



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CAMPUS INHUMAS
BACHARELADO EM CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS DE ALIMENTOS

EDUARDO DESTEFANO FILHO
ESTANLEY JOSÉ OLIVEIRA DA SILVA

**ELABORAÇÃO DE BIOFILMES DE ACETATO DE CELULOSE COM
INCORPORAÇÃO DE EXTRATO
DE ALECRIM E EXTRATO DA CASCA DE UVA**

EDUARDO DESTEFANO FILHO
ESTANLEY JOSÉ OLIVEIRA DA SILVA

**ELABORAÇÃO DE BIOFILMES DE ACETATO DE CELULOSE COM
INCORPORAÇÃO DE EXTRATO DE ALECRIM E EXTRATO DA
CASCA DE UVA**

Trabalho de Conclusão de Curso, no formato de monografia, apresentado ao curso de Ciência e Tecnologia de Alimentos, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - Campus Inhumas/IFG, como requisito à obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientador(a): Dr(a). Camila Cheker Brandão Turella

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO

Destefano Filho, Eduardo

D476 Elaboração de biofilmes de acetato de celulose com incorporação de extrato de alecrim e extrato da casca de uva [Manuscrito]. / Eduardo Destefano Filho e Estanley José Oliveira da Silva – Inhumas: IFG, 2026.

38 f.: il.

Inclui bibliografia.

Orientador: Profa. Dra. Camila Cheker Brandão Turella.

Trabalho de Conclusão de Curso em Bacharelado em Ciência e Tecnologia de Alimentos – IFG/Câmpus Inhumas, 2026.

1. Embalagens biodegradáveis. 2. Filmes ativos. 3. Compostos fenólicos. 4. Turella, Camila Cheker Brandão (orient.). I. Título.

CDD 664

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECÁRIA LARISSA STEFANE RODRIGUES DE
LIMA - CRB/1-3424

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS CÂMPUS INHUMAS –
BIBLIOTECA ATENA



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Edualdo Portelano Filho / Antônio José Soares da Silva

Matrícula: 20171030110275 / 20171030110040

Título do Trabalho: Elaborações de Diagramas de Análise de Relação com incorporação de extrato e essência e extrato da casca de uva

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: ☒ Não ☐ Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no ReDi/IFG: 01/06/2026

O documento está sujeito a registro de patente? ☐ Sim ☐ Não
O documento pode vir a ser publicado como livro? ☐ Sim ☐ Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Antônio José Soares da Silva 08/06/2026
Local Data

Edualdo Portelano Filho
Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Na presente data realizou-se a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso intitulado **ELABORAÇÃO DE BIOFILMES DE ACETATO DE CELULOSE COM INCORPORAÇÃO DE EXTRATO DE ALECRIM E EXTRATO DA CASCA DE UVA**, sob orientação de Camila Cheker Brandao Turella, apresentado pelo aluno **Estanley José Oliveira da Silva (20171030110046)** do Curso **Bacharelado em Ciência e Tecnologia de Alimentos (Câmpus Inhumas)**. Os trabalhos foram iniciados às **11:00** do dia **19/02/2026** pela Professora presidente da banca examinadora, constituída pelos seguintes membros:

- **Camila Cheker Brandao Turella** (Presidente)
- **Simone Silva Machado** (Examinadora Interna)
- **Pabline Rafaella Mello Bueno de Almeida** (Examinadora Interna)

A banca examinadora, tendo terminado a apresentação do conteúdo do Trabalho de Conclusão de Curso, passou à arguição do candidato. Em seguida, os examinadores reuniram-se para avaliação e deram o parecer final sobre o trabalho apresentado pelo aluno, tendo sido atribuído o seguinte resultado:

[X] Aprovado

[] Reprovado

Nota : 7,6

Observação / Apreciações:

Proclamados os resultados pelo presidente da banca examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, eu **Camila Cheker Brandao Turella** lavrei a presente ata que assino juntamente com os demais membros da banca examinadora.

Documento assinado eletronicamente por:

Pabline Rafaella Mello Bueno de Almeida em 19/02/2026 19:49:30 com chave 406fa6b40de511f1b13e005056a537a4

Camila Cheker Brandao Turella, em 01/06/2026 10:21:38 com chave d20f85405dbc11f1ac85005056a537a4

Simone Silva Machado em 01/06/2026 19:28:50 com chave 43bebe085e0911f1be7a005056a537a4

Este documento foi emitido pelo SUAP. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse https://suap.ifg.edu.br/comum/autenticar_documento/ e informe os dados a seguir.

Tipo de Documento: Ata de Projeto Final

Data da Emissão: 08/06/2026

Código de Autenticação: 2b6910



AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, pela força e sabedoria ao longo desta caminhada.

À Professora Camila Cheker Brandão Turella, pela orientação, dedicação, paciência e contribuições essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores do curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia de Alimentos, pelos ensinamentos e pela formação acadêmica proporcionada.

Ao IFG Campus Inhumas e à UFG, pelo suporte institucional, estrutura e incentivo à pesquisa.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

O crescente uso de embalagens plásticas derivadas do petróleo tem gerado sérios impactos ambientais, impulsionando a busca por alternativas sustentáveis e biodegradáveis. O acetato de celulose destaca-se entre os materiais biodegradáveis por suas propriedades mecânicas, transparência e estabilidade, sendo uma base adequada para o desenvolvimento de filmes ativos com compostos naturais. Assim, este trabalho elaborou biofilmes de acetato de celulose incorporados com extrato de alecrim (*Rosmarinus officinalis* L.) e extrato da casca de uva (*Vitis vinifera*), avaliando suas propriedades físicas, mecânicas. Os filmes foram produzidos pelo método casting, utilizando acetato de celulose, glicerol, acetona e extrato natural. Foram realizadas análises de espessura e resistência mecânica, com delineamento inteiramente casualizado. Os resultados mostraram que a incorporação dos extratos alterou significativamente as propriedades mecânicas dos filmes. O extrato de alecrim proporcionou maior alongação (13,94%) em relação ao controle (4,09%), indicando aumento da flexibilidade, possivelmente devido ao efeito plasticizante dos compostos fenólicos e terpenos. Já o extrato da casca de uva reduziu a resistência à tração, porém manteve aparência homogênea e ausência de falhas visuais perceptíveis, sugerindo boa uniformidade estrutural. Em relação à espessura, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos. Dessa forma, a incorporação de extratos naturais de alecrim e de casca de uva em filmes de acetato de celulose se mostrou uma alternativa promissora para a obtenção de embalagens biodegradáveis e ativas.

Palavras-chave: Embalagens biodegradáveis; filmes ativos; propriedades mecânicas; compostos fenólicos.

ABSTRACT

The increasing use of petroleum-based plastic packaging has caused serious environmental impacts, driving the search for sustainable and biodegradable alternatives. Cellulose acetate stands out among biodegradable materials for its mechanical properties, transparency, and stability, making it a suitable base for developing active films containing natural compounds. Therefore, this study developed cellulose acetate biofilms incorporated with rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) and grape peel (*Vitis vinifera*) extracts, evaluating their physical, mechanical. The films were produced by the *casting* method using cellulose acetate, glycerol, acetone, and natural extracts. Thickness and tensile tests were carried out under a completely randomized design. The results showed that the incorporation of the extracts significantly affected the mechanical properties of the films. The rosemary extract provided greater elongation (13.94%) compared to the control (4.09%), indicating increased flexibility, possibly due to the plasticizing effect of phenolic and terpenoid compounds. The grape peel extract reduced tensile strength but maintained a homogeneous appearance and absence of visible defects, suggesting good structural uniformity. Regarding thickness, no significant differences were observed among treatments. Therefore, incorporating natural extracts of rosemary and grape peel into cellulose acetate films proved to be a promising alternative for obtaining biodegradable and active packaging materials.

Keywords: Biodegradable packaging; active films; mechanical properties; Phenolic compounds.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fórmula química do acetato de celulose.....	14
Figura 2. Esquema representativo do mecanismo de ação das embalagens ativas (por contato direto).....	16
Figura 3. Formas de projetar sistemas de embalagem ativos (a) utilização dos sachês ativos dentro da embalagem de alimentos, (b) revestimento de um composto ativo no polímero, (c) imobilização do composto ativo na superfície do polímero, e(d) incorporação direta na matriz polimérica.	18
Figura 4. Estrutura química do ácido carnósico (esquerda) e do carnosol (direito).....	24

SUMARIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1 Embalagens biodegradáveis.....	12
2.2 Embalagens Ativas	15
2.3 Extratos naturais	19
3. OBJETIVO.....	26
3.1 Objetivo geral.....	26
3.2 Objetivos específicos	26
4. MATERIAIS E MÉTODO	27
4.1 Materiais	27
4.2 Obtenção dos Extratos Naturais	27
4.3 Elaboração dos Biofilmes de Acetato de Celulose	27
4.4 Delineamento Experimental.....	28
5. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA DOS BIOFILMES	29
5.1 Espessura.....	29
5.2 Propriedades Mecânicas	29
6. ANALISE ESTATÍSTICA	31
7. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
7.1 Espessura e Uniformidade.....	32
7.2 Resistência à Tração e Carga Máxima	32
7.3 Elongação e Efeito Plasticizante.....	33
7.4 Rigidez e Módulo de Young.....	33
8. CONCLUSÃO.....	34
REFERÊNCIAS	35

1. INTRODUÇÃO

Em geral, as embalagens possuem o objetivo de proteger o produto e preservar as características do alimento, mantendo-o sem alterações indesejáveis durante o transporte e o armazenamento. Na sociedade atual, a embalagem representa um fator essencial para o consumo e para a atividade econômica, desempenhando também funções estéticas e comunicativas, como despertar o desejo de compra, transmitir informações e interagir com o consumidor. Mais recentemente, tem-se buscado desenvolver embalagens capazes de interagir com o produto e auxiliar na manutenção da sua qualidade, indo além da simples função de contenção (Azeredo; Mattoso; Furtado; Rosa, 2012).

A preservação e o transporte adequados dos alimentos dependem diretamente da qualidade das embalagens. Embalagens bem elaboradas não apenas garantem a integridade física e microbiológica dos produtos, como também contribuem para a redução de perdas e desperdícios ao longo da cadeia produtiva. Entretanto, as embalagens plásticas convencionais — majoritariamente derivadas de fontes fósseis, representam uma séria ameaça ambiental, o que tem impulsionado pesquisas voltadas à substituição por materiais biodegradáveis e de origem renovável (Franchetti; Marconato, 2006).

Entre os materiais biodegradáveis estudados, destacam-se aqueles elaborados a partir de polissacarídeos, proteínas e lipídios, cujas matrizes permitem a formação de filmes e revestimentos com propriedades mecânicas e barreiras satisfatórias. Nesse contexto, o acetato de celulose tem se mostrado um polímero promissor, derivado da celulose natural por meio de reação de acetilação, apresentando boa transparência, resistência e biodegradabilidade. Além dessas características, a matriz polimérica do acetato de celulose permite a incorporação de compostos funcionais, possibilitando o desenvolvimento de filmes com funcionalidades adicionais para aplicações em embalagens (Carvalho *et al.*, 2017; Laroque, 2018).

Apesar da preocupação ambiental, pesquisas recentes têm focado no desenvolvimento de embalagens ativas, capazes de interagir com o alimento e contribuir para prolongar a vida útil e preservar atributos de qualidade, incluindo características sensoriais. Esses sistemas podem liberar compostos antioxidantes

e/ou antimicrobianos, retardando processos de deterioração associados à oxidação e ao crescimento microbiano durante o armazenamento (Almada *et al.*, 2022; Azeredo; Mattoso; Furtado; Rosa, 2012; Fakhouri *et al.*, 2007).

Nessas embalagens ativas, o uso de extratos naturais como os provenientes do alecrim (*Rosmarinus officinalis* L.) e da casca de uva (*Vitis vinifera* L.) tem despertado grande interesse por sua capacidade antioxidante e por agregar valor funcional às embalagens (Andrade *et al.*, 2023; El Fawal; Omer; Tamer, 2019; Etxabide *et al.*, 2022).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Embalagens biodegradáveis

Atualmente, o setor de embalagens ocupa posição central nas estratégias de gestão de resíduos sólidos, uma vez que materiais tipicamente associados às embalagens (como plásticos, papel e papelão, vidro e metais) representam parcela expressiva dos resíduos sólidos urbanos. No Brasil, a composição média do lixo urbano coletado, em termos de participação por peso (massa) de cada material indica que os recicláveis secos somam 33,6%, com destaque para plásticos (16,8%) e papel e papelão (10,4%), além de vidro e metais, evidenciando a relevância de ações de coleta seletiva e reciclagem no gerenciamento desses resíduos (Brasil, 2022).

Nesse cenário, os materiais plásticos se destacam não apenas pela elevada participação na fração de recicláveis, mas também pelo uso massivo no acondicionamento e proteção de produtos. Filmes plásticos derivados do petróleo, como o polietileno, o cloreto de polivinila e o polipropileno, continuam amplamente utilizados devido às suas boas propriedades mecânicas, barreira a gases e umidade, e excelente capacidade de vedação térmica. Entretanto, os impactos ambientais associados ao descarte inadequado desses materiais reforçam a necessidade de desenvolvimento de alternativas sustentáveis, como as embalagens biodegradáveis, capazes de oferecer proteção e conservação semelhantes com menor impacto ambiental (Franchetti; Marconato, 2006).

Os polímeros biodegradáveis distinguem-se dos polímeros convencionais não biodegradáveis (em geral derivados do petróleo) por sua maior suscetibilidade à ação de microrganismos e de enzimas naturais produzidas por bactérias e fungos presentes no ambiente, especialmente no solo. O processo de biodegradação envolve a colonização microbiana na superfície do material e a secreção de enzimas capazes de promover a quebra das cadeias poliméricas, culminando na formação de dióxido de carbono, água e biomassa microbiana (Costa; Albuquerque; Brum; Castro, 2015).

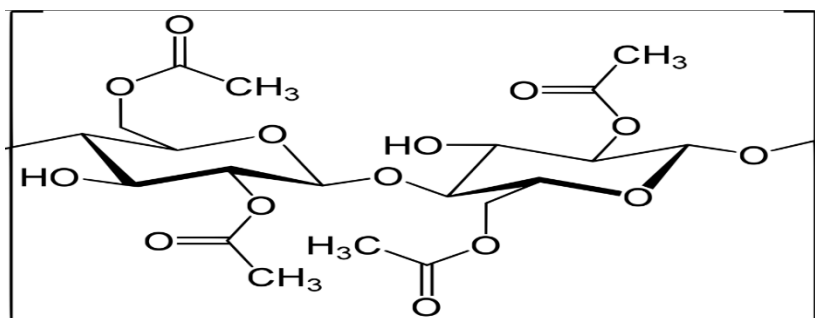
De modo geral, a eficiência desse processo pode variar conforme condições do meio (por exemplo, temperatura e pH) e características do polímero, como peso molecular e grau de cristalinidade (Costa; Albuquerque; Brum; Castro, 2015). No caso do acetato de celulose (ACC), a biodegradação costuma envolver uma etapa

inicial de desacetilação (por hidrólise e/ou ação de esterases), que aumenta a acessibilidade do material à degradação do “esqueleto” celulósico; por isso, a biodegradabilidade do ACC é particularmente influenciada pelo grau de acetilação/grau de substituição, além de depender das condições ambientais de degradação (Puls; Wilson; Hölder, 2011; Yadav; Hakkarainen, 2021).

Filmes biodegradáveis podem ser elaborados a partir de biopolímeros naturais, como polissacarídeos, proteínas e lipídios, os quais são frequentemente aplicados como revestimentos comestíveis para frutas e hortaliças. Entre esses materiais, ACC destaca-se como um polímero promissor e de grande interesse comercial para a substituição de plásticos de fonte petroquímica. O ACC é produzido por meio da reação de esterificação (acetilação) da celulose natural, na qual os grupos hidroxila (OH) das unidades de glicose são substituídos por grupos acetila (COCH_3). Esse processo industrial ocorre geralmente utilizando anidrido acético como agente acetilante, ácido acético como solvente e ácidos sulfúrico ou perclórico como catalisadores (Almada *et al.*, 2022; Carvalho *et al.*, 2017; Fakhouri *et al.*, 2007; Laroque, 2018).

A biodegradação do ACC é um processo complexo, influenciado pela interação entre sua estrutura e as condições do meio (Yadav; Hakkarainen, 2021). O tempo médio para a degradação total varia conforme o ambiente: enquanto fibras de ACC em solo úmido podem ser completamente destruídas em um período de 4 a 9 meses, plásticos sintéticos convencionais como o nylon e o poliéster não apresentam mudanças significativas após 12 meses (PULS; WILSON; HÖLTER, 2011). Sob condições de compostagem controlada ($\sim 53^\circ\text{C}$), a eficiência é ainda maior, com filmes desaparecendo em apenas 18 dias, enquanto materiais como o amido termoplástico podem degradar em cerca de 45 dias (Puls; Wilson; Hölder, 2011; Zetty-Arenas, 2012). A estrutura química do acetato de celulose é apresentada na Figura 1.

Figura 1. Fórmula química do acetato de celulose.



Fonte: Adaptado de Wikimedia Commons (Yikrazuul, 2009).

No cenário brasileiro, estudos nacionais apontam o ACC como uma matriz polimérica adequada para sistemas ativos devido à sua versatilidade em permitir a incorporação e a liberação controlada de compostos funcionais (Carvalho *et al.*, 2017). Entre as principais contribuições da literatura nacional, destacam-se as pesquisas de Carvalho e seus colaboradores (2017), que demonstraram o potencial de biofilmes de ACC incorporados com nanossuspensões de curcumina para conferir atividade antioxidante e prevenir a oxidação lipídica em alimentos. Adicionalmente, destacam-se os trabalhos desenvolvidos na Universidade Federal de Santa Catarina por Paganini (2017), que utilizou óleo essencial de orégano diretamente na matriz filmogênica de ACC para estender a vida útil de presunto, e por Laroque (2018), que desenvolveu filmes antimicrobianos com carvacrol. Outras contribuições relevantes incluem os estudos de Lopes e seus colaboradores (2014) com aldeído cinâmico e Gouvêa e seus colaboradores (2015) com bacteriófagos, que reforçam a viabilidade do ACC como veículo para agentes antideteriorantes naturais.

A capacidade filmogênica do ACC é conferida pela sua estrutura macromolecular, que permite a organização das cadeias poliméricas em matrizes estáveis com excelente transparência, resistência mecânica e propriedades de barreira a gases e umidade. As propriedades físicas e químicas do ACC são determinadas pelo seu Grau de Substituição (GS), que representa o número médio de grupos hidroxila substituídos por grupos acetila em cada unidade de glicose, variando de 0 a 3. Para a elaboração de biofilmes, utiliza-se comumente o ACC com GS de 2,5, pois este nível oferece uma solubilidade ideal em solventes orgânicos, como a acetona, facilitando a produção de filmes finos e uniformes. Além disso, o aproveitamento de resíduos agroindustriais na formulação desses

filmes tem se mostrado uma alternativa viável, sustentável e de baixo custo. Esses resíduos, ricos em fibras e compostos bioativos, são fontes renováveis de biopolímeros e contribuem para o avanço da economia circular (Carvalho *et al.*, 2017; Laroque, 2018; Puls; Wilson; Hölter, 2011).

2.2 Embalagens Ativas

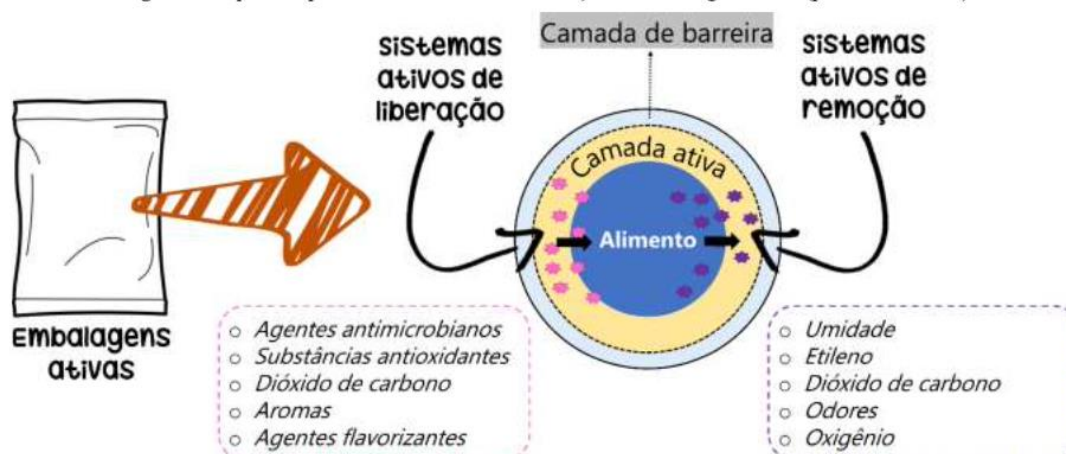
O avanço das pesquisas em embalagens alimentícias tem priorizado tecnologias que vão além da função de barreira, buscando reduzir as principais vias de deterioração (oxidação, crescimento microbiano e variações de umidade) e, com isso, preservar atributos sensoriais como cor, sabor, aroma e textura ao longo do armazenamento. Nesse sentido, destacam-se estratégias como a incorporação/liberação controlada de compostos antioxidantes e antimicrobianos, bem como o uso de sistemas capazes de absorver ou liberar substâncias e controlar condições dentro da embalagem, contribuindo para aumento da vida útil e manutenção da qualidade do alimento (Azeredo; Mattoso; Furtado; Rosa, 2012).

Dentro desse cenário, as tecnologias de embalagens ativas e inteligentes se diferenciam pelo modo de atuação: as inteligentes têm como foco monitorar condições do alimento e/ou do ambiente por meio de indicadores (por exemplo, sistemas com antocianinas capazes de sinalizar alterações associadas à deterioração), fornecendo informação ao longo do armazenamento (Golasz; Silva; Silva, 2013; Zetty-Arenas, 2012). Em contraste, as embalagens ativas atuam diretamente no sistema embalagem–alimento, podendo liberar ou veicular compostos antioxidantes e/ou antimicrobianos e, assim, contribuir para melhorar a segurança e a qualidade, prolongando a vida útil ao longo do armazenamento e da comercialização (Almada *et al.*, 2022; Fakhouri *et al.*, 2007).

De acordo com a literatura, materiais de embalagem ativa podem ser definidos como aqueles capazes de interagir com o alimento e/ou com o microambiente interno da embalagem, contribuindo para a conservação do produto embalado. Entre os principais exemplos destacam-se os sistemas emissores/veiculadores de compostos bioativos, como substâncias antioxidantes e antimicrobianas, incorporadas em filmes e coberturas, que auxiliam na preservação da qualidade e da segurança dos alimentos (Almada *et al.*, 2022; Azeredo; Mattoso; Furtado; Rosa, 2012; Fakhouri *et al.*, 2007).

Esse mecanismo de ação, baseado em sistemas de liberação e de remoção por contato direto com o alimento, é ilustrado na Figura 2.

Figura 2. Esquema representativo do mecanismo de ação das embalagens ativas (por contato direto).



Fonte: (Almada *et al.*, 2022).

Além disso, os consumidores têm se mostrado cada vez mais exigentes, buscando alimentos naturais e livres da adição de aditivos sintéticos, o que representa um desafio para a indústria alimentícia, uma vez que há a necessidade de ampliar o prazo de validade dos produtos. Embora, à primeira vista, pareça contraditório atender simultaneamente a essas demandas, tal equilíbrio pode ser alcançado por meio do uso de embalagens ativas incorporadas com extratos naturais. (Azeredo, 2019).

Os filmes poliméricos com propriedades antioxidantes e antimicrobianas têm despertado grande interesse científico devido aos desafios relacionados à oxidação lipídica e à contaminação microbiana, que afetam diretamente a qualidade e a segurança dos alimentos. A incorporação de compostos naturais às matrizes poliméricas pode contribuir para prolongar a vida útil dos produtos e preservar suas características sensoriais e nutricionais, ampliando alternativas aos conservantes sintéticos (Fakhouri *et al.*, 2007).

Entre os compostos de origem natural utilizados destacam-se extratos e óleos essenciais, como os de alecrim, amplamente reconhecidos por sua ação

antioxidante. Esses aditivos naturais, quando empregados dentro dos limites regulatórios, são considerados seguros e, além de prolongarem a conservação dos alimentos, podem agregar compostos bioativos às formulações (Anvisa, 2019; El Fawal; Omer; Tamer, 2019).

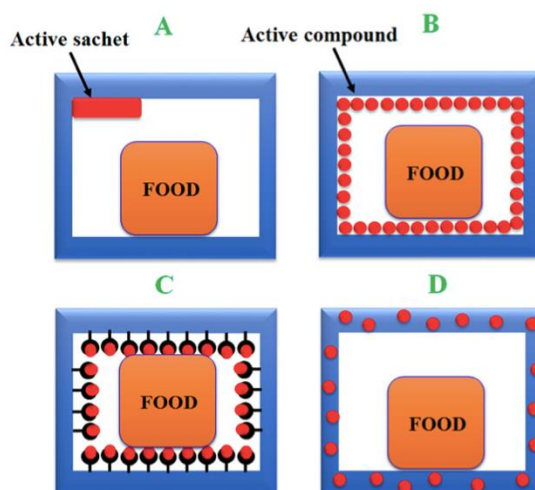
Resultados na literatura mostram que biofilmes contendo compostos fenólicos de origem vegetal apresentam atividade antioxidante mensurável e potencial de aplicação tecnológica, sobretudo quando incorporados a matrizes poliméricas destinadas ao contato com alimentos (Abe *et al.*, 2007; Soares *et al.*, 2008).

Estudos demonstram que a incorporação de compostos vegetais, como óleos essenciais e extratos ricos em fenólicos, em filmes biodegradáveis pode contribuir para reduzir o crescimento microbiano durante o armazenamento de produtos pesqueiros (Gómez-Estaca *et al.*, 2010).

A eficiência desses sistemas depende de fatores como a composição e a estrutura da matriz polimérica, a polaridade/hidrofobicidade do composto ativo e a estratégia de incorporação (por exemplo, dispersão na matriz, uso de emulsões/nanossuspensões ou aditivos). Esses fatores afetam as interações ativo–polímero, a difusão no material e, conseqüentemente, a taxa de liberação e a duração da atividade antioxidante durante o armazenamento (Azeredo; Mattoso; Furtado; Rosa, 2012; Carvalho *et al.*, 2017; Fakhouri *et al.*, 2007; Laroque, 2018).

As principais estratégias para sistemas de embalagens ativas, incluindo o uso de sachês, revestimento, imobilização superficial e incorporação direta do composto ativo na matriz, estão ilustradas na Figura 3.

Figura 3. Formas de projetar sistemas de embalagens ativas (a) utilização dos sachês ativos dentro da embalagem de alimentos, (b) revestimento de um composto ativo no polímero, (c) imobilização do composto ativo na superfície do polímero, e (d) incorporação direta na matriz polimérica.



Fonte: Almasi; Jahanbakhsh Oskouie; Saleh (2021).

Conforme ilustrado na Figura 3, existem diferentes estratégias para o desenvolvimento de embalagens ativas, as quais diferem significativamente quanto ao mecanismo de ação e à cinética de liberação dos compostos bioativos (Almasi *et al.*, 2021). Essas abordagens podem ser classificadas da seguinte forma:

- **Inserção de sachês ou dispositivos ativos:** consiste na colocação de pequenos invólucros independentes (como sachês de absorção de oxigênio, umidade ou etileno) no interior da embalagem primária, sem que o agente ativo faça parte da estrutura do filme (Laroque, 2018);
- **Revestimento ou filmes multicamadas:** o composto ativo é aplicado como uma cobertura funcional (verniz) ou posicionado em uma camada interna específica entre filmes de barreira, visando direcionar a migração do ativo exclusivamente para o alimento (Almada *et al.*, 2022);
- **Imobilização superficial:** o agente bioativo é fixado na superfície do polímero por meio de ligações químicas (covalentes) ou adsorção física, agindo diretamente no contato com o alimento ou no *headspace* (Azeredo, 2019);
- **Incorporação direta na matriz polimérica:** o agente bioativo é misturado ao polímero ainda na fase de solução filmogênica (Carvalho *et al.*, 2017).

Essa última estratégia é amplamente utilizada em biofilmes de acetato de celulose, pois permite que a difusão do composto ativo ocorra de maneira sustentada e por períodos prolongados, compensando o consumo ou a degradação dos aditivos na superfície do produto e mantendo uma concentração eficaz para a conservação do alimento (Laroque, 2018)

Independentemente da técnica empregada, estudos na área demonstram resultados consistentes na manutenção da qualidade e da segurança e na extensão da vida útil dos alimentos, em função da liberação controlada de substâncias ativas no sistema embalagem–alimento (Andrade *et al.*, 2022; Laroque, 2018). No presente trabalho, optou-se pela estratégia de incorporação direta do agente ativo na matriz polimérica, realizada durante a etapa de preparação da solução filmogênica. Essa técnica é amplamente utilizada em biofilmes de ACC, pois permite que o composto bioativo seja distribuído de forma homogênea entre as cadeias do polímero, facilitando o controle da porosidade e da difusão (Carvalho *et al.*, 2017; Laroque, 2018). Além disso, essa abordagem possibilita a reposição contínua do agente na superfície do alimento, compensando o seu consumo ou degradação e mantendo uma concentração eficaz para a conservação do produto por períodos prolongados (Laroque, 2018).

2.3 Extratos naturais

Extratos naturais são substâncias obtidas de fontes vegetais, como ervas e especiarias, que têm sido amplamente investigadas como alternativas seguras aos aditivos sintéticos devido ao seu elevado potencial nutricional e bioativo (Nieto; ros; Castillo, 2018). Dentre os constituintes mais relevantes presentes nesses extratos, destacam-se os compostos fenólicos, um grupo heterogêneo de metabólitos secundários de plantas que possuem em sua estrutura química anéis benzênicos substituídos por grupamentos hidroxila (Soares *et al.*, 2008). Essas substâncias atuam como antioxidantes primários por meio da doação de hidrogênio ou elétrons, formando radicais intermediários estáveis que interrompem a cadeia de oxidação lipídica e sequestram espécies reativas de oxigênio (Almada *et al.*, 2022; Miele, 2007; Nieto; Ros; Castillo, 2018).

Nesse contexto, a casca de uva, frequentemente descartada como subproduto da agroindústria, destaca-se como uma fonte relevante de compostos

fenólicos e de componentes estruturais, como fibras (Abe *et al.*, 2007; Soares *et al.*, 2008). Essa fração representa entre 5% e 10% do bagaço de uva e concentra substâncias de alto valor tecnológico, incluindo flavonóis, antocianinas e estilbenos como o resveratrol (Etxabide *et al.*, 2022; Selani *et al.*, 2011). Estudos com uvas das espécies *Vitis labrusca* e *Vitis vinifera* cultivadas no Brasil indicam uma presença expressiva desses fenólicos e uma elevada capacidade antioxidante associada a esses constituintes, o que reforça o potencial de aproveitamento de frações como casca e bagaço para a funcionalização de matrizes poliméricas biodegradáveis (Abe *et al.*, 2007; Selani *et al.*, 2011; Soares *et al.*, 2008).

Nesse contexto, a aplicação de extratos obtidos a partir desses resíduos em matrizes poliméricas tem sido explorada como estratégia para agregar funcionalidade a biofilmes, visando contribuir para a conservação de alimentos e a extensão da vida útil, em linha com abordagens de valorização de resíduos agroindustriais e desenvolvimento de materiais biodegradáveis (Azeredo, 2019; Fakhouri *et al.*, 2007; Vaz Junior, 2020). Essa potencialidade fundamenta-se na presença de compostos fenólicos, que constituem importantes metabólitos secundários de plantas amplamente distribuídos no reino vegetal (Miele, 2007; Soares *et al.*, 2008). Quimicamente, essas substâncias possuem um ou mais anéis benzênicos substituídos por grupamentos hidroxila e atuam como antioxidantes primários por meio da doação de hidrogênio ou elétrons, formando radicais intermediários estáveis que interrompem a cadeia de oxidação lipídica (Almada *et al.*, 2022; Soares *et al.*, 2008).

As uvas são consideradas uma das maiores fontes desses compostos, apresentando quantidades relevantes cujos teores variam significativamente conforme a cultivar, as condições climáticas e as características do solo (Abe *et al.*, 2007). Quanto à distribuição no fruto, a casca destaca-se como uma das frações de maior interesse tecnológico por concentrar classes fundamentais de bioativos, como os flavonoides (ex.: flavonóis), as antocianinas, os ácidos fenólicos e os estilbenos, com destaque para o resveratrol (Abe *et al.*, 2007; Miele, 2007). A presença dessas substâncias na película do fruto reforça o potencial de aproveitamento da casca de uva como agente ativo para a funcionalização de embalagens, permitindo que a matriz polimérica atue no retardamento de processos oxidativos e na manutenção da qualidade sensorial dos alimentos (Abe *et al.*, 2007; Soares *et al.*, 2008).

Dentre os constituintes da película do fruto, o resveratrol destaca-se como uma fitoalexina pertencente à classe dos estilbenos, cuja biossíntese é induzida por fatores ambientais, como radiação UV e infecções fúngicas (Abe *et al.*, 2007). A ação protetora do resveratrol e de outros polifenóis, como a quercetina e as catequinas, baseia-se na capacidade de inibir a oxidação de lipoproteínas de baixa densidade (LDL) e reduzir a agregação plaquetária, retardando a progressão de lesões ateroscleróticas (Abe *et al.*, 2007). Embora evidências *in vitro* e *in vivo* apontem benefícios significativos para a função vascular e endotelial, a literatura indica que resultados concludentes em humanos ainda dependem da superação de desafios relacionados à baixa biodisponibilidade desses bioativos no organismo (Miele, 2007).

As antocianinas, pigmentos da classe dos flavonoides cujos nomes derivam do grego anthos (flor) e kyanos (azul), compõem o maior grupo de substâncias hidrossolúveis responsáveis pelas cores vermelha, violeta e azul em vegetais. Estruturalmente, são constituídas por uma aglicona, denominada antocianidina, ligada a moléculas de açúcares, sendo que seis delas (pelargonidina, cianidina, delfinidina, peonidina, petunidina e malvidina) possuem maior importância comercial em alimentos (Gomes *et al.*, 2022).

Para além de sua função corante, esses compostos despertam interesse tecnológico devido ao elevado poder antioxidante, demonstrando eficácia no combate ao estresse oxidativo celular e na redução do risco de doenças crônicas não degenerativas, como diabetes, aterosclerose e disfunções cardiovasculares. No contexto de embalagens ativas, a incorporação desses bioativos permite que a matriz polimérica atue como veículo para a liberação de compostos funcionais, agregando valor nutricional ao alimento e promovendo a estabilidade oxidativa do sistema (Abe *et al.*, 2007; Zetty-Arenas, 2012).

Dada a elevada concentração e a bioatividade desses compostos na película da uva, o aproveitamento integral dos subprodutos da vinificação — que representam aproximadamente 30% do volume total de uvas processadas — surge como uma estratégia de alto valor tecnológico e ambiental (Selani *et al.*, 2011). Essa abordagem fundamenta-se no fato de que resíduos como a casca e o bagaço são fontes abundantes de taninos e flavonóis, substâncias capazes de retardar processos degradativos através da doação de elétrons ou hidrogênio a radicais livres, interrompendo a cadeia de oxidação (Almada *et al.*, 2022; Nieto; Ros; Castillo,

2018; Soares *et al.*, 2008). Ao incorporar esses extratos em matrizes poliméricas biodegradáveis, como o ACC, é possível agregar funcionalidade ativa aos filmes, inibindo a oxidação lipídica e o escurecimento enzimático em alimentos de maneira sustentável (Carvalho *et al.*, 2017; Laroque, 2018).

Complementando o potencial de utilização de bioativos de origem vegetal, o alecrim (*Rosmarinus officinalis* L.) destaca-se na literatura como uma das fontes naturais mais eficazes para a funcionalização de embalagens ativas (Andrade *et al.*, 2023; Nieto; Ros; Castillo, 2018). Enquanto as antocianinas da uva oferecem uma funcionalidade voltada à indicação visual de frescor, a eficácia do alecrim na preservação de alimentos é atribuída majoritariamente à sua elevada concentração de diterpenos fenólicos, especificamente o ácido carnósico e o carnosol (Birtić *et al.*, 2015; Loussouarn *et al.*, 2017). Quimicamente, o ácido carnósico atua como um potente sequestrador de espécies reativas de oxigênio (EROs) e, sob condições de estresse oxidativo, sofre um processo de transformação estrutural conhecido como "cascada de oxidação", convertendo-se em carnosol e outros derivados que mantêm a bioatividade, prolongando a proteção do sistema ao longo do tempo (Loussouarn *et al.*, 2017; Masuda *et al.*, 2002).

Em biofilmes de ACC, a incorporação desses compostos apresenta resultados promissores, uma vez que a matriz polimérica permite a liberação controlada e sustentada dos ativos na interface embalagem–alimento (Carvalho *et al.*, 2017; El Fawal; Omer; Tamer, 2019). Estudos demonstram que essa funcionalização confere aos filmes uma atividade antioxidante superior à de aditivos sintéticos convencionais, como o BHA e o BHT, além de promover uma significativa ação antimicrobiana contra bactérias Gram-positivas (*Bacillus subtilis*) e Gram-negativas (*Escherichia coli*), estendendo a vida útil de produtos sensíveis à oxidação lipídica e à deterioração microbiológica (El Fawal; Omer; Tamer, 2019; Nieto; Ros; Castillo, 2018).

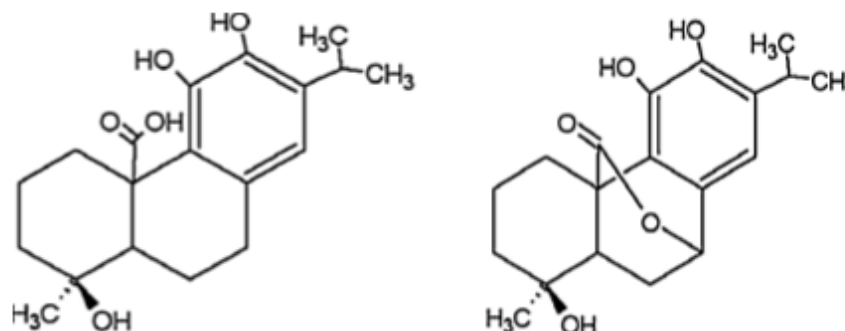
Essa versatilidade química, pautada na elevada bioatividade de seus diterpenos fenólicos, fundamenta a ampla aplicação tecnológica dos extratos de alecrim na indústria de alimentos como uma estratégia eficaz para mitigar processos oxidativos (Andrade *et al.*, 2023; Kaipers, 2017). No desenvolvimento de sistemas de embalagens ativas, Andrade e seus colaboradores (2023) apontam que a incorporação desses extratos em matrizes poliméricas permite a proteção de produtos sensíveis, como a carne bovina, contra a oxidação lipídica, preservando

suas propriedades nutricionais. Complementarmente, pesquisas nacionais conduzidas por Kaipers (2017) demonstraram que o uso do extrato de alecrim em linguiça colonial atua de forma significativa na manutenção da estabilidade oxidativa e sensorial do embutido, retardando o desenvolvimento de sabores e aromas indesejáveis durante o período de armazenamento. Tais resultados reforçam a viabilidade técnica do uso de compostos de origem natural em matrizes como o acetato de celulose, visando a substituição gradual de antioxidantes sintéticos por alternativas seguras e sustentáveis (Kaipers, 2017; Laroque, 2018)

Essa elevada performance do alecrim na preservação de matrizes alimentares decorre da bioatividade de seus compostos fenólicos, que atuam como potentes sequestradores de espécies reativas de oxigênio (EROs) e inibidores da iniciação da cadeia oxidativa (Nieto; Ros; Castillo, 2018). Quimicamente, essa proteção é sustentada pela doação de átomos de hidrogênio dos grupos hidroxila presentes no anel aromático das moléculas, o que estabiliza radicais livres lipídicos e previne a formação de hidroperóxidos (Soares *et al.*, 2008; Nieto; Ros; Castillo, 2018). Tais propriedades permitem que o extrato de alecrim retarde efetivamente a oxidação lipídica e mantenha a qualidade sensorial e nutricional dos alimentos por períodos prolongados (Kaipers, 2017; Nieto; Ros; Castillo, 2018)

Nesse contexto, a elevada performance antioxidante do alecrim é assegurada pela predominância do ácido carnósico, deve-se à presença de dois grupos hidroxila nas posições ortho (C11 e C12), estrutura que potencializa o sequestro de radicais peroxila e a inibição da peroxidação lipídica (Birtić *et al.*, 2015; Nieto; Ros; Castillo, 2018). Um diferencial tecnológico fundamental desse composto é que, ao reagir com espécies reativas de oxigênio, ele não é simplesmente inativado, mas convertido em derivados que mantêm elevada bioatividade, como o carnosol (Loussouarn *et al.*, 2017). Esse conjunto de transformações sucessivas, descrito na literatura como uma "cascada de oxidação", permite que o sistema mantenha sua capacidade protetora de forma sustentada ao longo do tempo, uma vez que a degradação do ativo primário gera novos agentes antioxidantes secundários (Birtić *et al.*, 2015; Loussouarn *et al.*, 2017; Masuda *et al.*, 2002). As estruturas químicas do ácido carnósico e de seu principal produto de oxidação, o carnosol, são apresentadas na Figura 4.

Figura 4. Estrutura química do ácido carnósico (esquerda) e do carnosol (direita).



Fonte: Bentayeb *et al.*, 2007.

Além da estabilidade oxidativa proporcionada pelo mecanismo de cascata, os compostos fenólicos do alecrim conferem à matriz polimérica uma relevante funcionalidade antimicrobiana, essencial para o controle de micro-organismos deteriorantes (Andrade *et al.*, 2023; Nieto; Ros; Castillo, 2018). Essa bioatividade é também exercida majoritariamente pelos diterpenos ácido carnósico e carnosol, cuja natureza lipofílica permite a inserção dessas moléculas na bicamada lipídica da membrana bacteriana (Birtić *et al.*, 2015; Nieto; Ros; Castillo, 2018). Quimicamente, essa interação desestabiliza a integridade da parede celular, provocando o vazamento de componentes citosólicos vitais, como íons potássio, e o esgotamento de ATP, o que culmina na inibição do metabolismo bacteriano (EL Fawal; Omer; Tamer, 2019; Laroque, 2018).

No desenvolvimento de embalagens ativas de ACC, a incorporação desses bioativos tem demonstrado eficácia crescente contra bactérias Gram-positivas (*Bacillus subtilis*) e Gram-negativas (*Escherichia coli*), proporcionalmente ao aumento da concentração do extrato no filme (El Fawal; Omer; Tamer, 2019). Tais evidências reforçam que a veiculação desses compostos naturais em biofilmes de ACC não apenas retarda a oxidação lipídica, mas atua como uma barreira biológica ativa, garantindo a inocuidade e estendendo a vida útil comercial de produtos cárneos e gordurosos (Andrade *et al.*, 2023; Kaipers, 2017).

No cenário regulatório brasileiro, o uso do extrato de alecrim (INS 392) como aditivo antioxidante é expressamente autorizado pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) por meio da Resolução RDC nº 281/2019 (Anvisa, 2019b; Brasil,

2019). Esta normativa estabelece limites máximos e condições de uso para categorias específicas, como óleos de peixe e óleos vegetais, condicionando a dosagem permitida à soma das concentrações de ácido carnósico e carnosol (Anvisa, 2019b; Nieto; Ros; Castillo, 2018). Essa conformidade legal, aliada à segurança toxicológica dos bioativos naturais, fundamenta a ampla aceitação industrial do extrato em substituição aos antioxidantes sintéticos convencionais (Almada *et al.*, 2022; Nieto; Ros; Castillo, 2018).

Amparada por essa viabilidade técnica e regulatória, a aplicação prática do extrato de alecrim tem demonstrado elevada eficácia na estabilização de matrizes alimentares complexas e ricas em lipídios, como a linguiça colonial (KAIPERS, 2017). Nestes produtos cárneos, a incorporação do extrato atua diretamente no retardamento da oxidação lipídica e na inibição da formação de subprodutos degradativos como o malonaldeído (MDA), garantindo a manutenção da qualidade sensorial e nutricional durante o armazenamento (Almada *et al.*, 2022; Kaipers, 2017). Tais relatos consolidam o alecrim como uma ferramenta estratégica para prolongar a vida comercial de embutidos, atendendo à crescente demanda por produtos com rótulos mais limpos e seguros (Almada *et al.*, 2022; Kaipers, 2017; Nieto; Ros; Castillo, 2018).

Para além da adição direta às formulações alimentícias, a tendência contemporânea de inovação caminha para a integração desses extratos vegetais em matrizes poliméricas biodegradáveis, visando o desenvolvimento de biofilmes ativos (Almada *et al.*, 2022; Azeredo, 2019). Essa abordagem tecnológica não apenas otimiza a conservação dos produtos, como também promove o avanço de cadeias produtivas alinhadas aos princípios da economia circular, estimulando a criação de embalagens ambientalmente responsáveis que reduzem a dependência de polímeros derivados do petróleo (Almada *et al.*, 2022; Brasil, 2022; Vaz Junior, 2020).

3. OBJETIVO

3.1 Objetivo geral

Produzir filmes de acetato de celulose com incorporação de extratos de alecrim e de casca de uva.

3.2 Objetivos específicos

- Produzir extrato natural de casca de uva;
- Produzir extrato natural de alecrim;
- Produzir filme de acetato de celulose;
- Produzir filmes de acetato de celulose com incorporação dos extratos naturais;
- Avaliar as características físicas e mecânicas dos filmes produzidos.

4. MATERIAIS E MÉTODO

4.1 Materiais

Para a elaboração dos biofilmes, foram utilizados como precursores poliméricos o acetato de celulose (ACC), com grau de substituição de 2,5, e o glicerol como agente plastificante (Carvalho *et al.*, 2017; Laroque, 2018). O sistema solvente empregado foi a acetona P.A. (Laroque, 2018). Como fontes de compostos bioativos, foram adquiridas em comércio local uvas da cultivar Niágara (*Vitis labrusca* L.) e alecrim seco da marca Lopez (Abe *et al.*, 2007; Nieto; Ros; Castillo, 2018).

4.2 Obtenção dos Extratos Naturais

A preparação do extrato da casca de uva iniciou-se com a limpeza, remoção de impurezas e seleção manual dos frutos (Soares *et al.*, 2008). As uvas foram descascadas manualmente, e as cascas submetidas à secagem em estufa com convecção de ar a 60 °C por 24 horas (Selani *et al.*, 2011). Após a secagem, o material foi moído em processador manual e armazenado em recipientes opacos e herméticos para mitigar processos oxidativos (Soares *et al.*, 2008).

Para a extração dos compostos fenólicos, utilizou-se o método de extração assistida por agitação em solução hidroetanólica (70% álcool e 30% água) (Andrade *et al.*, 2023; Ribeiro *et al.*, 2016). O pó obtido (das cascas ou do alecrim) foi adicionado ao solvente e mantido sob agitação constante de 200 rpm em banho termostático por 1 hora para maximizar a transferência de massa (Ribeiro *et al.*, 2016; Selani *et al.*, 2011). Na sequência, procedeu-se à filtração para separação do resíduo sólido, seguida por rotaevaporação do solvente e o extrato líquido foi acondicionado em frascos âmbar sob refrigeração (Selani *et al.*, 2011; Soares *et al.*, 2008).

4.3 Elaboração dos Biofilmes de Acetato de Celulose

Os biofilmes foram produzidos pela técnica de casting, que consiste na evaporação do solvente de uma solução filmogênica vertida sobre um suporte (Carvalho *et al.*, 2017; Laroque, 2018). A solução base para todos os tratamentos foi composta por 3 g de ACC, 10% de glicerol (em relação à massa de polímero) e

30 mL de acetona (Carvalho *et al.*, 2017; Laroque, 2018). O glicerol foi incorporado para reduzir as forças intermoleculares entre as cadeias de ACC, aumentando a flexibilidade e a mobilidade molecular do filme (Azeredo, 2019; Zetty-Arenas, 2012).

A dissolução do ACC no sistema solvente ocorreu sob agitação por 24 horas, seguida de um período de repouso de 1 hora para a eliminação de bolhas de ar (Carvalho *et al.*, 2017; Laroque, 2018). Após a homogeneização da matriz, os extratos de alecrim ou uva foram incorporados diretamente à solução conforme o delineamento experimental (Nieto; Ros; Castillo, 2018). As soluções foram vertidas em placas de vidro niveladas com um bastão de vidro e, após a secagem parcial e evaporação da acetona, os biofilmes foram removidos e armazenados em envelopes de papel (Carvalho *et al.*, 2017; Laroque, 2018).

4.4 Delineamento Experimental

Foram realizados cinco tratamentos, variando-se a concentração e o tipo de extrato natural incorporado, mantendo-se fixa a composição da matriz polimérica (Tabela 1).

Tabela 1 – Composição dos filmes de acetato de celulose produzidos.

Tratamento	Acetato (g)	Glicerol (%)*	Acetona (mL)	Extrato Natural (%)
Controle	3	10	30	0
Extrato de Alecrim- A1	3	10	30	10
Extrato de Alecrim- A2	3	10	30	20
Extrato Casca Uva -U1	3	10	30	10
Extrato Casca Uva -U2	3	10	30	20

*Percentagem de glicerol em relação ao acetato de celulose.

Fonte: Própria.

5. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA DOS BIOFILMES

A caracterização dos biofilmes é fundamental para avaliar a influência da incorporação dos extratos naturais na integridade estrutural e funcional da matriz de acetato de celulose (ACC). As análises foram conduzidas no Laboratório Multiusuário da Universidade Federal de Goiás (UFG).

5.1 Espessura

A espessura dos filmes foi determinada utilizando-se um micrômetro digital (Qualitylabor, modelo MEP/Q, Perus) com resolução de 0,0001 mm. A medição foi realizada em cinco pontos aleatórios em diferentes segmentos de cada amostra, adotando-se a média aritmética para os cálculos subsequentes. O controle rigoroso deste parâmetro é essencial, pois variações na espessura impactam diretamente o desempenho mecânico e as propriedades de barreira da embalagem, além de serem necessárias para o cálculo da tensão máxima de ruptura.

5.2 Propriedades Mecânicas

Os ensaios de tração foram realizados em uma máquina universal de ensaios (Instron, modelo 3367, Grove City), equipada com controle pneumático e célula de carga de 500 N, seguindo as diretrizes da norma ASTM D882-10 (Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting). Foram preparadas dez repetições por tratamento, consistindo em tiras de amostras com largura de 10 mm e comprimento de 140 mm.

Previamente aos testes, as amostras foram acondicionadas em envelopes de papel e climatizadas em câmara sob umidade relativa de $50 \pm 5 \%$ e temperatura de $23 \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ por 48 horas, garantindo a padronização do teor de umidade da matriz polimérica. O equipamento foi configurado com uma separação inicial entre as garras de 100 mm e velocidade de tração de 12 mm/min. Através das curvas força-deformação, foram determinados os seguintes parâmetros:

- **Tensão Máxima e Tensão na Ruptura:** representam a resistência máxima do material antes da falha estrutural (Carvalho *et al.*, 2017; Laroque, 2018; Zetty-Arenas, 2012).

- **Módulo de Elasticidade ou Módulo de Young:** indicador da rigidez do biofilme, calculado pela inclinação da curva na região elástica (Andrade *et al.*, 2023; Laroque, 2018).
- **Alongamento ou Elongação na Ruptura:** expressa a capacidade de deformação e extensibilidade do filme antes do rompimento, sendo influenciada pela presença de agentes plastificantes como o glicerol e compostos bioativos (Azeredo, 2019; Laroque, 2018; Zetty-Arenas, 2012).

6. ANALISE ESTATISTICA

O experimento foi conduzido sob um delineamento inteiramente casualizado (DIC). Embora o planejamento inicial prevísse cinco amostras (Controle, A1, A2, U1 e U2), as análises de caracterização foram realizadas em três tratamentos: Controle (0% de extrato), A1 (10% de extrato de alecrim) e U1 (10% de extrato de uva). Essa seleção decorreu de dificuldades técnicas na formação dos biofilmes nos tratamentos com 20% de incorporação (A2 e U2), os quais não apresentaram integridade estrutural suficiente para a realização dos ensaios mecânicos.

Para cada análise de caracterização, foram realizadas 10 repetições, garantindo a representatividade estatística dos dados. Os resultados obtidos foram relatados na forma de média $\pm$ desvio padrão. A avaliação da existência de diferenças significativas entre as médias dos tratamentos foi realizada por meio da análise de variância (ANOVA), seguida pelo teste de Tukey, adotando-se o nível de 95% de significância ($p < 0,05$). O processamento dos dados estatísticos foi executado utilizando o software RStudio.

7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização física e mecânica dos biofilmes de acetato de celulose (ACC) incorporados com extratos de alecrim e casca de uva é fundamental para determinar a viabilidade tecnológica desses materiais como embalagens ativas. Os resultados médios obtidos para os parâmetros de espessura e propriedades mecânicas estão consolidados na Tabela 2.

Tabela 2 – Propriedades físicas e mecânicas dos biofilmes de ACC incorporados com extratos naturais.

Tratamento	Carga Máxima Suportada (N)	Tensão Máxima (MPa)	Tensão em Ruptura (MPa)	Elongação (%)	Módulo de Young (MPa)	Espessura (mm)
Controle	27,197 ± 8,48 ^a	10,558 ± 3,29 ^a	7,559 ± 4,76 ^a	4,094 ± 2,44 ^b	693,255 ± 135,82 ^a	0,125 ± 0,08 ^a
A1	10,621 ± 2,62 ^b	4,559 ± 1,12 ^b	4,440 ± 1,16 ^{ab}	13,942 ± 6,15 ^a	160,471 ± 37,52 ^b	0,122 ± 0,01 ^a
U1	14,675 ± 8,97 ^b	4,632 ± 2,83 ^b	3,391 ± 2,86 ^b	7,309 ± 4,04 ^b	216,327 ± 118,50 ^b	0,167 ± 0,06 ^a

Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Fonte: Dados da pesquisa (2024).

7.1 Espessura e Uniformidade

A espessura dos biofilmes variou entre 0,122 mm e 0,167 mm, não sendo observadas diferenças estatisticamente significativas ($p > 0,05$) entre o controle e os tratamentos com extratos. A manutenção da espessura sugere que a incorporação de 10% dos extratos naturais não interferiu no volume final da matriz filmogênica após a evaporação do solvente (Silveira, 2007). Além disso, a ausência de variações bruscas indica que o método de casting manual empregado foi eficiente para garantir a uniformidade estrutural das películas (Laroque, 2018; Silveira, 2007).

7.2 Resistência à Tração e Carga Máxima

O biofilme Controle apresentou os maiores valores de Carga Máxima (27,197 N) e Tensão Máxima (10,558 MPa), demonstrando ser uma estrutura mais

rígida e resistente que as demais. Esse comportamento é atribuído à ausência de compostos interferentes na rede polimérica, o que favorece uma coesão mais forte entre as cadeias de acetato de celulose (Carvalho *et al.*, 2017; Silveira, 2007).

Em contrapartida, a adição de extratos de alecrim (A1) e uva (U1) reduziu significativamente ($p < 0,05$) a resistência mecânica dos filmes, com quedas na tensão máxima para patamares de 4,55 e 4,63 MPa, respectivamente. Tal redução pode ser explicada pela descontinuidade na matriz polimérica provocada pela inserção de compostos fenólicos e terpenos, que se intercalam entre as cadeias de ACC, diminuindo as forças intermoleculares e a resistência estrutural do material (Azeredo, 2019; Carvalho *et al.*, 2017; Laroque, 2018).

7.3 Elongação e Efeito Plasticizante

Um resultado de destaque foi observado no tratamento A1 (Alecrim), que apresentou um aumento significativo na elongação (13,94%) em relação ao controle (4,09%) (Tabela 2). Esse fenômeno, indica um nítido efeito plasticizante promovido pelos componentes lipofílicos do extrato de alecrim, como o ácido carnósico e o carnosol, que aumentam o volume livre entre as cadeias e facilitam a mobilidade molecular, tornando o biofilme mais flexível e menos quebradiço (Azeredo, 2019; Birtić *et al.*, 2015).

Para o extrato de casca de uva (U1), embora tenha havido um leve incremento na elongação (7,30%), o valor foi estatisticamente semelhante ao controle. Isso sugere que, nesta concentração, o extrato de uva atua majoritariamente como um agente de pigmentação e antioxidante, sem conferir ganhos expressivos na flexibilidade da matriz (Azeredo, 2019; Soares *et al.*, 2008).

7.4 Rigidez e Módulo de Young

O Módulo de Young reforça as observações sobre a flexibilização: o filme Controle apresentou a maior rigidez (693,25 MPa), enquanto os tratamentos A1 e U1 exibiram módulos significativamente menores (160,47 e 216,32 MPa, respectivamente). A redução da rigidez é um parâmetro desejável para embalagens que requerem melhor manuseabilidade e adaptação geométrica ao produto alimentício, confirmando que o alecrim é a alternativa mais promissora para a obtenção de filmes maleáveis (Azeredo, 2019; El Fawal; Omer; Tamer, 2019).

8.CONCLUSÃO

A elaboração dos biofilmes de acetato de celulose com a incorporação de extratos naturais provou ser uma estratégia de grande potencial, resultando em materiais com características muito favoráveis para o setor de embalagens sustentáveis. Os resultados gerais foram altamente positivos, pois demonstraram que é possível transformar um polímero biodegradável em uma ferramenta ativa de conservação sem comprometer sua integridade física.

O desempenho do extrato de alecrim foi particularmente excelente para a funcionalidade prática. O aumento expressivo na capacidade de alongamento e a redução da rigidez indicam que o filme se tornou mais maleável e resistente a quebras por manuseio.

Quanto ao extrato de casca de uva, embora tenha ocorrido uma redução na resistência mecânica em comparação ao filme sem aditivos, o resultado final ainda é considerado vantajoso e funcional. A manutenção de uma película homogênea e sem falhas visuais prova que a matriz polimérica suporta a carga de bioativos sem se desintegrar. O "preço" de uma menor resistência à tração é plenamente compensado pelo ganho de uma proteção química contra a oxidação, o que torna este filme uma opção superior aos plásticos comuns para o acondicionamento de produtos sensíveis ao oxigênio

Em suma, o trabalho demonstra que os biofilmes desenvolvidos são substitutos viáveis e promissores para polímeros derivados do petróleo. Como continuidade, sugere-se aprofundar os testes de barreira contra gases e luz, além de estudos térmicos, para consolidar esses materiais como soluções prontas para o uso em escala comercial, otimizando o equilíbrio entre a flexibilidade alcançada e a proteção antioxidante oferecida.

REFERÊNCIAS

ABE, L. T.; MOTA, R. V.; LAJOLO, F. M.; GENOVESE, M. I. Compostos fenólicos e capacidade antioxidante de cultivares de uvas *Vitis labrusca* L. e *Vitis vinifera* L. cultivadas no Brasil. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 2, p. 394-400, 2007.

ALMADA, L. F. P.; FIRMO, M. J. N.; ARRUDA, T. R.; LEITE JÚNIOR, B. R. C. Embalagens ativas antioxidantes: uma estratégia para a conservação de alimentos com alto teor lipídico. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 11, n. 11, e562111134112, 2022.

ALMASI, Hadi; JAHANBAKHSH OSKOUIE, Mahsa; SALEH, Ayda. A review on techniques utilized for design of controlled release food active packaging. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 61, n. 15, p. 2601–2621, 2021. DOI: 10.1080/10408398.2020.1783199.

ANDRADE, M. A.; BARBOSA, C. H.; CERQUEIRA, M.; AZEVEDO, A. G.; BARROS, C.; MACHADO, A. V.; COELHO, A.; FURTADO, R.; CORREIA, C. B.; SARAIVA, M.; VILARINHO, F.; SILVA, A. S.; RAMOS, F. PLA films loaded with green tea and rosemary polyphenolic extracts as an active packaging for almond and beef. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 36, 101041, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2023.101041>. Acesso em: 5 fev. 2026.

ANVISA (AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA). Resolução RDC nº 281, de 26 de dezembro de 2019. Dispõe sobre o uso de aditivos antioxidantes em óleos e gorduras, incluindo o extrato de alecrim (INS 392). **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2019b.

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM D882-10: Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting**. West Conshohocken: ASTM International, 2010.

AZEREDO, H. M. C.; MATTOSO, L. H. C.; FURTADO, R. F.; ROSA, M. F. Aplicação da nanotecnologia em embalagens de alimentos. In: AZEREDO, H. M. C. de (Ed.). **Fundamentos de estabilidade de alimentos**. 2. ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2012. p. 287-326. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/988749>. Acesso em: 5 fev. 2026.

BENTAYEB, K.; RUBIO, C.; BATLLE, R.; NERÍN, C. Direct determination of carnosic acid in a new active packaging based on natural extract of rosemary. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**, v. 389, n. 6, p. 1989–1996, 2007. DOI: 10.1007/s00216-007-1570-y

BIRTIĆ, S.; DUSSORT, P.; PIERRE, F.-X.; BILY, A.-C.; ROLLER, M. Carnosic acid. **Phytochemistry**, v. 115, p. 9-19, 2015.

HBRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Qualidade Ambiental. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos – Planares** [recurso eletrônico]. Brasília, DF: MMA, 2022. 209 p. Disponível em: <https://portal-api.sinir.gov.br/wp-content/uploads/2022/07/Planares-B.pdf>. Acesso em: 5 fev. 2026.

CARVALHO, D. M.; TAKEUCHI, K. P.; GERALDINE, R. M.; MOURA, C. J.; SILVEIRA, M. F. A. Filme ativo de acetato de celulose incorporado com nanosuspensão de curcumina. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, São Carlos, v. 27, p. 70-76, 2017.

COSTA, C. Z.; ALBUQUERQUE, M. C. C.; BRUM, M. C.; CASTRO, A. M. **Degradação microbiológica e enzimática de polímeros: uma revisão**. *Química Nova*, v. 38, n. 2, p. 259-267, 2015. DOI: 10.5935/0100-4042.20140293. Disponível em: <https://s3.sa-east-1.amazonaws.com/static.sites.sbq.org.br/quimicanova.sbq.org.br/pdf/v38n2a16.pdf>. Acesso em: 5 fev. 2026.

EL FAWAL, G. F.; OMER, A. M.; TAMER, T. M. Evaluation of antimicrobial and antioxidant activities for cellulose acetate films incorporated with Rosemary and Aloe Vera essential oils. **Journal of Food Science and Technology**, v. 56, n. 3, p. 1510-1518, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03642-8>. Acesso em: 5 fev. 2026.

ETXABIDE, A.; YANG, Y.; MATÉ, J. I.; DE LA CABA, K.; KILMARTIN, P. A. Developing active and intelligent films through the incorporation of grape skin and seed tannin extracts into gelatin. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 33, 100896, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.100896>. Acesso em: 5 fev. 2026.

FAKHOURI, F. M.; FONTES, L. C. B.; GONÇALVES, P. V. M.; MILANEZ, C. R.; STEEL, C. J.; COLLARES-QUEIROZ, F. P. **Filmes e coberturas comestíveis compostas à base de amidos nativos e gelatina na conservação e aceitação sensorial de uvas Crimson**. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v. 27, n. 2, p. 369-375, 2007. DOI: 10.1590/S0101-20612007000200027. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/3959/395940082026.pdf>. Acesso em: 5 fev. 2026.

FRANCHETTI, S. M. M.; MARCONATO, J. C. Polímeros biodegradáveis - uma solução parcial para diminuir a quantidade de resíduos plásticos. **Química Nova**, São Paulo, v. 29, n. 4, p. 811-816, 2006.

GOLASZ, L. B.; SILVA, J.; SILVA, B. S. Film with anthocyanins as an indicator of chilled pork deterioration. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 33, supl. 1, p. 155-162, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0101-20612013000500023>. Acesso em: 5 fev. 2026.

GOMES, B. B.; JESUS, L. K.; SCHMIELE, M.; RIGOLON, T. C. B. **Efeitos das antocianinas na saúde: uma revisão sistemática**. *Research, Society and Development*, [S. l.], v. 11, n. 4, e6411427069, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i4.27069. Disponível em: <https://rsdjournal.org/rsd/article/view/27069>. Acesso em: 5 fev. 2026.

GÓMEZ-ESTACA, J.; LÓPEZ DE LACEY, A.; LÓPEZ-CABALLERO, M. E.; GÓMEZ-GUILLÉN, M. C.; MONTERO, P. Biodegradable gelatin-chitosan films incorporated with essential oils as antimicrobial agents for fish preservation. **Food Microbiology**, v. 27, n. 7, p. 889-896, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fm.2010.05.012>. Acesso em: 5 fev. 2026.

KAIPERS, K. F. C. **Efeito do extrato de alecrim (*Rosmarinus officinalis*) como antioxidante em linguiça colonial**. 2017. 86 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2017. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/2560>. Acesso em: 2 dez. 2025.

LAROQUE, D. A. **Desenvolvimento de filme antimicrobiano de acetato de celulose incorporado com carvacrol**. 2018. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/198863>. Acesso em: 21 jan. 2026.

LOUSSOUARN, M.; KRIEGER-LISZKAY, A.; SVILAR, L.; BILY, A.; BIRTIĆ, S.; HAVAUX, M. **Carnosic Acid and Carnosol, Two Major Antioxidants of Rosemary, Act through Different Mechanisms**. *Plant Physiology*, v. 175, n. 3, p. 1381-1394, 2017. DOI: 10.1104/pp.17.01183. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5664485/>. Acesso em: 5 fev. 2026.

MASUDA, T.; INABA, Y.; MAEKAWA, T.; TAKEDA, Y.; TAMURA, H.; YONEMORI, S. Recovery mechanism of the antioxidant activity from carnosic acid quinone, an oxidized sage and rosemary antioxidant. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, n. 21, p. 5863-5869, 2002.

MIELE, A. Compostos fenólicos presentes na uva, no suco de uva e no vinho e a saúde humana: efeito positivo direto ou indireto. **Informativo ABE**, Bento Gonçalves, n. 59, p. 6, 2007.

NIETO, G.; ROS, G.; CASTILLO, J. Antioxidant and antimicrobial properties of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.): a review. **Medicines**, v. 5, n. 3, p. 98, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/medicines5030098>. Acesso em: 5 fev. 2026.

PULS, J.; WILSON, S. A.; HÖLTER, D. *Degradation of cellulose acetate-based materials: a review*. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 19, n. 1, p. 152-165, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10924-010-0258-0>. Acesso em: 5 fev. 2026.

RIBEIRO, A.; CALEJA, C.; BARROS, L.; SANTOS-BUELGA, C.; BARREIRO, M. F.; FERREIRA, I. C. F. R. **Utilização de extrato de alecrim livre e microencapsulado como ingrediente bioativo para o desenvolvimento de alimentos funcionais**. Trabalho apresentado em: **Encontro com a Ciência e Tecnologia em Portugal**, 2016, Lisboa. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10198/13328>. Acesso em: 5 fev. 2026.

SELANI, M. M.; CONTRERAS-CASTILLO, C. J.; SHIRAHIGUE, L. D.; GALLO, C. R.; PLATA-OVIEDO, M.; MONTES-VILLANUEVA, N. D. Wine industry residues extracts as natural antioxidants in raw and cooked chicken meat during frozen storage. **Meat Science**, v. 88, n. 3, p. 397-403, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.01.017>. Acesso em: 5 fev. 2026.

SOARES, M.; WELTER, L.; KUSKOSKI, E. M.; GONZAGA, L. V.; FETT, R. **Compostos fenólicos e atividade antioxidante da casca de uvas Niágara e Isabel**. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v. 30, n. 1, p. 59-64, 2008. DOI: 10.1590/S0100-29452008000100013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbf/a/fWHjn9nb5J4cqc7tzZtZWQK/>. Acesso em: 5 fev. 2026.

VAZ JUNIOR, S. **Aproveitamento de resíduos agroindustriais para produção de materiais biodegradáveis**. Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2020.

YADAV, N.; HAKKARAINEN, M. *Degradable or not? Cellulose acetate as a model for complicated interplay between structure, environment and degradation*. **Chemosphere**, v. 265, p. 128731, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128731>. Acesso em: 5 fev. 2026.

YIKRAZUUL. **Cellulose acetate.svg**. 14 abr. 2009. Wikimedia Commons. Domínio público. Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cellulose_acetate.svg. Acesso em: 11 fev. 2026.

ZETTY ARENAS, Ana Maria. **Filme biodegradável à base de fécula de mandioca como potencial indicador de mudança de pH**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) — Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. DOI: 10.11606/D.3.2012.tde-12032013-150645. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3137/tde-12032013-150645/pt-br.php>. Acesso em: 18 jan. 2026.