, indicando ligações intermoleculares mais fortes.

A Figura 10 ilustra o perfil de decomposição térmica do pó de CMC. Tipicamente, a degradação térmica de polissacarídeos envolve dois fenômenos: a liberação de moléculas de água da estrutura polimérica, seguida pela quebra de cadeias e decomposição (Gheribi *et al.*, 2018). Observa-se que o primeiro passo de perda de massa, ocorrendo entre 30 °C e 170 °C, é característico da vaporização de água ligada à matriz, representando 20 % da perda de massa total, de acordo com a literatura. O segundo passo, entre 170 °C e 320 °C, é marcado pela decomposição do CMC em CO₂, contribuindo com 36 % da perda de massa (El-Sayed *et al.*, 2011).

Figura 10 – Perfis de estabilidade térmica para o CMC em pó e as diferentes formulações dos filmes



Fonte: Autor (2024).

A Figura 10 ainda ilustra a degradação térmica de todas as formulações de filmes. Em todos os casos, a primeira etapa de decomposição ocorreu entre 30 °C e 150 °C, com um efeito mais pronunciado em filmes contendo compostos voláteis, como CMC/EO, CMCAE e CMC/EO/AE. Entre esses, uma mudança significativa é observada no filme com AE em comparação com os outros, devido à volatilização de compostos bioativos como carnosol e

ácido carnosóico (Cordeiro *et al.*, 2012; Zhou, W. *et al.*, 2021). Além disso, filmes contendo compostos fenólicos exibem um pico distinto entre 115 °C e 320 °C, indicando a volatilização desses compostos.

Para os filmes CMC/EO e CMC/EO/AE, que incluem glicerol e Tween 80® em sua composição, a volatilização desses compostos é observada entre 150 °C e 360 °C, como evidenciado pela análise da área integral sob a curva de taxa de decomposição de massa nesse intervalo, particularmente pronunciada no filme CMC/EO/AE devido ao seu maior conteúdo de compostos voláteis.

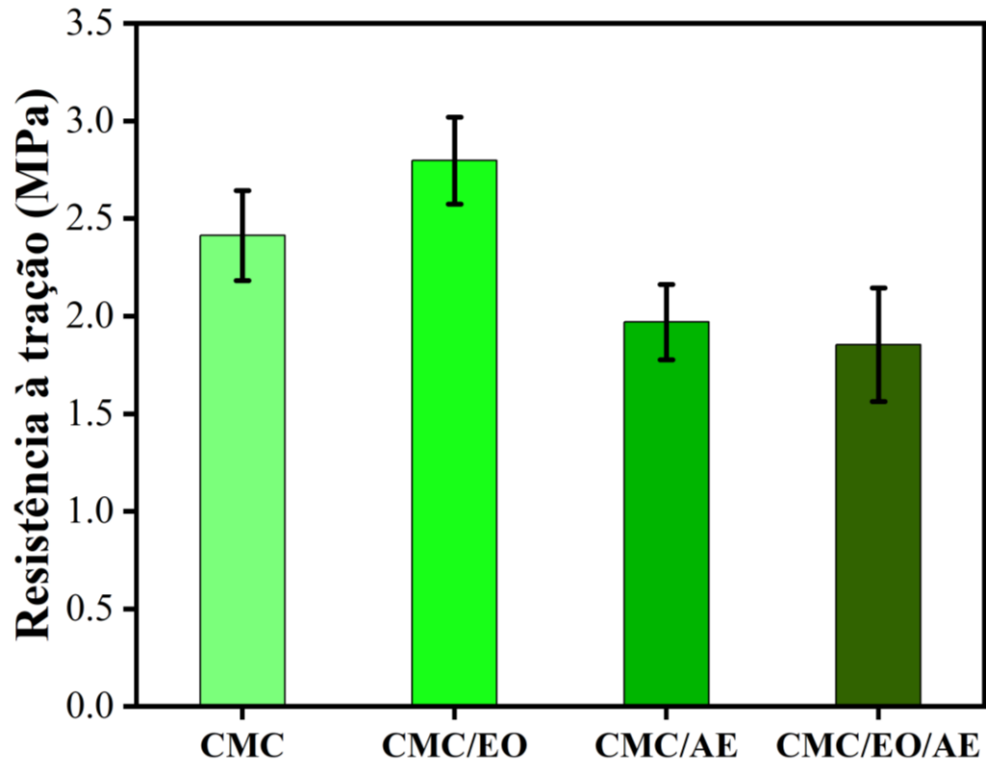
De 360 °C a 600 °C, ocorre a decomposição da matriz polimérica, uma etapa semelhante para todos os filmes, exceto para o CMC, que exibiu menor degradação térmica em comparação com os outros, possivelmente devido a interações mais fracas entre as cadeias de carbono, como evidenciado pela análise de FTIR. Os grupos hidroxila presentes em filmes com compostos fenólicos contribuíram para uma maior estabilidade térmica da matriz em altas temperaturas (Xue *et al.*, 2019).

Por outro lado, os filmes CMC/AE, CMC/EO, CMC/EO/AE mostraram uma taxa de perda de massa mais alta em temperaturas mais baixas, levando a uma menor estabilidade térmica em temperaturas mais brandas, sugerindo que a refrigeração possa ser necessária para a aplicação ótima desses filmes. Os valores finais de decomposição térmica não mostraram diferenças significativas (p-valor > 0,05).

5.3.11 Propriedades mecânicas

As propriedades mecânicas desempenham um papel crucial na avaliação da integridade estrutural e do desempenho dos filmes. Entre essas propriedades, a RT se destaca como uma medida crítica, representando a força máxima por unidade de área que um filme pode suportar antes de romper. Esse parâmetro é fundamental na avaliação da resistência do filme a forças e tensões externas. A Figura 11 mostra a diferença de RT para os filmes.

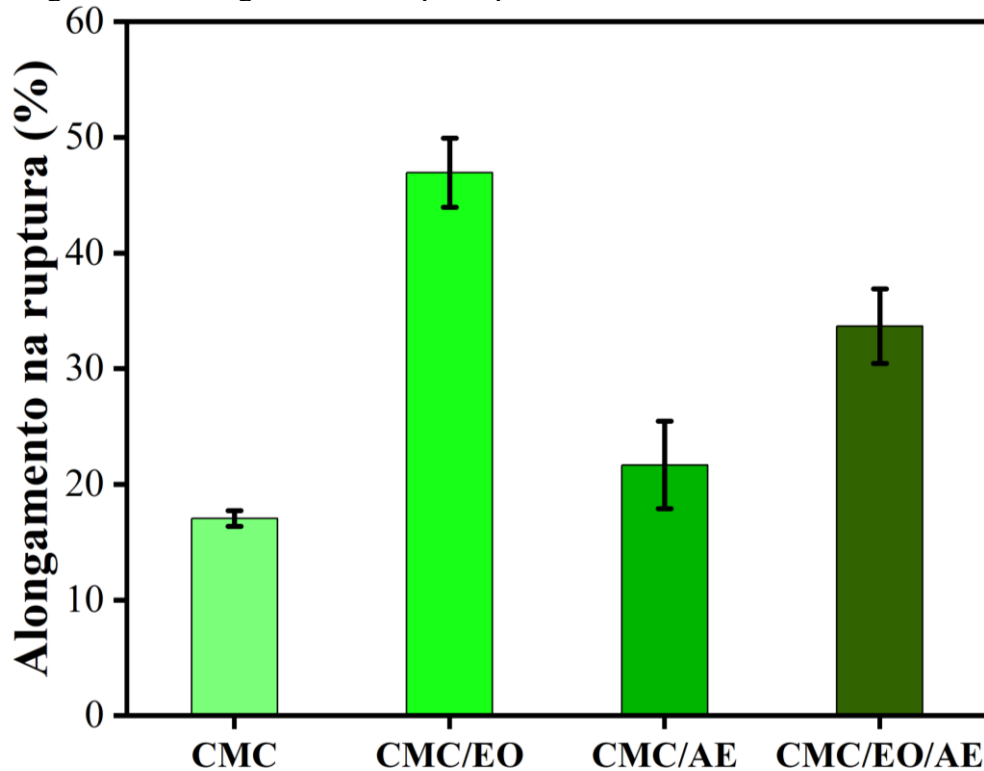
Figura 11 – Resistência à tração para os diferentes filmes



Fonte: Autor (2024).

AR é outra propriedade mecânica essencial que fornece informações sobre a ductilidade e flexibilidade do filme. É definido como a razão entre a extensão do material no ponto de ruptura e seu comprimento original. Um alongamento maior na quebra indica um material mais flexível e “esticável”, o que pode ser vantajoso em aplicações que exigem resistência e capacidade de deformação. A Figura 12 apresenta os valores de AR para os diferentes filmes.

Figura 12 – Alongamento na ruptura para os filmes



Fonte: Autor (2024).

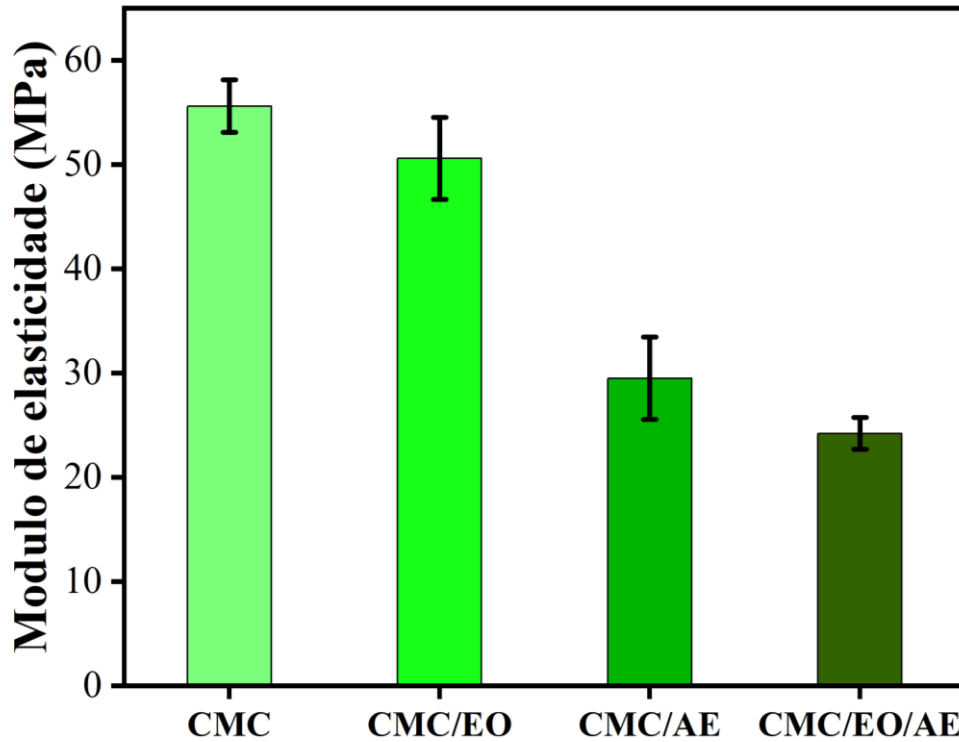
As diferenças nas formulações de filmes não impactaram os valores da propriedade de RT (p -valor $> 0,05$). O filme CMC/EO/AE exibiu o menor valor de RT, seguido pelo CMC/AE, CMC/EO, e o maior valor foi registrado para o filme CMC em. Embora não tenham sido observadas diferenças significativas, a redução nos valores de RT pode ser atribuída à incorporação de EA no filme, que contém compostos hidrofóbicos como flavonoides, ácidos fenólicos e ésteres. Quando esses compostos são incorporados na matriz do filme, podem levar a uma diminuição nas interações intermoleculares das cadeias poliméricas (Eskandarinia *et al.*, 2018; Marangoni Júnior *et al.*, 2022; Pastor *et al.*, 2010).

O AR exibiu valores distintos entre os filmes CMC e CMC/EO, bem como entre CMC/EO e CMC/EO/AE (p -valor $< 0,05$). O maior valor nesta análise foi registrado para o filme CMC/EO, seguido pelo CMC/EO/AE, CMC/AE e CMC. Esses achados sugerem que o OE influencia essa propriedade mecânica devido ao seu efeito plastificante no filme, promovendo o movimento das cadeias poliméricas e aumentando a flexibilidade do filme (Kavoosi *et al.*, 2014; Zhang *et al.*, 2020; Zhou, W. *et al.*, 2021).

Sobre o Módulo de elasticidade, não houve diferenças significativas (p -valor $> 0,05$) entre CMC - CMC/EO e CMC/AE - CMC/EO/AE, mas CMC/EO/AE mostrou o menor valor para essa análise, indicando que tinha mais flexibilidade ou menos rigidez sob as forças. Isso

pode ser explicado pelas interações entre os compostos fenólicos e a matriz biopolimérica, que poderiam criar novas ligações, melhorando a estrutura de coesa (Bocker; Silva, 2024). A Figura 13 apresenta os valores do módulo de elasticidade.

Figura 13 – Módulo de elasticidade para os filmes

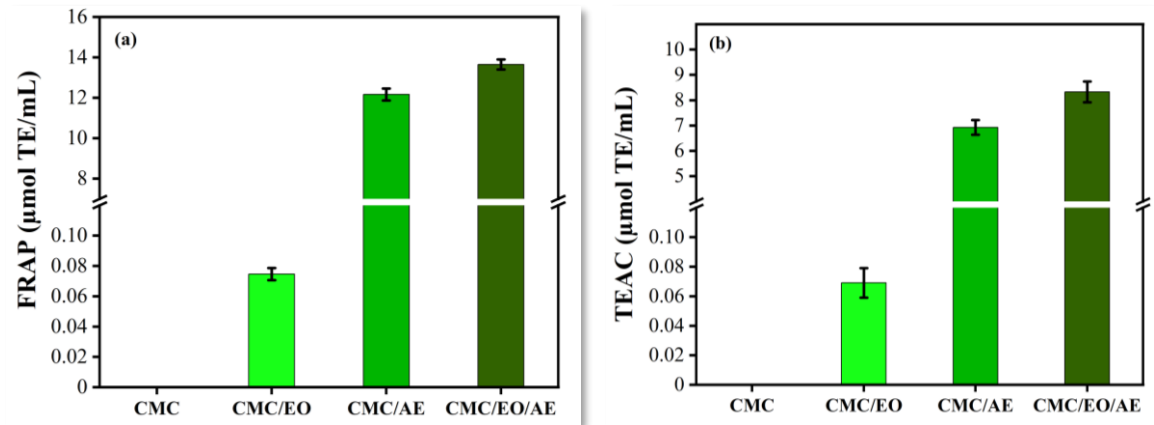


Fonte: Autor (2024).

5.3.12 Análises antioxidantes

O impacto da adição de EO e AE nos filmes de CMC foi estudado por meio dos ensaios de atividade antioxidante utilizando as técnicas FRAP e TEAC. Os resultados estão apresentados nas Figuras 14 (a) e (b).

Figura 14 – Resultado dos ensaios de atividade antioxidante FRAP (a) e TEAC (b) para os diferentes filmes



Fonte: Autor (2024).

Os resultados do FRAP não apresentaram diferença significativa (p -valor $> 0,05$) entre o filme CMC e CMC/EO, enquanto isso, para os filmes com extrato, os valores foram aproximadamente 300 vezes maiores (p -valor $< 0,05$).

A análise TEAC apresentou um comportamento semelhante ao FRAP, com os valores para os filmes de CMC e CMC/EO mostrando nenhuma diferença significativa. Por outro lado, os valores para os filmes com extrato foram aproximadamente 7 vezes maiores.

Os valores obtidos nas análises antioxidantes estão diretamente relacionados aos valores obtidos no TPC. Quando a concentração de extrato rico em compostos fenólicos é aumentada, os valores obtidos são maiores, o que pode ser explicado pela funcionalidade doadora de hidrogênio dos fenólicos, conferindo atividade antioxidante ao filme (Akhter; Masoodi; Wani, 2024; Piñeros-Hernandez *et al.*, 2017). A presença de ativos antioxidantes nos filmes confirma a possibilidade de sua aplicação para prolongar a vida útil dos produtos alimentícios (Alloh *et al.*, 2024)

6 CONCLUSÃO

A pesquisa e desenvolvimento de filmes biodegradáveis comestíveis estão em ascensão para contornar e reduzir a poluição, especialmente de plásticos derivados de petróleo. Neste contexto, biopolímeros como polissacarídeos, lipídeos e proteínas destacam-se na literatura científica devido ao seu potencial de substituição de plásticos sintéticos. As características e propriedades tecnológicas destes filmes pode ser melhorada por meio da adição de compostos bioativos à formulação do filme, tais como o EO e o AE do alecrim.

A análise dos compostos presentes no EO de alecrim revelou bioativos conhecidos por suas propriedades antimicrobianas, antioxidantes e anti-inflamatórias. Estas propriedades são em grande parte atribuídas aos compostos fenólicos cujas concentrações foram de 5075 ± 906 mg AGE/mL e 4089 ± 173 mg AGE/mL, para o EO e AE, respectivamente. Além disso a propriedade antioxidante destes componentes foi determinada através dos ensaios FRAP e TEAC obtendo valores de 31.53 ± 1.08 $\mu\text{mol TE/mL}$ e 14.242 ± 0.761 $\mu\text{mol TE/mL}$, para o EO e 45.156 ± 0.625 $\mu\text{mol TE/mL}$ e 35.010 ± 0.370 $\mu\text{mol TE/mL}$, para o AE.

Para os filmes formulados, a espessura obtida demonstrou ser diretamente influenciada pela adição dos componentes, aumentando conforme houve a incorporação, no entanto, todos próximos de 0,15 mm. A visualização da microestrutura revelou um filme homogêneo sem a presença de rachaduras, entretanto o filme contendo EO de alecrim demonstrou a presença de espaços vazios e bolhas.

A análise de propriedades ópticas e de coloração demonstrou que os filmes com AE em sua composição apresentaram um índice de amarelamento significativamente maior em comparação ao filme contendo somente EO. Além disso, os filmes com extrato apresentaram propriedades de barreira contra UV, bloqueando considerável faixa desta região, enquanto os filmes contendo óleo bloquearam somente uma parcela do espectro.

As análises de FTIR e DRX demonstraram a boa incorporação dos componentes do filme, com picos característicos de polissacarídeos intensificados pelos compostos fenólicos presentes no extrato e no óleo, além de uma estrutura amorfa. A solubilidade dos filmes foi distinta entre os filmes que continham somente óleo e o AE, sendo 100 % solúvel e cerca de 50 % solúvel, respectivamente. Em contrapartida a permeabilidade à vapor d'água para os filmes contendo óleo foi significativamente maior. O perfil térmico de degradação apresentou pico de decomposição próximo ao do CMC puro, inferindo que a incorporação tanto de extrato quanto de óleo não alterou o perfil de degradação térmica.

As propriedades mecânicas revelaram que a adição de EO aumentou as propriedades de AR, cerca de 45 %, enquanto os demais ficaram em torno de 20 %, e o módulo de Young foi próximo aos valores previamente reportados na literatura para filmes de CMC. Os filmes suportaram tensões de 1,5 MPa, reforçando suas propriedades plásticas e de resistência mecânica. Por fim as análises de compostos fenólicos totais e antioxidantes demonstraram que mesmo após o *casting* os filmes permaneceram com atividade antioxidante significativa.

Em resumo, os resultados confirmam que a matriz de CMC foi capaz de incorporar tanto a fração hidrofílica quanto a hidrofóbicas resultantes do processo de extração do EO de alecrim. Apesar de apresentarem uma coloração mais escura, os filmes produzidos podem ser amplamente aplicados para armazenagem pós-colheita e condicionamento de alimentos desde o transporte até o consumidor. Seus benefícios vão além da contribuição para o aumento da vida útil e preservação da integridade de alimentos, mas também auxiliam a reduzir os potenciais impactos ambientais ao utilizar um subproduto que seria descartado. Por fim, os filmes desenvolvidos nesta pesquisa podem ser empregados como carreadores eficazes de compostos ativos e como materiais de embalagens bioativas comestíveis.

REFERÊNCIAS

- ABAD, I.; CONESA, C.; SANCHEZ, L. Development of Encapsulation Strategies and Composite Edible Films to Maintain Lactoferrin Bioactivity: A Review. **Materials (Basel)**, Epub, v.14, n. 23, 2021. DOI: 10.3390/ma14237358. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/34885510>. Acesso em: 30 nov 2024.
- ABEDI, E.; SAYADI, M.; OLIYAEI, N. Fabrication and characterization of emulsion-based edible film containing cinnamon essential oil using chia seed mucilage. **Int J Biol Macromol**, Epub, v.266, n. Pt 1, p. 131173, 2024. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2024.131173. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/38554904>. Acesso em: 05 maio 2024.
- ACHOUR, M. *et al.* Bioavailability and nutrikinetics of rosemary tea phenolic compounds in humans. **Food Res Int**, Epub, v.139, p. 109815, 2021. DOI: 10.1016/j.foodres.2020.109815. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/33509454>. Acesso em: 20 jan. 2023.
- AKHTER, R.; MASOODI, F. A.; WANI, T. A. Chitosan, gelatin and pectin based bionanocomposite films with rosemary essential oil as an active ingredient for future foods. **Int J Biol Macromol**, Epub, v.272, n. Pt 1, p. 132813, 2024. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2024.132813. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/38825276>. Acesso em: 30 jun. 2024.
- AL-HIJAZEEN, M. Anti-bacterial effect of Rosmarinus officinalis Linn. extract and Origanum syriacum L. essential oil on survival and growth of total aerobic bacteria and Staphylococcus aureus using cooked chicken meat. **Food Science and Technology**, Epub, v.42, 2022. DOI: 10.1590/fst.60720. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cta/a/89NT5t3c79FSYgWwdLjPxn/?lang=en>. Acesso em: 24 mar. 2024.
- ALI GHOFLEGAR GHASEMI, M. *et al.* Natural-based edible nanocomposite coating for beef meat packaging. **Food Chem**, Epub, v.435, p. 137582, 2024. DOI: 10.1016/j.foodchem.2023.137582. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/37774610>. Acesso em: 1 mar. 2024.
- ALLOH, P. B. R. A. *et al.* Extension of ultrafiltered cheese shelf life using edible coatings containing supercritical rosemary, thyme and coriander extracts as antimicrobial agents. **Food Control**, Epub, v.163, 110479. 2024. DOI: 10.1016/j.foodcont.2024.110479. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956713524001968>. Acesso em: 30 jun. 2024.
- AMANI, F. *et al.* Colloidal carriers of almond gum/gelatin coacervates for rosemary essential oil: Characterization and in-vitro cytotoxicity. **Food Chem**, Epub, v.377, p. 131998, 2022. DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.131998. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/34999451>. Acesso em: 30 maio 2023.

ANDRADE, J. M. *et al.* Rosmarinus officinalis L.: an update review of its phytochemistry and biological activity. **Future Sci OA**, Epub, v.4, n. 4, p. FSO283, 2018. DOI: 10.4155/fsoa-2017-0124. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29682318>. Acesso em: 20 abr. 2023.

ANDRADE, M. A. *et al.* Characterization of rosemary and thyme extracts for incorporation into a whey protein based film. **Lwt**, Epub, v.92, p. 497-508, 497. 2018. DOI: 10.1016/j.lwt.2018.02.041. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643818301804>. Acesso em: 22 ago. 2023.

AYYILDIZ, S. S.; PELVAN, E.; KARADENIZ, B. Optimization of accelerated solvent extraction, ultrasound assisted and supercritical fluid extraction to obtain carnosol, carnosic acid and rosmarinic acid from rosemary. **Sustainable Chemistry and Pharmacy**, Epub, v.37, 101422. 2024. DOI: 10.1016/j.scp.2023.101422. Disponível em: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2024SusCP..3701422A/abstract>. Acesso em: 30 maio 2023.

BAKIREL, T. *et al.* In vivo assessment of antidiabetic and antioxidant activities of rosemary (Rosmarinus officinalis) in alloxan-diabetic rabbits. **J Ethnopharmacol**, Epub, v.116, n. 1, p. 64-73, 2007. DOI: 10.1016/j.jep.2007.10.039. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18063331>. Acesso em: 28 nov. 2022.

BAN, L. *et al.* Antioxidant activities from different rosemary clonal lines. **Food Chemistry**, Epub, v.201, p. 259-263, 259. 2016. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.01.082. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814616300826>. Acesso em 28 nov. 2022.

BENITEZ, J. J. *et al.* Transparent, plasticized cellulose-glycerol bioplastics for food packaging applications. **Int J Biol Macromol**, Epub, v.273, n. Pt 2, p. 132956, 2024. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2024.132956. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/38848838>. Acesso em: 28 mar. 2024.

BHATIA, S. *et al.* Enhancing Tensile Strength, Thermal Stability, and Antioxidant Characteristics of Transparent Kappa Carrageenan Films Using Grapefruit Essential Oil for Food Packaging Applications. **ACS Omega**, Epub, v.9, n. 8, p. 9003-9012, 2024. DOI: 10.1021/acsomega.3c07366. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/38434887>. Acesso em: 27 fev. 2024.

BHATIA, S. *et al.* Structural, mechanical, barrier and antioxidant properties of pectin and xanthan gum edible films loaded with grapefruit essential oil. **Heliyon**, Epub, v.10, n. 3. 2024. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38371972/>. Acesso em: 27 fev. 2024.

BHATIA, S. *et al.* The effect of sage (Salvia sclarea) essential oil on the physicochemical and antioxidant properties of sodium alginate and casein-based composite edible films. **Gels**,

Epub, v.9, n. 3, p. 233. 2023. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36975682/>. Acesso em: 27 fev. 2024.

BHATIA, S. *et al.* Fabrication, characterization and antioxidant activities of pectin and gelatin based edible film loaded with Citrus reticulata L. essential oil. **Journal of Food Process Engineering**, Epub, v.47, n. 4, 2024. DOI: 10.1111/jfpe.14583. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jfpe.14583>. Acesso em: 28 fev. 2024.

BHATIA, S. *et al.* Characterization of biodegradable films based on guar gum and calcium caseinate incorporated with clary sage oil: Rheological, physicochemical, antioxidant, and antimicrobial properties. **Journal of Agriculture and Food Research**, Epub, v.15, p. 100948. 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666154323004556>. Acesso em: 28 fev. 2024.

BOCKER, R.; SILVA, E. K. Sustainable pectin-based film for carrying phenolic compounds and essential oil from Citrus sinensis peel waste. **Food Bioscience**, Epub, v.61, 104526. 2024. DOI: 10.1016/j.fbio.2024.104526. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212429224009568>. Acesso em: 01 jul. 2024.

BORGES, R. S. *et al.* Anti-inflammatory activity of nanoemulsions of essential oil from Rosmarinus officinalis L.: in vitro and in zebrafish studies. **Inflammopharmacology**, Epub, v.26, n. 4, p. 1057-1080, 2018. DOI: 10.1007/s10787-017-0438-9. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29404883>. Acesso em: 20 ago. 2023.

BOZIN, B. *et al.* Antimicrobial and antioxidant properties of rosemary and sage (Rosmarinus officinalis L. and Salvia officinalis L., Lamiaceae) essential oils. **J Agric Food Chem**, Epub, v.55, n. 19, p. 7879-7885, 2007. DOI: 10.1021/jf0715323. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17708648>. Acesso em: 19 set. 2023.

CHERMAN, K. A. *et al.* Caracterização de cobertura comestível a base de alginato e óleos essenciais. **Research, Society and Development**, Epub, v.11, n. 2, e52911226145. 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i2.26145. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/358435952_Caracterizacao_de_cobertura_comestivel_a_base_de_alginato_e_oleos_essenciais. Acesso em: 27 nov. 2022.

CHEUNG, S.; TAI, J. Anti-proliferative and antioxidant properties of rosemary Rosmarinus officinalis. **Oncology Reports**, Epub, 2007. DOI: 10.3892/or.17.6.1525. Disponível em: <https://www.spandidos-publications.com/10.3892/or.17.6.1525>. Acesso em: 22 jun. 2023.

CORDEIRO, A. M. T. M. *et al.* Rosemary (Rosmarinus officinalis L.) extract. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, Epub, v.113, n. 2, p. 889-895, 889. 2013. DOI: 10.1007/s10973-012-2778-4. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10973-012-2778-4>. Acesso em: 22 jun. 2023.

CORREA-PACHECO, Z. N. *et al.* Morphological, Optical and Thermal Properties of bioactive-Chitosan Nanostructured Edible Films for Food Packaging Applications. **Food Biophysics**, Epub, v.19, n. 1, p. 207-218, 207. 2023. DOI: 10.1007/s11483-023-09818-2.

Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/376306824_Morphological_Optical_and_Thermal_Properties_of_bioactive-Chitosan_Nanostructured_Edible_Films_for_Food_Packaging_Applications. Acesso em: 10 jan. 2023.

CUI, H. *et al.* Effect of soy protein isolate nanoparticles loaded with litsea cubeba essential oil on performance of lentinan edible films. **International Journal of Biological**

Macromolecules, Epub, v.242, p. 124686. 2023. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.124686>. Acesso em 22 fev. 2024.

CUSTODIO, A. C. *et al.* Purificação Simplificada do Rejeito de Glicerina Bruta da Produção de Biodiesel da Biorrefinaria Berso-UFPE: Uma Prática Sustentável. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Epub, v.15, n. 5, p. 2226-2237. 2022. Disponível em:

<https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/253719>. Acesso em: 25 nov. 2023.

DA ROCHA, M. *et al.* Effects of agar films incorporated with fish protein hydrolysate or clove essential oil on flounder (*Paralichthys orbignyanus*) fillets shelf-life. **Food**

Hydrocolloids, Epub, v.81, p. 351-363, 351. 2018. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2018.03.017.

Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X17314911>.

Acesso em: 23 nov. 2023.

DA SILVA BOMFIM, N. *et al.* Antifungal and antiaflatoxic activity of rosemary essential oil (*Rosmarinus officinalis* L.) against *Aspergillus flavus*. **Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess**, Epub, v.37, n. 1, p. 153-161, 2019. DOI:

10.1080/19440049.2019.1678771. Disponível em:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31644378>. Acesso em: 10 jan. 2024.

DASHIPOUR, A. *et al.* Physical, antioxidant and antimicrobial characteristics of carboxymethyl cellulose edible film cooperated with clove essential oil. **Zahedan Journal of research in medical Sciences**, Epub, v.16, n. 8. 2014. Disponível em:

https://applications.emro.who.int/imemrf/Zahedan_J_Res_Med_Sci/Zahedan_J_Res_Med_Sci_2014_16_8_34_42.pdf. Acesso em: 30 set. 2023.

DE GRAAF, R. A.; KARMAN, A. P.; JANSSEN, L. P. B. M. Material Properties and Glass Transition Temperatures of Different Thermoplastic Starches After Extrusion Processing.

Starch - Stärke, Epub, v.55, n. 2, p. 80-86, 80. 2003. DOI: 10.1002/star.200390020.

Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/star.200390020>. Acesso em: 05 jul. 2024.

DUAN, H. *et al.* Optimised formulation and characterisation of oregano essential oil edible composite films by response surface methodology. **Czech Journal of Food Sciences**, Epub, v.42, n. 1, p. 31-44, 31. 2024. DOI: 10.17221/189/2023-cjfs. Disponível em: https://cjfs.agriculturejournals.cz/artkey/cjf-202401-0004_optimised-formulation-and-characterisation-of-oregano-essential-oil-edible-composite-films-by-response-surface.php. Acesso em: 04 jul. 2024.

DZIMITROWICZ, A. *et al.* Comparison of the characteristics of gold nanoparticles synthesized using aqueous plant extracts and natural plant essential oils of *Eucalyptus globulus* and *Rosmarinus officinalis*. **Arabian Journal of Chemistry**, Epub, v.12, n. 8, p. 4795-4805, 4795. 2019. DOI: 10.1016/j.arabjc.2016.09.007. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/308301646_Comparison_of_the_characteristics_of_gold_nanoparticles_synthesized_using_aqueous_plant_extract_and_natural_plant_essential_oils_of_Eucalyptus_globulus_and_Rosmarinus_officinalis. Acesso em: 25 fev. 2023.

EBRAHIMI, B. *et al.* Survival of probiotic bacteria in carboxymethyl cellulose-based edible film and assessment of quality parameters. **Lwt**, Epub, v.87, p. 54-60, 54. 2018. DOI: 10.1016/j.lwt.2017.08.066. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643817306369>. Acesso em: 30 nov. 2022.

EKRAMI, M.; EMAM-DJOMEH, Z. Water vapor permeability, optical and mechanical properties of salep-based edible film. **Journal of food processing and preservation**, Epub, v.38, n. 4, p. 1812-1820. 2014. Disponível em: <https://ifst.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jfpp.12152>. Acesso em: 25 out. 2023.

EL-SAYED, S. *et al.* DSC, TGA and dielectric properties of carboxymethyl cellulose/polyvinyl alcohol blends. **Physica B: Condensed Matter**, Epub, v.406, n. 21, p. 4068-4076. 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/251607112_DSC_TGA_and_dielectric_properties_of_carboxymethyl_cellulosepolyvinyl_alcohol_blends. Acesso em: 25 out. 2023.

ERCEG, T. *et al.* A comprehensive approach to chitosan-gelatine edible coating with β -cyclodextrin/lemongrass essential oil inclusion complex—Characterization and food application. **International Journal of Biological Macromolecules**, Epub, v.228, p. 400-410. 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141813022030343>. Acesso em: 10 jan. 2024.

ERKEN, İ. *et al.* Chitosan based edible film incorporating different *Prunella L.* extracts, characterization and their antioxidant properties. **Journal of Food Processing and Preservation**, Epub, v.46, n. 7, 212. 2022. DOI: 10.1111/jfpp.16658. Disponível em: <https://ifst.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jfpp.16658>. Acesso em: 22 fev. 2023.

ESHAGHI, R.; MOHSENZADEH, M.; AYALA-ZAVALA, J. F. Bio-nanocomposite active packaging films based on carboxymethyl cellulose, myrrh gum, TiO₂ nanoparticles and dill essential oil for preserving fresh-fish (*Cyprinus carpio*) meat quality. **International Journal**

of **Biological Macromolecules**, Epub, p. 129991. 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141813024007943>. Acesso em: 10 jul. 2024.

ESKANDARINIA, A. *et al.* Physicochemical, Antimicrobial and Cytotoxic Characteristics of Corn Starch Film Containing Propolis for Wound Dressing. **Journal of Polymers and the Environment**, Epub, v.26, n. 8, p. 3345-3351, 3345. 2018. DOI: 10.1007/s10924-018-1216-5. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10924-018-1216-5>. Acesso em: 15 mar. 2023.

FARIA, G. M. L.; SILVA, E. K. Pulsed electric field, ultrasound and microwave heating based extraction techniques for valorization of pomegranate peel by-products: A review. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, Epub, v.12, n. 4, 113078. 2024. DOI: 10.1016/j.jece.2024.113078. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213343724012089>. Acesso em: 10 jul. 2024.

FERREIRA, B. M. R. *et al.* Produção de filmes biodegradáveis a partir de resíduos de frutas e vegetais: uma revisão atualizada. **Research, Society and Development**, Epub, v.11, n. 5, e54311528544. 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i5.28544. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/28544>. Acesso em: 25 nov. 2022.

GABHANE, J.; KUMAR, S.; SARMA, A. Effect of glycerol thermal and hydrothermal pretreatments on lignin degradation and enzymatic hydrolysis in paddy straw. **Renewable Energy**, Epub, v.154, p. 1304-1313. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.03.035>. Acesso em: 25 nov. 2022.

GARCÍA, C. *et al.* Valorization of Eucalyptus Leaves by Essential Oil Extraction as an Added Value Product in Mexico. **Waste and Biomass Valorization**, Epub, v.8, n. 4, p. 1187-1197, 1187. 2016. DOI: 10.1007/s12649-016-9695-x. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12649-016-9695-x>. Acesso em: 25 fev 2023.

GHAEDI, M. *et al.* Rosmarinus officinalis leaf extract mediated green synthesis of silver nanoparticles and investigation of its antimicrobial properties. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, Epub, v.31, p. 167-172, 167. 2015. DOI: 10.1016/j.jiec.2015.06.020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1226086X15002993>. Acesso em: 28 nov. 2022.

GHAVAM, M. GC-MS analysis and antimicrobial activities of a Rosmarinus officinalis L. essential oil from Kashan Region (Iran). **Biochemical Systematics and Ecology**, Epub, v.105, 104507. 2021. DOI: 10.1016/j.bse.2022.104507. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0305197822001272>. Acesso em: 23 jul 2023.

GHERIBI, R. *et al.* Development of plasticized edible films from *Opuntia ficus-indica* mucilage: A comparative study of various polyol plasticizers. **Carbohydr Polym**, Epub, v.190, p. 204-211, 2018. DOI: 10.1016/j.carbpol.2018.02.085. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29628239>. Acesso em: 15 jun. 2023.

GONZALEZ-TRUJANO, M. E. *et al.* Evaluation of the antinociceptive effect of *Rosmarinus officinalis* L. using three different experimental models in rodents. **J Ethnopharmacol**, Epub, v.111, n. 3, p. 476-482, 2006. DOI: 10.1016/j.jep.2006.12.011. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17223299>. Acesso em: 22 maio 2023.

HAJJI, S. *et al.* Development of Nanocomposite Films Based on Chitosan and Gelatin Loaded with Chitosan-Tripolyphosphate Nanoparticles: Antioxidant Potentials and Applications in Wound Healing. **Journal of Polymers and the Environment**, Epub, v.30, n. 3, p. 833-854, 833. 2021. DOI: 10.1007/s10924-021-02239-7. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10924-021-02239-7>. Acesso em: 25 out. 2023.

HERNÁNDEZ, M. S.; LUDUEÑA, L. N.; FLORES, S. K. Citric acid, chitosan and oregano essential oil impact on physical and antimicrobial properties of cassava starch films. **Carbohydrate Polymer Technologies and Applications**, Epub, v.5, p. 100307. 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666893923000282>. Acesso em: 25 maio 2024.

HILLGREN, A.; LINDGREN, J.; ALDEN, M. Protection mechanism of Tween 80 during freeze-thawing of a model protein, LDH. **Int J Pharm**, Epub, v.237, n. 1-2, p. 57-69, 2002. DOI: 10.1016/s0378-5173(02)00021-2. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11955804>. Acesso em: 26 abril 2024.

HOW, Y.-H. *et al.* Development of carboxymethyl cellulose–chitosan based antibacterial films incorporating a *Persicaria minor* Huds. essential oil nanoemulsion. **Sustainable Food Technology**, Epub, v.2, n. 2, p. 400-414, 400. 2023. DOI: 10.1039/d3fb00183k. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2024/fb/d3fb00183k> Acesso em: 20 jul. 2024.

HUANG, Y. *et al.* Screening of Rosemary Essential Oils with Different Phytochemicals for Antioxidant Capacity, Keratinocyte Cytotoxicity, and Anti-Proliferative Activity. **Molecules**, Epub, v.28, n. 2, p. 586, 2024. DOI: 10.3390/molecules28020586. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/36677644>. Acesso em: 16 jan. 2024.

IQBAL, S. Z. *et al.* Application of carboxymethylcellulose in combination with essential oils nano-emulsions edible coating for the preservation of kiwifruit. **Int J Biol Macromol**, Epub, v.261, n. Pt 2, p. 129947, 2024. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2024.129947. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/38316326>. Acesso em: 30 mar 2024.

IRAKLI, M. *et al.* Sustainable Recovery of Phenolic Compounds from Distilled Rosemary By-Product Using Green Extraction Methods: Optimization, Comparison, and Antioxidant

Activity. **Molecules**, Epub, v.28, n. 18, 2023. DOI: 10.3390/molecules28186669. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/37764444>. Acesso em: 17 set. 2023.

JAFARI, R.; ZANDI, M.; GANJLOO, A. Characterization of alginate-gelatin edible film containing anise (*Pimpinella anisum* L.) essential oil. **Journal of Polymers and the Environment**, Epub, v.31, n. 4, p. 1568-1583. 2022. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10924-022-02707-8>. Acesso em: 23 jan. 2024.

JIMÉNEZ, A. *et al.* Edible and Biodegradable Starch Films: A Review. **Food and Bioprocess Technology**, Epub, v.5, n. 6, p. 2058-2076, 2058. 2015. DOI: 10.1007/s11947-012-0835-4. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cta/a/fMX63hxm7PkGrhM9n6LCVFz>. Acesso em: 25 nov. 2022.

JUTRZENKA TRZEBIATOWSKA, P. *et al.* The influence of different glycerine purities on chemical recycling process of polyurethane waste and resulting semi-products. **Polymer International**, Epub, v.67, n. 10, p. 1368-1377. 2018. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/pi.5638>. Acesso em: 23 jun. 2024.

KAVOOSI, G. *et al.* Effects of essential oil on the water binding capacity, physico-mechanical properties, antioxidant and antibacterial activity of gelatin films. **LWT - Food Science and Technology**, Epub, v.57, n. 2, p. 556-561, 556. 2014. DOI: 10.1016/j.lwt.2014.02.008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643814000693>. Acesso em: 22 nov. 2022.

KESSLER, J. C. *et al.* Chemical and organoleptic properties of bread enriched with *Rosmarinus officinalis* L.: The potential of natural extracts obtained through green extraction methodologies as food ingredients. **Food Chem**, Epub, v.384, p. 132514, 2022. DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.132514. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/35231709>. Acesso em: 1 ago. 2023.

KHAKPOUR, F.; PIRSA, S. Biodegradable film based on mucilage of fenugreek seeds and eggplant skin powder with copper nanoparticles and rosemary essential oil, investigation of physicochemical properties. **Journal of food science and technology(Iran)**, Epub, v.21, n. 147, p. 146-161, 146. 2024. DOI: 10.22034/fsct.21.147.146. Disponível em: <http://fsct.modares.ac.ir/article-7-72247-en.html>. Acesso em: 23 mar. 2024.

KHAN, Y. *et al.* Hydrothermal synthesis of alpha Fe₂O₃ nanoparticles capped by Tween-80. **Materials Letters**, Epub, v.65, n. 14, p. 2224-2227, 2224. 2020. DOI: 10.1016/j.matlet.2011.04.068. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167577X11004459>. Acesso em: 22 nov. 2022.

KONTOGIANNI, V. G. *et al.* Production, characteristics and application of whey protein films activated with rosemary and sage extract in preserving soft cheese. **Lwt**, Epub, v.155, 112996. 2022. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.112996. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643821021496>. Acesso em: 15 nov. 2024.

KOSTIĆ, M. *et al.* Edible coatings based on plant components for active packaging of fresh/fresh-cut fruits. **South African Journal of Botany**, Epub, v.161, p. 395-403, 395. 2023. DOI: 10.1016/j.sajb.2023.08.039. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0254629923004969>. Acesso em: 10 jul. 2024.

KÜLCÜ, D. B.; KALKAN, S. Modeling the Microbial Shelf-Life of Chicken Mince Added Rosemary Extract. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Epub, v.65, 2022. DOI: 10.1590/1678-4324-2022200801. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/babt/a/QT7CsCnzRWV6NyDntkzb3PD/>. Acesso em: 25 nov. 2022.

LAN, W. *et al.* Improving nisin production by encapsulated *Lactococcus lactis* with starch/carboxymethyl cellulose edible films. **Carbohydrate Polymers**, Epub, v.251, p. 117062. 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861720312352>. Acesso em: 25 nov. 2023.

LIN, D. *et al.* Study on physicochemical properties, antioxidant and antimicrobial activity of okara soluble dietary fiber/sodium carboxymethyl cellulose/thyme essential oil active edible composite films incorporated with pectin. **Int J Biol Macromol**, Epub, v.165, n. Pt A, p. 1241-1249, 2020. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2020.10.005. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/33039534>. Acesso em: 13 dez. 2023.

LIU, Z. *et al.* Chitosan-based edible film incorporated with wampee (*Clausena lansium*) seed essential oil: Preparation, characterization and biological activities. **International Journal of Biological Macromolecules**, Epub, v.253, p. 127683. 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141813023045816>. Acesso em: 13 maio 2024.

LOVKOVA, M. Y. *et al.* Chemical Features of Medicinal Plants (Review). **Applied Biochemistry and Microbiology**, Epub, v.37, n. 3, p. 229-237, 229. 2001. DOI: 10.1023/a:1010254131166. Disponível em: [https://www.semanticscholar.org/paper/Chemical-Features-of-Medicinal-Plants-\(Review\)-Lovkova-Buzuk/5ae54e350e2b5e37420df133d391f862fbb07dd0](https://www.semanticscholar.org/paper/Chemical-Features-of-Medicinal-Plants-(Review)-Lovkova-Buzuk/5ae54e350e2b5e37420df133d391f862fbb07dd0). Acesso em: 23 jun. 2023.

MA, Q. *et al.* Physical, mechanical, and antimicrobial properties of chitosan films with microemulsions of cinnamon bark oil and soybean oil. **Food Hydrocolloids**, Epub, v.52, p. 533-542, 533. 2016. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2015.07.036. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X15300461>. Acesso em: 22 nov. 2022.

MARANGONI JÚNIOR, L. *et al.* Effect of green propolis extract on functional properties of active pectin-based films. **Food Hydrocolloids**, Epub, v.131, 107746. 2022. DOI:

10.1016/j.foodhyd.2022.107746. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268005X22002661>. Acesso em: 18 dez. 2022.

MEZZA, G. N. *et al.* Antioxidant activity of rosemary essential oil fractions obtained by molecular distillation and their effect on oxidative stability of sunflower oil. **Food Chem**, Epub, v.242, p. 9-15, 2018. DOI: 10.1016/j.foodchem.2017.09.042. Disponível em:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29037740>. Acesso em: 1 mar. 2023.

MOGHADAM, M. *et al.* Development of antioxidant edible films based on mung bean protein enriched with pomegranate peel. **Food Hydrocolloids**, Epub, v.104, 105735. 2020. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2020.105735. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X19327717>. Acesso em: 22 nov. 2022.

MOHAMED, S. A. A.; EL-SAKHAWY, M.; EL-SAKHAWY, M. A. Polysaccharides, Protein and Lipid -Based Natural Edible Films in Food Packaging: A Review. **Carbohydr Polym**, Epub, v.238, p. 116178, 2020. DOI: 10.1016/j.carbpol.2020.116178. Disponível em:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/32299560>. Acesso em: 15 jun. 2023.

MONDAL, K. *et al.* Development of antioxidant-rich edible active films and coatings incorporated with de-oiled ethanolic green algae extract: a candidate for prolonging the shelf life of fresh produce. **RSC Adv**, Epub, v.12, n. 21, p. 13295-13313, 2022. DOI: 10.1039/d2ra00949h. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/35520137>. Acesso em: 27 abr. 2024.

NADIRA, P. P. *et al.* Effects of cashew leaf extract on physicochemical, antioxidant, and antimicrobial properties of N, O–Carboxymethyl chitosan films. **Carbohydrate Polymer Technologies and Applications**, Epub, v.3, 100191. 2022. DOI: 10.1016/j.carpta.2022.100191. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666893922000093> Acesso em: 18 jun. 2023.

NASIR, N. F.; MIRUS, M.; ISMAIL, M., 2017, **Purification of crude glycerol from transesterification reaction of palm oil using direct method and multistep method**. IOP Publishing. 012015. Acesso em: 15 mar. 2023

NAYAK, B. *et al.* UV blocking edible films based on corn starch/moringa gum incorporated with pine cone extract for sustainable food packaging. **International Journal of Biological Macromolecules**, Epub, p. 131545. 2024. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S014181302402350X>. Acesso em: 28 ago. 2023.

NIETO, G.; ROS, G.; CASTILLO, J. Antioxidant and Antimicrobial Properties of Rosemary (*Rosmarinus officinalis*, L.): A Review. **Medicines (Basel)**, Epub, v.5, n. 3, 2018. DOI:

10.3390/medicines5030098. Disponível em:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30181448>. Acesso em: 4 set. 2023.

NONGNUAL, T. *et al.* Citric acid crosslinked carboxymethyl cellulose edible films: A case study on preserving freshness in bananas. **International Journal of Biological Macromolecules**, Epub, p. 131135. 2024. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141813024019408>. Acesso em: 15 jun. 2024.

OREOPOULOU, A. *et al.* Semi-batch extraction of phenolic compounds from *Rosmarinus officinalis*: Kinetic study and dimensionless modeling. **Journal of Food Engineering**, Epub, v.370, 111962. 2024. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2024.111962. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877424000281>. Acesso em: 23 jul. 2024.

PAPADAKI, A. *et al.* Grafting bacterial cellulose nanowhiskers into whey protein/essential oil film composites: Effect on structure, essential oil release and antibacterial properties of films. **Food Hydrocolloids**, Epub, v.147, 109374. 2024. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2023.109374. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268005X23009207>. Acesso em: 24 jul. 2024.

PASTOR, C. *et al.* Physical and antifungal properties of hydroxypropylmethylcellulose based films containing propolis as affected by moisture content. **Carbohydrate Polymers**, Epub, v.82, n. 4, p. 1174-1183, 1174. 2010. DOI: 10.1016/j.carbpol.2010.06.051. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861710005205>. Acesso em: 22 nov. 2022.

PHUONG, N. T. H. *et al.* Application of edible coatings composed of chitosan and tea seed oil for quality improvement of strawberries and visualization of internal structure changes using X-ray computed tomography. **Progress in Organic Coatings**, Epub, v.183, 107730. 2023. DOI: 10.1016/j.porgcoat.2023.107730. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0300944023003260>. Acesso em: 15 maio 2024.

PIÑEROS-HERNANDEZ, D. *et al.* Edible cassava starch films carrying rosemary antioxidant extracts for potential use as active food packaging. **Food Hydrocolloids**, Epub, v.63, p. 488-495, 488. 2016. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2016.09.034. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X16304659>. Acesso em: 7 nov. 2022.

PIZANI, R. S. *et al.* New selective and sustainable ultrasound-assisted extraction procedure to recover carnosic and rosmarinic acids from *Rosmarinus officinalis* by sequential use of bio-based solvents. **Food Chem**, Epub, v.435, p. 137540, 2024. DOI: 10.1016/j.foodchem.2023.137540. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/37778266>. Acesso em: 1 mar. 2023.

PRAMOD, K. *et al.* Unveiling the compatibility of eugenol with formulation excipients by systematic drug-excipient compatibility studies. **Journal of Analytical Science and Technology**, Epub, v.6, n. 1, 2015. DOI: 10.1186/s40543-015-0073-2. Disponível em: <https://jast-journal.springeropen.com/articles/10.1186/s40543-015-0073-2>. Acesso em: 22 out. 2023.

RHIM, J. W. *et al.* Effect of the processing methods on the performance of polylactide films: Thermocompression versus solvent casting. **Journal of Applied Polymer Science**, Epub, v.101, n. 6, p. 3736-3742, 3736. 2006. DOI: 10.1002/app.23403. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/app.23403>. Acesso em: 15 nov. 2022.

RIBEIRO-SANTOS, R. *et al.* A novel insight on an ancient aromatic plant: The rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.). **Trends in Food Science & Technology**, Epub, v.45, n. 2, p. 355-368, 355. 2015. DOI: 10.1016/j.tifs.2015.07.015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092422441500182X>. Acesso em: 7 out. 2022.

SANTANA, J. V. *et al.* Advanced pectin-based films: Enhancing antioxidant, antibacterial, UV barrier, and physicochemical properties upon oligomeric limonene derivative incorporation. **Food Hydrocolloids**, Epub, v.149, 109558. 2024. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2023.109558. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268005X23011049>. Acesso em: 15 jul. 2024.

ŞEKER, S. *et al.* Production of sage, oregano and rosemary under shading conditions and the effects of light on growth and essential oil properties. **Industrial Crops and Products**, Epub, v.193, 116254. 2023. DOI: 10.1016/j.indcrop.2023.116254. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669023000183> Acesso em: 2 fev. 2024.

SEYEDZADEH-HASHEMI, S. *et al.* Characterization of synbiotic films based on carboxymethyl cellulose/ β -glucan and development of a shelf life prediction model. **Food Bioscience**, Epub, v.51, p. 102228. 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/365755476_Characterization_of_synbiotic_films_based_on_carboxymethyl_cellulose-beta-glucan_and_development_of_a_shelf_life_prediction_model. Acesso em: 22 abr. 2024.

SHI, C. *et al.* Fortification of cassava starch edible films with *Litsea cubeba* essential oil for chicken meat preservation. **Int J Biol Macromol**, Epub, p. 133920, 2024. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2024.133920. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/39029840>. Acesso em: 17 jul. 2024..

SIMSEK, M.; EKE, B.; DEMIR, H. Characterization of carboxymethyl cellulose-based antimicrobial films incorporated with plant essential oils. **Int J Biol Macromol**, Epub, v.163,

p. 2172-2179, 2020. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2020.09.075. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/32941903>. Acesso em: 15 nov. 2023.

SONG, X.; ZUO, G.; CHEN, F. Effect of essential oil and surfactant on the physical and antimicrobial properties of corn and wheat starch films. **Int J Biol Macromol**, Epub, v.107, n. Pt A, p. 1302-1309, 2017. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2017.09.114. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28970166>. Acesso em: 12 fev. 2023.

TABARI, M. Characterization of a new biodegradable edible film based on Sago Starch loaded with Carboxymethyl Cellulose nanoparticles. **Nanomedicine Research Journal**, Epub, v.3, n. 1, p. 25-30. 2018. Disponível em: https://www.nanomedicine-rj.com/article_31897_6300444ffaa95eebcf7c52566a285baa.pdf. Acesso em: 22 nov. 2022.

TARIQUE, J.; SAPUAN, S. M.; KHALINA, A. Effect of glycerol plasticizer loading on the physical, mechanical, thermal, and barrier properties of arrowroot (*Maranta arundinacea*) starch biopolymers. **Sci Rep**, Epub, v.11, n. 1, p. 13900, 2021. DOI: 10.1038/s41598-021-93094-y. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/34230523>. Acesso em: 6 jul. 2024.

TEYMOORIAN, M. *et al.* Fabrication the emulsion-based edible film containing *Dracocephalum kotschy* Boiss essential oil using chitosan–gelatin composite for grape preservation. **Carbohydrate Polymer Technologies and Applications**, Epub, v.7, p. 100444. 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666893924000240>. Acesso em: 22 jun. 2024.

TIAN, B. *et al.* Biopolymer Food Packaging Films Incorporated with Essential Oils. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Epub, v.71, n. 3, p. 1325-1347, 1325. 2023. DOI: 10.1021/acs.jafc.2c07409. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.jafc.2c07409>. Acesso em: 22 out. 2023.

TOLEDO HIJO, A. A. C.; GUINOSA, R. E.; SILVA, E. K. Ultrasound emulsification energy strategies impact the encapsulation efficiency of essential oils in colloidal systems. **Journal of Molecular Liquids**, Epub, v.358, 119179. 2022 DOI: 10.1016/j.molliq.2022.119179. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167732222007176>. Acesso em: 22 nov. 2022.

TORO-MÁRQUEZ, L. A.; MERINO, D.; GUTIÉRREZ, T. J. Bionanocomposite Films Prepared from Corn Starch With and Without Nanopackaged Jamaica (*Hibiscus sabdariffa*) Flower Extract. **Food and Bioprocess Technology**, Epub, v.11, n. 11, p. 1955-1973, 1955. 2018. DOI: 10.1007/s11947-018-2160-z. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11947-018-2160-z>. Acesso em: 2 dez. 2022.

VALIZADEH, S. *et al.* Development of bioactive composite films from chitosan and carboxymethyl cellulose using glutaraldehyde, cinnamon essential oil and oleic acid. **Int J Biol Macromol**, Epub, v.134, p. 604-612, 2019. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2019.05.071. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31100395>. Acesso em: 1 ago. 2023.

XUE, F. *et al.* Encapsulation of essential oil in emulsion based edible films prepared by soy protein isolate-gum acacia conjugates. **Food Hydrocolloids**, Epub, v.96, p. 178-189, 178. 2019. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2019.05.014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X1930133X>. Acesso em: 12 nov. 2022.

YADAV, A. *et al.* Edible Packaging from Fruit Processing Waste: A Comprehensive Review. **Food Reviews International**, Epub, v.39, n. 4, p. 2075-2106, 2075. 2021. DOI: 10.1080/87559129.2021.1940198. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/87559129.2021.1940198>. Acesso em: 17 ago. 2023.

YILDIRIM-YALCIN, M.; TORNUK, F.; TOKER, O. S. Recent advances in the improvement of carboxymethyl cellulose-based edible films. **Trends in Food Science & Technology**, Epub, v.129, p. 179-193, 179. 2022. DOI: 10.1016/j.tifs.2022.09.022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224422004010>. Acesso em: 22 nov. 2022.

ZHANG, X. *et al.* Physicochemical, mechanical and structural properties of composite edible films based on whey protein isolate/psyllium seed gum. **Int J Biol Macromol**, Epub, v.153, p. 892-901, 2020. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2020.03.018. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/32142843>. Acesso em: 15 jun. 2023.

ZHOU, W. *et al.* Carboxymethyl chitosan-pullulan edible films enriched with galangal essential oil: Characterization and application in mango preservation. **Carbohydr Polym**, Epub, v.256, p. 117579, 2020. DOI: 10.1016/j.carbpol.2020.117579. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/33483073>. Acesso em: 15 mar. 2023

ZHOU, Y. *et al.* Effects of cinnamon essential oil on the physical, mechanical, structural and thermal properties of cassava starch-based edible films. **Int J Biol Macromol**, Epub, v.184, p. 574-583, 2021. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2021.06.067. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/34146564>. Acesso em: 1 ago. 2023.