

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
MINAS GERAIS - *CAMPUS* BAMBUÍ
BACHARELADO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS

Brenda dos Santos Bispo

**DESENVOLVIMENTO DE FILME ATIVO INCORPORADO COM
EXTRATOS DE LÚPULO**

BambuÍ

2024

BRENDA DOS SANTOS BISPO

**DESENVOLVIMENTO DE FILME ATIVO INCORPORADO COM
EXTRATOS DE LÚPULO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso Bacharelado em Engenharia de
Alimentos do Instituto Federal de Minas Gerais
- *Campus* Bambuí para obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia de Alimentos.

Orientadora: Dr^a Gaby Patricia Terán Ortiz.

Bambuí

2024

Catálogo na Fonte Biblioteca IFMG - Campus Bambuí

B622d Bispo, Brenda dos Santos.
Desenvolvimento de filme ativo incorporado com extratos de lúpulo. /
Brenda dos Santos Bispo. – 2024.
32 f.; il.: color.

Orientadora: Gaby Patricia Terán Ortiz.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Bambuí,
MG, Curso Bacharelado em Engenharia de Alimentos, 2024.

1. Polímero. 2. Embalagens ativas. 3. Acetato de celulose. I. Ortiz,
Gaby Patricia Terán. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Minas Gerais – Campus Bambuí, MG. III. Título.

CDD 664.02



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS
Campus Bambuí
Diretoria de Ensino
Departamento de Ciências Agrárias
Faz. Varginha - Rodovia Bambuí/Medeiros - Km 05 - Caixa Postal 05 - CEP 38900-000 - Bambuí - MG
37 3431 4900 - www.ifmg.edu.br

DECLARAÇÃO

Brenda dos Santos Bispo

DESENVOLVIMENTO DE FILME ATIVO INCORPORADO COM EXTRATOS DE LÚPULO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso Bacharelado em Engenharia de Alimentos do Instituto Federal de Minas Gerais - *Campus* Bambuí para obtenção do grau de bacharel em Engenharia de Alimentos.

Aprovado em: 14/08/2024, pela banca examinadora:

Orientadora Prof^a Dr^a Gaby Patricia Terán Ortiz – IFMG *campus* Bambuí

Coorientadora Prof^a Dr^a Clara Suprani Marques- IFMT

Prof^a Dr^a Kamilla Soares de Mendonça – IF Sulde Minas *campus* Inconfidentes

Prof^a Dr^a Sônia de Oliveira Duque Paciulli - IFMG *campus* Bambuí

Bambuí, 22 de agosto de 2024.



Documento assinado eletronicamente por **Sônia de Oliveira Duque Paciulli, Professor**, em 22/08/2024, às 21:57, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **KAMILLA SOARES DE MENDONÇA, Usuário Externo**, em 23/08/2024, às 07:18, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Clara Suprani Marques, Usuário Externo**, em 23/08/2024, às 08:58, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Gaby Patricia Teran Ortiz, Professora**, em 26/08/2024, às 19:37, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadocs> informando o código verificador **2013962** e o código CRC **C2B4991D**.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de expressar minha profunda gratidão à minha mãe, Maria, por todo o amor, apoio e dedicação que sempre me proporcionou. Sua força e incentivo foram essenciais para que eu pudesse chegar até aqui.

Agradeço também às minhas orientadoras, Gaby e Clara, por todo o conhecimento compartilhado, paciência e orientação ao longo deste trabalho. Suas contribuições foram fundamentais para o desenvolvimento deste projeto e para o meu crescimento profissional.

Aos meus irmãos e amigos próximos, agradeço pelo carinho e por estarem sempre presentes, tornando os momentos desafiadores mais leves e suportáveis com sua companhia.

E, em especial, agradeço à minha amiga Thamiris, que esteve comigo durante toda a jornada universitária. Sua amizade, companheirismo e apoio incondicional foram indispensáveis para a conclusão deste trabalho.

"O sucesso é a soma de pequenos
esforços repetidos dia após dia."

Robert Collier

RESUMO

Com o crescimento da exigência dos consumidores por produtos mais saudáveis, a demanda por meios de conservação de alimentos, que não envolvam produtos sintéticos, vem crescendo. Nesse contexto, as embalagens ativas têm ganhado destaque ao oferecer maior vida de prateleira e segurança alimentar, usando aditivos naturais. Com isso, este trabalho teve como principais objetivos obter extratos de lúpulo *Cascade*, por meio de duas metodologias; avaliar a ação antimicrobiana desses extratos e incorporá-los em uma matriz de acetato de celulose, analisando suas características físicas e a atividade antimicrobiana. Os filmes produzidos foram caracterizados quanto à espessura, cor, transparência e opacidade e testados in vitro contra *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* e *Saccharomyces cerevisiae*. Os extratos foram obtidos por extração com metanol em banho ultrassônico (extrato EM) e extração em água (extrato EA), sendo posteriormente incorporados em uma dispersão de acetato de celulose (polímero) e acetona (solvente), nas concentrações de 0, 10 e 20% (m/m). Embora não tendo havido diferença significativa na espessura dos filmes, foram observadas variações na cor, transparência e opacidade, sendo o filme com extrato EM20% o mais diferente do controle, em relação aos outros filmes estudados. Porém, os filmes ativos, contendo o extrato alcoólico (EM) demonstraram atividade antimicrobiana contra a bactéria Gram-positiva *S. aureus*, enquanto o extrato aquoso (EA), nas concentrações estudadas, não apresentou atividade detectável.

Palavras-chave: Polímero, embalagens ativas, acetato de celulose.

ABSTRACT

With the increasing demand from consumers for healthier products, there has been a growing interest in food preservation methods that do not involve synthetic additives. In this context, active packaging has gained prominence by offering longer shelf life and food safety through the use of natural additives. This study aimed to obtain extracts of *Cascade* hops using two different methodologies, evaluate the antimicrobial activity of these extracts, and incorporate them into a cellulose acetate matrix, analyzing their physical characteristics and antimicrobial activity. The produced films were characterized in terms of thickness, color, transparency, and opacity, and were tested *in vitro* against *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, and *Saccharomyces cerevisiae*. The extracts were obtained through ultrasonic bath extraction with methanol (EM extract) and water extraction (EA extract), and were subsequently incorporated into a cellulose acetate (polymer) and acetone (solvent) dispersion at concentrations of 0, 10, and 20%. Although there was no significant difference in the thickness of the films, variations were observed in color, transparency, and opacity, as expected due to the different extraction methods. The active films containing the alcoholic extract (EM) demonstrated antimicrobial activity against the Gram-positive bacterium *S. aureus*, while the aqueous extract (EA) at the studied concentrations showed no detectable activity.

Keywords: Polymer, active packaging, cellulose acetate.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
2.1	Lúpulo	10
2.2	Embalagens Ativas	12
2.3	Acetato de Celulose	13
2.4	Propriedades Ópticas	15
2.5	Espessura	16
3	MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1	Extração do Lúpulo	17
3.2	Aplicação dos Extratos no Filme	17
3.3	Espessura	18
3.4	Cor	19
3.5	Transparência e Opacidade	20
3.6	Atividade Antimicrobiana	21
3.6.1	<i>Concentração Mínima Inibitória (CMI)</i>	21
3.6.2	<i>Difusão em Ágar</i>	21
3.7	Estatística	22
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	22
4.1	Extratos	22
4.2	Espessura	23
4.3	Propriedades Ópticas	23
4.5	Avaliação da Atividade Antimicrobiana	25
5	CONCLUSÃO	26
6	REFERÊNCIAS	28

1 INTRODUÇÃO

O crescente interesse na busca por soluções inovadoras na indústria de alimentos tem direcionado a atenção para o lúpulo, uma matéria-prima com propriedades promissoras. O lúpulo, tradicionalmente usado na cerveja para conferir amargor e aroma, tem atraído interesse crescente por suas propriedades antimicrobianas. Compostos como os alfa-ácidos e os óleos essenciais presentes no lúpulo demonstram atividades antimicrobianas, que ajudam a inibir o crescimento de diversas bactérias e fungos (STEENACKERS; COOMAN; VOS, 2015; SANZ *et al.*, 2019; FORMATO *et al.*, 2013).

Além disso, o lúpulo possui um potencial significativo como antioxidante natural, devido à presença de flavonoides e outros fitoquímicos, que podem ajudar a neutralizar radicais livres e prevenir a oxidação em alimentos e bebidas. Essa dupla função torna o lúpulo um bom ingrediente para a indústria alimentícia, não apenas como um aromatizante, mas também como um conservante natural (ALMEIDA, 2019).

Paralelamente, observa-se um notável crescimento no mercado de embalagens ativas, impulsionado pela demanda crescente por soluções mais eficientes na conservação de alimentos. Esta tendência reflete não apenas a busca por inovação, mas também a preocupação crescente com a diminuição do uso de aditivos sintéticos em embalagens, tendo em vista a quantidade de estudos voltados ao uso de plantas e óleos essenciais nestas embalagens, alinhando-se com as demandas atuais por produtos mais naturais.

A preocupação com a segurança alimentar, um tema central na contemporaneidade, destaca-se como um elemento desse contexto. A utilização de embalagens ativas, especialmente aquelas enriquecidas com compostos provenientes do lúpulo, é proposta não apenas para assegurar a qualidade dos alimentos, mas também a reduzir a dependência de aditivos químicos sintéticos.

Este trabalho explora a atividade do lúpulo e seu potencial emprego em embalagens ativas, oferecendo uma perspectiva na conservação e segurança de alimentos, dando ênfase à sua aplicação como agente ativo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Lúpulo

O lúpulo (*Humulus lupulus*) pertence à família das *Cannabaceae*. É uma planta trepadeira que produz flores e somente as flores femininas são utilizadas na produção de cerveja, por causa da sua grande quantidade de resinas e compostos aromáticos, originados da lupulina (SKOF *et al.*, 2012). As flores femininas são espigas curtas e podem ser designadas cones (Figura 1) (RODRIGUES; MORAIS; CASTRO, 2015).

Figura 1: Lúpulo



Fonte: SANTOS, 2024.

Os seus cones são compostos por resinas naturais e óleos essenciais. As resinas são compostas por alfa e beta ácidos, que são os contribuintes no amargor e aroma. A diferença entre eles é que, na fervura, os alfa ácidos se dissolvem e contribuem com o amargor e os beta ácidos, se cozidos, incorporam aromas e sabores indesejáveis. Cada variedade de lúpulo apresenta uma concentração diferente de beta e alfa ácidos (MORADO, 2017).

Os β -ácidos têm sido objeto de estudo devido à sua atividade antimicrobiana, sendo lupulona, colupulona e adlupulona os principais responsáveis por aproximadamente 10% do peso seco do lúpulo (STEENACKERS; COOMAN; VOS, 2015). Em linhas gerais, os α -ácidos são conhecidos por proporcionar amargor em alimentos, contribuindo com cerca de 2-24% do peso seco do lúpulo. Os principais α -ácidos incluem cohumulona, humulona e adhumulona, enquanto posthumulona e prehumulona são presentes em menor quantidade. Mais de 50% dos α -ácidos passam por isomerização térmica, transformando-se em iso- α -ácidos, que são responsáveis pelo amargor e exibem atividade antimicrobiana, especialmente contra bactérias

Gram-positivas (SANZ *et al.*, 2019). Os β -ácidos, exercem um papel potencial no aroma e na atividade antimicrobiana da planta (FORMATO *et al.*, 2013).

Na investigação da atividade antimicrobiana de extratos de lúpulo obtidos de diferentes genótipos contra *Staphylococcus aureus* e *Lactobacillus acidophilus*, foram testadas frações purificadas de xantohumulol, β -ácidos e misturas de α -ácidos com β -ácidos. Os extratos hidroacetônicos de lúpulo mostraram maior eficácia contra *S. aureus* do que contra *L. acidophilus*. A análise de susceptibilidade microbiana revelou que os extratos de lúpulo apresentaram valores de concentração inibitória mínima (CMI) e concentração bactericida mínima (CMB) mais baixos contra *S. aureus*, indicando uma maior eficácia antimicrobiana. Correlações inversas significativas foram observadas entre os valores de CMI e CMB e os conteúdos de xantohumulol, cohumulona, n+adlumulona, colupulona e n+adlupulona, sugerindo que esses compostos químicos são responsáveis pelos efeitos antimicrobianos. Revelando, pela primeira vez, o efeito da força do meio de crescimento nos valores de MIC dos extratos de lúpulo contra *S. aureus*, mostrando que a presença desses extratos prolonga a fase de latência e o tempo de geração da bactéria (KOLENC *et al.*, 2022).

O lúpulo é uma planta típica do hemisfério Norte, de clima temperado (HIERONYMUS, 2012). A planta possui dificuldade de crescimento no Brasil devido ao clima tropical do país. Para conseguir produzir fotoassimilados, a planta necessita de uma intensa exposição à luz durante o dia, de 9 a 15 horas, com temperatura de 8°C a 10°C e de calor por 120 dias, com temperatura média de 30°C (HILTON, 2002). A dificuldade também é encontrada porque a planta necessita de dias longos e noites curtas, por causa do seu mecanismo de fotossistema via C4. A planta não cresce se a temperatura exceder 32°C ou se diminuir para 0°C quando ela está em seu pleno crescimento (RYBÁČEK, 1991).

A maioria do lúpulo utilizado nas cervejarias brasileiras é importado. Contudo, no Brasil, já estão em andamento estudos para o desenvolvimento de lúpulos, analisando quais variedades se adaptam melhor às condições climáticas do país, pois a planta é de clima temperado. Pesquisadores da Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Ribeirão Preto, da USP, verificaram que as plantas colhidas em território brasileiro têm qualidade similar às cultivadas nos Estados Unidos e República Tcheca, grandes produtores de lúpulo. Foram testadas quatro variedades da planta e duas foram aprovadas, sendo estas *Chinook* e *Cascade* (JUNIOR; STELLA; MARCHIORO, 2021).

O Lúpulo *Cascade* Brasileiro foi estudado quanto à caracterização da composição química, teor de flavonoides, determinação da atividade antioxidante e antimicrobiana, identificação e quantificação de compostos fenólicos, além da obtenção de óleos essenciais. O

resultado incluiu uma comparação com o Lúpulo *Cascade* dos Estados Unidos. Concluiu-se que ambos os extratos de lúpulo, brasileiro e americano, demonstraram atividade antioxidante (ALMEIDA, 2019).

Dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento mostra um total de 48 cultivares de lúpulo registrados, sendo divididos em cultivares que possuem certificado de origem genética e os que não possuem, sendo os primeiros a serem cultivados o *Cascade* e o *Alpharoma*. De acordo com o Registro Nacional de Sementes e Mudas, no Brasil, tem-se o cadastro de 17 viveiros, com maioria no Rio Grande do Sul, São Paulo, Rio de Janeiro e Santa Catarina (BRASIL, 2022).

2.2 Embalagens Ativas

As embalagens ativas desempenham um papel crucial ao interagir com os produtos, visando melhorar suas características e controlar sua qualidade. Elas apresentam uma atividade protetora, estendendo a vida útil dos alimentos por meio da incorporação de compostos ativos. (FIROUZ; MOHI-ALDEN; OMID, 2021).

Observa-se que as embalagens ativas têm a capacidade de integrar diversos mecanismos de funcionamento em uma única unidade, proporcionando melhorias nas etapas de comercialização após a produção. A inovação resultante dentro dessa categoria de embalagens reflete uma tendência contemporânea para o avanço tecnológico no setor alimentício do século XXI. À medida que o conhecimento sobre técnicas de conservação se aprofunda, novos processos de produção de embalagens surgem, tornando mais comum a incorporação dessas novas tecnologias no cenário varejista (CANDIDO, 2023).

Existem dois tipos principais de embalagens ativas: os emissores, que incorporam substâncias benéficas diretamente no material da embalagem, tais como compostos antimicrobianos, antioxidantes e dióxido de carbono, e os absorvedores, que têm o propósito de retirar compostos indesejáveis entre o alimento e a embalagem, como oxigênio, dióxido de carbono e água (BRAGA; SILVA, 2017).

As embalagens antimicrobianas são elaboradas com o propósito de fornecer uma barreira adicional para prevenir a contaminação de alimentos, visando inibir o crescimento de microrganismos patogênicos que podem causar infecções, além de reduzir a presença de microrganismos deteriorantes na superfície dos alimentos. Essa abordagem pode ser implementada de diversas maneiras, seja pela incorporação direta do composto antimicrobiano na matriz polimérica, pelo revestimento da superfície da embalagem com o agente

antimicrobiano ou ainda pela imobilização separada do mesmo em sachês (SIRACUSA *et al.*, 2008).

Os filmes poliméricos, dotados de propriedades antioxidantes e antimicrobianas, ganharam destaque devido aos desafios significativos da oxidação e contaminação microbiana, que impactam diretamente na qualidade e segurança dos alimentos. A atenção voltada para embalagens antimicrobianas tem aumentado, especialmente nas indústrias alimentícias, em resposta à crescente demanda dos consumidores por produtos minimamente processados, isentos de conservantes e elaborados com ingredientes mais naturais (RAMOS *et al.*, 2012).

Diversos agentes antimicrobianos e antioxidantes podem ser integrados a esse tipo de embalagem. Em termos gerais, esses agentes podem ser categorizados como sintéticos e naturais, sendo que os sintéticos são predominantes na utilização. Outra característica é o polímero utilizado na embalagem (SILVA *et al.*, 2021).

Extratos vegetais e óleos essenciais têm sido empregados pelas indústrias farmacêuticas e de cosméticos por várias décadas. Recentemente, eles vêm sendo objeto de estudo para sua aplicação como aromatizantes, flavorizantes e conservantes naturais nas indústrias alimentícias (COSTA *et al.*, 2015). Como antimicrobianos naturais, os óleos essenciais e extratos apresentam potencial para serem empregados no controle de microrganismos, diminuindo a dependência de aditivos sintéticos, contribuindo para o controle da contaminação em alimentos e no aprimoramento das tecnologias destinadas à extensão da vida útil de prateleira. Esses compostos podem ser eficazes no controle de patógenos indesejáveis e de microrganismos deteriorantes (TAJKARIMI; IBRAHIM; CLIVER, 2010).

2.3 Acetato de Celulose

A celulose é uma matéria-prima versátil e amplamente utilizada na indústria, podendo ser convertida em diversas formas, como fibras, filmes e derivados estáveis. Sua modificação é possível através de diferentes métodos, sendo um deles a substituição dos grupos hidroxila por agentes químicos, como ácidos, cloretos e óxidos, através de reações de esterificação ou eterificação (WÜSTENBERG, 2015).

Os derivados de celulose, incluindo a celulose regenerada, são biopolímeros amplamente fabricados industrialmente, oferecendo características como resistência à radiação ultravioleta, transparência e disponibilidade em diversas cores: transparentes, translúcidas, com alto brilho superficial (ENDRES; SIEBERT-RATHS, 2011). Um desses derivados é o acetato de celulose, obtido por meio do processo de acetilação da celulose. Nesse processo, utilizam-

se solventes como o anidrido acético, que atua como agente esterificante, formando como produtos o acetato de celulose e o ácido acético (FISCHER *et al.*, 2008).

O acetato de celulose destaca-se como um derivado importante, pois é obtido a partir de fontes renováveis. Sua solubilidade em solventes apolares é diretamente influenciada pelo grau de substituição dos grupos ester. Quanto maior esse grau de substituição, maior é a solubilidade em solventes apolares. Esse aspecto ressalta a importância do processo de esterificação na determinação das propriedades de solubilidade do acetato de celulose, tornando-o uma opção versátil e de aplicação diversificada (PACHECO, 2022).

Filmes biodegradáveis de acetato de celulose são geralmente obtidos através da técnica de *casting*, que envolve a solubilização do biopolímero em acetona. Nesse processo, a dispersão de acetato de celulose é vertida sobre uma superfície plana e lisa, onde é espalhada para formar uma camada fina e uniforme. A evaporação controlada da acetona, seja à temperatura ambiente ou com a aplicação de calor, permite a formação de filmes contínuos e flexíveis. Esses filmes apresentam características específicas, como estrutura contínua, propriedade hidrofóbica, elevada transparência, baixa opacidade e baixa elasticidade. As propriedades dos filmes, como a quantidade de biopolímero utilizada, a espessura e a adição de agentes plastificantes ou compostos bioativos, influenciam diretamente essas características (CARVALHO *et al.*, 2017).

Pola *et al.* (2016) produziram filmes de acetato de celulose, com atividade antimicrobiana, ao adicionar óleo essencial de orégano e argila montmorillonita como agente de reforço. Utilizando o biopolímero (grau de substituição 2,5) dissolvido em acetona, a adição de 20, 40 ou 60% de óleo essencial de orégano facilitou a distribuição da montmorillonita na matriz polimérica, diminuindo a interação entre as cadeias poliméricas. A espessura dos filmes não foi alterada, mantendo-se em $46,37 \pm 3,47 \mu\text{m}$. O óleo essencial atuou como plastificante, aumentando a flexibilidade e diminuindo a resistência à tração e o módulo de elasticidade, efeitos não observados nos filmes com apenas montmorillonita, que mantiveram propriedades semelhantes ao controle. Além disso, o óleo essencial reduziu a permeabilidade ao vapor de água, devido ao seu caráter hidrofóbico, algo não verificado com a montmorillonita. A maior concentração de óleo essencial de orégano também resultou em maior atividade antimicrobiana contra *alternaria alternata*, *Rhizopus stolonifer* e *Geotrichum candidum*, indicando que esses filmes biodegradáveis têm potencial para uso em embalagens, para prevenir o crescimento de micro-organismos (POLA *et al.*, 2016).

Dannenberg *et al.* (2017), por sua vez, desenvolveram filmes ativos para armazenar queijo muçarela, utilizando acetato de celulose dissolvido em acetona e óleo essencial de

pimenta rosa. Os filmes, com concentrações de 2%, 4% e 6% de óleo essencial, mostraram atividade antimicrobiana contra *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* e *S. aureus* durante 12 dias, a 4 °C. A concentração de 6% foi especialmente eficaz, inibindo *S. aureus* e reduzindo significativamente *L. monocytogenes*. Embora também inibisse *E. coli*, o efeito não foi tão pronunciado quanto para os outros microrganismos (DANNENBERG *et al.*, 2017).

Portanto, o acetato de celulose é eficaz na formação de matrizes contínuas, produção de filmes biodegradáveis e como carreador de compostos bioativos, além de ser intrinsecamente insolúvel em água. Dessa forma, pode ser uma alternativa promissora para desenvolver filmes ativos (CARVALHO *et al.*, 2017; DANNENBERG *et al.*, 2017; POLA *et al.*, 2016).

2.4 Propriedades Ópticas

Dentre as propriedades óticas mais relevantes para embalagens de alimentos, a cor, a opacidade e a transparência destacam-se. A cor intensa, o brilho elevado ou a transparência das embalagens podem fornecer informações ao consumidor e criar um vínculo emocional com o produto, aspectos amplamente explorados pelo marketing. A cor e a opacidade das embalagens estão diretamente relacionadas à base polimérica utilizada e aos aditivos incorporados durante a produção dos filmes poliméricos (YOSHIDA; ANTUNES, 2009; ZANELA *et al.*, 2015).

Embora embalagens com brilho acentuado e transparência sejam visualmente atrativas, há casos em que produtos sensíveis à oxidação requerem materiais com alta opacidade para bloquear a luz. Nesses casos, a barreira à luz é essencial para prolongar a vida útil do produto. Além disso, substâncias lipídicas presentes nas embalagens podem gerar luz visível que se dispersa pelo filme polimérico, aumentando sua opacidade e, conseqüentemente, sua eficácia em proteger o conteúdo embalado (COLTRO; BURATIN, 2004; YOSHIDA; ANTUNES, 2009).

A transparência e opacidade se correlacionam e são calculadas através da absorvância e/ou transmitância da embalagem estudada. Sendo que a absorvância é uma medida da quantidade de luz absorvida por uma substância, em uma determinada faixa de comprimento de onda, e a transmitância é a fração da luz incidente que passa através do filme polimérico, variando de 0% (nenhuma luz passa, o que corresponde a uma absorvância infinita) a 100% (toda a luz passa, o que corresponde a uma absorvância de 0) (ZHAO; WANG; LIU, 2022).

As análises colorimétricas tem como proposta a base na teoria das cores oponentes, que considera como o ser humano percebe as cores. Essa teoria levou ao desenvolvimento do espaço colorimétrico CIEL*a*b*, amplamente utilizado, onde os eixos L*, a*, e b* refletem a percepção de cores opostas pelo olho humano (MATSUMOTO, 2022).

Segundo Takutsai (2011), esses parâmetros correspondem:

- a) luminosidade (L*): refere-se à intensidade da luz refletida pela cor. Varia de 0 (preto) a 100 (branco), indicando o quão claro ou escuro é um objeto;
- b) a* e b* (Cores de coordenadas CIELAB): representam as coordenadas de cor no espaço de cores CIELAB. O eixo a* varia de verde (-) a vermelho (+), enquanto o eixo b* varia de azul (-) a amarelo (+). Juntos, eles descrevem a cor em termos de sua posição no espectro de cores;
- c) croma (c*): indica a pureza ou saturação de uma cor. Quanto maior o valor de c*, mais saturada é a cor. Um valor de c* de 0 indica uma cor acinzentada, enquanto valores mais altos indicam cores mais vibrantes;
- d) ângulo de matiz (h*): descreve a tonalidade da cor, ou seja, a percepção subjetiva de cor, como vermelho, amarelo, verde etc. O ângulo h* varia de 0 a 360, representando as diferentes tonalidades de cor em um círculo cromático.

2.5 Espessura

A espessura das embalagens é um parâmetro necessário para garantir a uniformidade do material e influenciar diretamente suas propriedades mecânicas e de barreira. A medição da espessura em embalagens poliméricas é geralmente realizada com micrômetros digitais ou analógicos, que oferecem alta precisão em escala micrométrica (OLIVEIRA *et al.*, 2006; CRIPPA; SYDENSTRICKER; AMICO, 2007). O controle da espessura é essencial para assegurar a repetibilidade das propriedades funcionais dos filmes e a validade das comparações entre eles (JACOBS *et al.*, 2020). A uniformidade da espessura evita problemas mecânicos e de conservação, sendo fundamental adequá-la ao tipo de alimento a ser embalado para garantir a eficácia da embalagem (BATISTA, 2004; JÚNIOR, 2017).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Os procedimentos foram realizados com Lúpulo *Cascade* (Figura 2) nos Laboratórios de Bromatologia, Fisiologia Vegetal, Microbiologia Geral e de Análise de Água,

Leite e Derivados do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Minas Gerais- *Campus Bambuí*.

Figura 2: Lúpulo Cascade



Fonte: Autora, 2024.

3.1 Extração do Lúpulo

A extração foi conduzida, utilizando dois métodos distintos. No primeiro método, 10 g de lúpulo foram previamente pesados e macerados. Em seguida, o material foi transferido para um recipiente (béquer), ao qual foram adicionados 330 mL de metanol. A mistura foi submetida a um banho ultrassônico por 30 minutos. Posteriormente, o conteúdo foi filtrado a vácuo e deixado em repouso em uma capela de exaustão até que ocorresse a completa evaporação do metanol da amostra. Finalmente, a amostra foi armazenada sob refrigeração (extrato EM) (CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 2014).

No segundo método, a extração foi realizada com dimetilsulfóxido (DMSO) e água. Para isso, 1,5 g de lúpulo foi misturado a 4,5 mL de DMSO e 25,5 mL de água, mantendo uma proporção de 1:20 (m/v). A mistura foi homogeneizada por 30 minutos, a uma temperatura de 75°C, em agitador magnético. Em seguida, o produto foi filtrado, utilizando papel filtro e armazenado sob refrigeração para uso posterior (extrato EA) (SENA, 2021).

3.2 Aplicação dos Extratos no Filme

A produção dos filmes foi realizada pela técnica de *casting*. Foram realizados dois tratamentos distintos para cada extrato, utilizando concentrações de 10% e 20% do extrato (m/m), além de um controle (0% de extrato), visando uma comparação final. O procedimento envolveu a preparação de dispersões, contendo 20 mL de acetona e 2 g de polímero (Acetato

de Celulose), que foram deixadas em repouso por 24 h. Depois, o extrato foi adicionado à dispersão na concentração desejada (10 ou 20% em relação à massa do polímero, determinadas em testes preliminares) e a mistura foi homogeneizada, seguido de repouso por mais 20 minutos. Em seguida, as dispersões foram vertidas sobre uma placa de vidro, espalhadas com o auxílio de um bastão e deixadas para secar em um ambiente protegido da passagem de ar, levando, aproximadamente, 20 minutos para completar a secagem (CARVALHO *et al.*, 2017).

Os filmes resultantes dos tratamentos com metanol foram denominados EM10% e EM20%, indicando suas concentrações de 10% e 20% de extrato, respectivamente. Da mesma forma, os filmes provenientes dos tratamentos com água foram denominados EA10% e EA20%, correspondendo às suas concentrações de 10% e 20% de extrato.

3.3 Espessura

A medição da espessura do filme foi conduzida, utilizando um micrômetro milimétrico da marca INSIZE, modelo 3203 (Figura 3). Para isso, o filme foi cuidadosamente posicionado entre as faces de medição do instrumento, assegurando uniformidade e evitando qualquer formação de dobras. Em seguida, o tambor do micrômetro foi girado até que as faces entrassem em contato com o filme.

Durante a medição, as leituras foram realizadas tanto no tambor principal quanto no secundário do micrômetro, proporcionando informações precisas sobre a espessura total do filme. Este procedimento foi repetido em diferentes pontos do filme, visando garantir a acurácia e confiabilidade das medidas.

Figura 3: Micrômetro



Fonte: Autora, 2024.

3.4 Cor

Para análise da cor dos filmes, foi usado colorimetria, onde determinou-se as coordenadas: L* (luminosidade), a* ((+) vermelho, (-) verde) e b*((+) amarelo, (-) azul), c* (saturação croma) e h* (ângulo hue) (TAKUTSAI, 2011). A cor dos filmes foi medida com o colorímetro portátil, da marca TECNAL, modelo TEC200 (Figura 4), usando fundo branco como base de medição.

Figura 4: Colorímetro



Fonte: Autora, 2024.

Em seguida, o filme foi posicionado na área de medição do colorímetro, assegurando que estivesse estendido de maneira uniforme e sem rugas. O colorímetro emite luz sobre o filme e mede a quantidade de luz absorvida, transmitida e refletida pelo material. Os resultados da medição foram exibidos no visor do colorímetro e fotografados, para cada tratamento. As medições foram feitas cinco vezes, em diferentes pontos dos filmes, para cada tratamento, proporcionando uma análise abrangente da cor do material.

Com isso, foi possível usar os dados de luminosidade (L*) e cores de coordenadas a* e b* para conseguir calcular a diferença total de cor entre o controle e o filme produzido com os extratos (ΔE), com a seguinte fórmula (Equação 1) (JOHNSON, 2009).

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad \text{equação 1}$$

Em que ΔL^* é a diferença entre a luminosidade do filme analisado e o filme controle e Δa^* e Δb^* é a diferença entre as coordenadas do sistema CIELAB dos filmes elaborados e a do controle (0%).

3.5 Transparência e Opacidade

A análise da transmitância foi conduzida no espectrofotômetro da marca Rayleigh, modelo UV-9200 (Figura 5), utilizando comprimento de onda de 600 nm. Antes da análise, o equipamento foi calibrado de acordo com as especificações do fabricante. Os filmes foram preparados, cortando-os para serem colocados em uma placa e, posteriormente, posicionados na porta amostra do espectrofotômetro para a realização das leituras. A porta amostra vazia (ar) foi considerado como branco. As medições foram feitas em diferentes áreas dos filmes, garantindo uma abordagem abrangente na avaliação da transmitância.

Figura 5: Espectrofotômetro



Fonte: Autora, 2024.

O espectrofotômetro dá o valor de absorbância e transmitância, o que ajuda no cálculo de opacidade e transparência dos filmes. A absorbância e a transmitância são valores que se correlacionam: à medida que a absorbância aumenta, a transmitância diminui.

Segundo Han e Floros (1997), para calcular opacidade, é necessária a absorbância dos filmes a 600 nm (A_{600}) e a espessura do filme (x), em mm, como mostra abaixo (Equação 2):

$$\text{Opacidade} = A_{600}/x \quad \text{Equação 2}$$

E para cálculo da transparência (ASTM, 2015).

$$\%T = 10^{(2-abs)} \quad \text{Equação 3}$$

3.6 Atividade Antimicrobiana

Para ativação dos microrganismos e testes, foi preparado Solução Salina, Brain Heart Infusion (BHI), com Ágar e Ágar de contagem de placas (PCA). Os microrganismos utilizados estavam conservados sob refrigeração no Laboratório de Microbiologia Geral do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia - *Campus* Bambuí, os quais foram descongelados e ativados em caldo BHI, sendo incubados em estufa a 35°C, por 24 h. Posteriormente, foram estriados em ágar PCA para crescimento das colônias (incubação por 24 h a 35 °C) (CLSI, 2019).

3.6.1 Concentração Mínima Inibitória (CMI)

O teste de Concentração Mínima Inibitória foi feito para avaliar a atividade antimicrobiana dos extratos, de acordo com a norma padrão CLSI M07-A9. Os extratos foram diluídos em concentrações de 0,12%, 0,25%, 0,5% e 1% (v/v) em solução de DMSO (10%). Os microrganismos testados foram *E. coli*, *S. cerevisiae* e *S. aureus*. As CMI dos extratos foram determinadas, utilizando o método de microdiluição em caldo, em microplacas de 96 poços, onde foram utilizadas duas microplacas, uma para o extrato feito com água e outra para o extrato feito com metanol (CLSI, 2012).

Inicialmente, foram adicionadas alíquotas de 100 µL de caldo BHI aos poços das microplacas. Em seguida, 50 µL de cada extrato foram transferidos aos poços. Para preparar o inóculo, colônias selecionadas de cada microrganismo foram suspensas em solução salina para obter suspensões com turbidez equivalente ao padrão MacFarland 0,5. Essas suspensões diluídas resultaram em um inóculo de aproximadamente 10⁶ UFC/mL, com isso, 10 µL dos inóculos obtidos foram adicionadas aos poços. Também foi feito o controle para os microrganismos apenas com o caldo e o inóculo do microrganismo e o controle do extrato, apenas com o caldo e o extrato. As microplacas foram incubadas a 35 °C, por 24 horas. A CMI foi considerada a menor concentração de extrato que inibiu crescimento visível dos microrganismos (COCKERILL, 2012).

3.6.2 Difusão em Ágar

Os extratos foram testados por meio de teste de difusão em ágar frente aos mesmos microrganismos. As placas de ágar BHI foram perfuradas no centro e as suspensões de cada

microrganismo (item 3.6.1) foram espalhadas sobre o ágar, com auxílio de um swab. Após isto, foi colocado 10 μ L de extrato no local perfurado anteriormente na placa. As placas foram incubadas a 35 °C, por 24 h (CLSI, 2021).

Os filmes elaborados tiveram sua atividade antimicrobiana testada pelo método de difusão em discos. Eles foram cortados em amostras circulares, de aproximadamente 1 cm de diâmetro, e colocados sobre o ágar BHI previamente inoculado com os microrganismos. As placas foram incubadas a 35 °C, por 24 h (CLSI, 2018).

Após o período de incubação, foi avaliado presença ou ausência de uma zona de inibição de crescimento microbiano ao redor do filme ou extrato.

3.7 Estatística

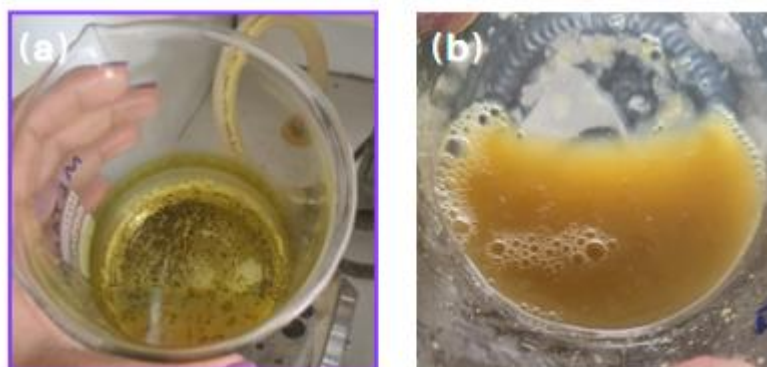
Os resultados foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA) e apresentaram diferença significativa quando analisados com o Teste de médias (Tukey). Para isto, foi utilizado o programa Rstudio, usando o pacote *easyanova*, a 5% de significância.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Extratos

Os extratos foram obtidos pelos dois métodos de extração e usados para elaborar os filmes (Figura 6).

Figura 6: Extratos: (a) obtido com solvente metanol; (b) extrato aquoso.



Fonte: Autora, 2024.

Os extratos de lúpulo obtidos com metanol e água diferem significativamente em suas aparências, devido à natureza dos compostos extraídos. O metanol, por ser um solvente apolar (PACHECO, 2022), extrai compostos diferentes daqueles extraídos pela água, um solvente polar (SENA, 2021), resultando em extratos com características visuais e, potencialmente, bioativas diferentes.

4.2 Espessura

Não houve variação significativa de espessura nos filmes, sendo encontrado o valor médio de $5,0 \pm 0,0$ mm (p -valor $> 0,05$) para as amostras dos cinco tratamentos.

Espessura, em embalagens, é utilizada para determinação de outras propriedades de importância, como opacidade, resistência mecânica e permeabilidade a vapor de água (ASTM, 2010, 2012). Além disso, é necessária para determinação da gramatura, parâmetro que deve ser conhecido a fim de precificar a embalagem.

4.3 Propriedades Ópticas

Os resultados obtidos, referentes às propriedades ópticas dos filmes (cor, transparência e opacidade), estão apresentados abaixo (Tabela 1):

Tabela 1: Diferença de cor, transparência e opacidade dos filmes de acetato de celulose, elaborados com extratos de lúpulo (EM – extrato de metanol; EA – extrato aquoso), em diferentes concentrações (0%, 10% e 20%).

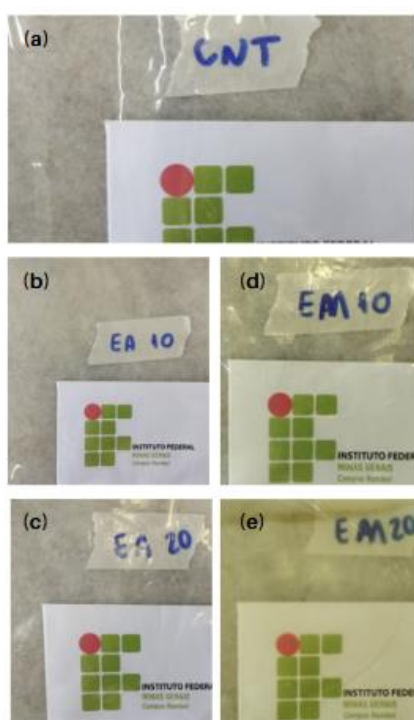
Tratamento	Diferença de cor	Transparência	Opacidade
Controle	-	$91,49 \pm 1,52$ a	$7,73 \pm 1,45$ a
EA 10	$1,09 \pm 0,48$ a	$91,27 \pm 0,74$ a	$7,93 \pm 0,70$ b
EA 20	$1,79 \pm 0,86$ a	$86,78 \pm 1,85$ b	$12,33 \pm 1,86$ b
EM 10	$22,01 \pm 0,67$ b	$84,61 \pm 2,07$ b	$14,53 \pm 2,14$ bc
EM 20	$32,14 \pm 2,26$ c	$77,22 \pm 1,62$ c	$22,47 \pm 1,81$ c

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem significativamente pelo teste de média de Tukey (p -valor $> 0,05$).

Fonte: Elaboração própria, 2024.

Para todos os filmes, foi calculada a diferença total de cor, fazendo a comparação com os dados encontrados para o controle (Tabela 1), com isso, o filme que apresentou maior diferença, quando comparado, foi elaborado com extrato de metanol, acompanhando a maior média e diferença em relação aos filmes utilizando o extrato aquoso. Tal fato pôde ser confirmado visualmente (Figura 7). Ao observar que o extrato produzido com metanol resultou em uma graxa esverdeada, comparativamente ao extrato feito com água (Figura 6), concluiu-se que a incorporação do extrato com metanol proporcionou uma cor mais intensa aos filmes (Figura 7).

Figura 7: Imagens dos filmes obtidos e posicionados sobre uma figura colorida



Fonte: Autora, 2024.

As letras correspondem a: (a) filme controle; (b) e (c) filme EA 10% e EA 20%, (d) e (e) filme EM 10% e EM 20%, respectivamente.

A Tabela 1 apresenta os valores médios de transparência e opacidade para os filmes controle e os incorporados com os extratos. Os filmes elaborados com extrato aquoso 10% apresentaram valores mais próximos ao controle. Provavelmente, a extração com metanol extraiu os compostos da planta que levaram a uma cor mais intensa.

No caso da opacidade de filmes plásticos, com base nos resultados do teste de Tukey 5% de significância, foi possível concluir que houve diferença significativa para esse parâmetro entre os grupos de filmes testados, com o grupo com média 22,47 (EM20%) sendo

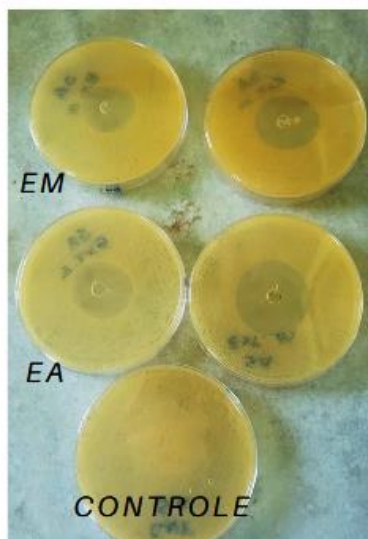
o mais opaco. Os filmes EA10%, EA20% e EM10% foram semelhantes entre si, mas diferentes do filme EM20%. Apenas o tratamento EA10% não diferiu do controle (0%).

Para indústria de alimentos, é de interesse que seja estudado o produto em que vai ser aplicado o filme, com isto, é possível definir se existe algum componente do alimento que precisa ser preservado da exposição à luz. Assim, a opacidade e cor do filme irão depender do quanto o alimento pode ser exposto à radiação visível (COLTRO; BURATIN, 2004; YOSHIDA; ANTUNES, 2009). Contudo, de forma geral, para filmes transparentes de uso como embalagens de alimentos, uma transparência acima de 80% seria ideal. Analisando a Tabela 1, os filmes desenvolvidos estão dentro do aceito para embalagens transparentes, exceto o filme EM20%, que mostra uma pequena diferença em relação ao valor desejável para este caso (GUZMAN-PUYOL; BENÍTEZ; HERREDIA-GUERRERO, 2022).

4.5 Avaliação da Atividade Antimicrobiana

Com o resultado da CMI, pode-se verificar que ambos extratos apresentaram atividade contra *S. aureus* nas concentrações de 0,12% (v/v), para o extrato EM, 0,25% (v/v), para o extrato EA, inibindo o crescimento dessa bactéria. Porém, nas concentrações testadas, não apresentaram atividade contra *E. coli* e *S. cerevisiae*. O teste do halo reforçou esse resultado, sendo verificado halo de inibição apenas para *S. aureus* (Figura 8).

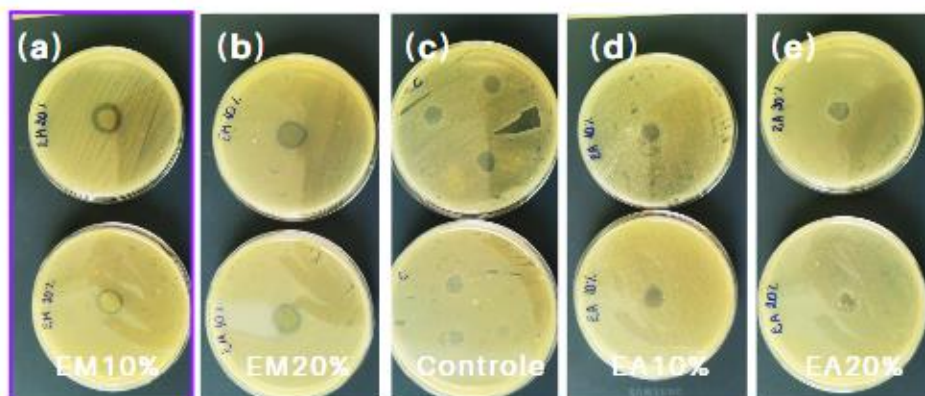
Figura 8: Resultado do teste do halo para os extratos de lúpulo Cascade, frente *S. aureus*. EA: extrato aquoso; EM: extrato de metanol.



Fonte: Autora, 2024.

O teste do halo foi a técnica escolhida para verificar a atividade dos filmes elaborados frente aos microrganismos. Verificou-se que os filmes elaborados com metanol, nas concentrações de 10 e 20%, apresentaram atividade frente a *S. aureus*, sendo observado pequenos halos de inibição na região da placa em que os filmes foram posicionados. Filmes elaborados com o extrato aquoso, por outro lado, não apresentaram resultado satisfatório frente a esse mesmo microrganismo (Figura 9).

Figura 9: Resultado do teste do halo, frente a *S. aureus*, para os filmes de acetato de celulose, incorporados com extrato de lúpulo: (a) EM10%, (b) EM20%, (c) controle (0%), (d) EA10%, e (e) EA20%.



Fonte: Autora, 2024.

As resinas moles do lúpulo, α - e β -ácidos, e compostos fenólicos, incluindo xanthohumol, conferem propriedades antioxidantes e antimicrobianas ainda pouco exploradas pela indústria alimentícia (ARRUDA, 2020). O lúpulo apresentou potencial para ser aplicado como componente ativo em embalagens ativas. Porém, para confirmar essa potencialidade, é necessária a realização de testes da embalagem em alimentos, para assim estudar a interação da embalagem com os componentes presentes nele.

5 CONCLUSÃO

Foi possível a elaboração de filmes ativos a partir do extrato de lúpulo *Cascade* incorporado em uma matriz de acetato de celulose. Ambos os extratos mostraram atividade inibitória contra *S. aureus*, mas a avaliação da atividade antimicrobiana revelou que apenas os filmes com 10% e 20% de extrato metanólico apresentaram resultados de inibição contra *S.*

aureus. Isso indica que o extrato metanólico possui propriedades antimicrobianas eficazes, que podem ser aplicadas a embalagens ativas.

A incorporação dos extratos nos filmes revelou diferenças significativas nas características físicas dos mesmos. Em particular, os filmes produzidos com o extrato metanólico apresentaram uma coloração mais intensa, enquanto os filmes com extrato aquoso exibiram uma tonalidade mais clara. Essa diferença de cor reflete as propriedades distintas dos extratos.

Em termos de transparência e opacidade, os filmes contendo extrato aquoso mostraram-se mais transparentes e menos opacos, o que é uma característica desejável para aplicações que exigem visibilidade do conteúdo embalado. No entanto, o filme com 10% de extrato metanólico também manteve características aceitáveis de transparência, permitindo que se encaixasse nos padrões para embalagens que requerem um certo nível de clareza visual.

6 REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D1746–15**: Standard test method for transparency of plastic sheeting. United States: ASTM, 2015.

ASTM. ASTM E96/E96M-10. (2010). **Standard Test Method for Water Vapor Transmission of Materials**. ASTM: West Conshohocken, PA, USA.

ASTM. ASTM D882-12. (2012). **Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting**. ASTM: West Conshohocken, PA, USA.

ARRUDA, Tarsila Rodrigues. **Atividades Antioxidante e Antimicrobiana dos primeiros Cultivares de Lúpulo (*Humulus lupulus* L.) produzidos no Brasil**. 2020. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2020.

BATISTA, J. A. **Desenvolvimento, caracterização e aplicações de biofilmes a base de pectina, gelatina e ácidos graxos em bananas e sementes de brócolos**. 2004. Dissertação (Mestre em Ciência de Alimentos), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Campinas, 2004.

BRAGA, L.; SILVA F. Embalagens ativas: uma nova abordagem para embalagens alimentícias. **Brazilian Journal of Food Research**, Curitiba, PR, v. 4, n.8, 2017.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Lúpulo no Brasil: perspectivas e realidades**. Brasília: MAPA/SAF, 2022.

CANDIDO, Antônio Henrique Melo. **Embalagens ativas e inteligentes: tendências e projeções**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) - Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 2023.

CARVALHO, D. DE M. *et al.* Filme ativo de acetato de celulose incorporado com nanosuspensão de curcumina TT - Active film of cellulose acetate incorporated with nanosuspension of curcumin. **Polímeros**, v. 27, n. ahead, p. 70–76, 2017.

CLINICAL AND LABORATORY STANDARDS INSTITUTE. **CLSI M07-A9**: Methods for Dilution Antimicrobial Susceptibility Tests for Bacteria That Grow Aerobically. United States: CLSI, 2012.

CLINICAL AND LABORATORY STANDARDS INSTITUTE. **Guidelines for preparing dilution and disk susceptibility test media for bacteria that grow aerobically**. 5th ed.

CLSI supplement M22. Wayne, PA: CLSI, 2019.

CLINICAL AND LABORATORY STANDARDS INSTITUTE. **Performance Standards for Antimicrobial Susceptibility Testing**. 31st ed. CLSI supplement M100. Wayne, PA: CLSI, 2021.

CLINICAL AND LABORATORY STANDARDS INSTITUTE. **Performance standards for antimicrobial disk susceptibility tests**. 13th ed. CLSI supplement M02. Wayne, PA: CLSI, 2018.

CRIPPA, A.; SYDENSTRICKER, T. H. D.; AMICO, S. C. Desempenho de Filmes Multicamadas em Embalagens Termoformadas. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v.17, n. 3, p.188-193, 2007.

COCKERILL, F. R. Methods for Dilution Antimicrobial Susceptibility Tests for Bacteria That Grow Aerobically. **Clinical and Laboratory Standards Institute**, vol. 32, n. 2, p. M07-A9, jan. 2012.

CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA (COBEQ), 20, 2014, Florianópolis, SC. **Anais [...] Estudo do método de ultrassom para a extração de óleo de sementes de uva provenientes de rejeitos do processo vinícola**, Florianópolis, SC: Universidade Federal do Pampa, 2014.

COSTA, D. *et al.* Advances in phenolic compounds analysis of aromatic plants and their potential applications. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Portugal, v. 18, n. 1, p. 334-354, oct. 2015.

COLTRO, L.; BURATIN, A. Garrafas de PET para Óleo Comestível - Avaliação da Barreira à Luz. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v.14, N. 3, p. 206-211, 2004.

DANNENBERG, G. *et al.* Essential oil from pink pepper as an antimicrobial component in cellulose acetate film: Potential for application as active packaging for sliced cheese. **LWT - Food Science and Technology**, v. 81, p. 314–318, 2017.

ENDRES, H.; SIEBERT-RATHS, A. **Engineering biopolymers: markets, manufacturing, properties, and applications**. Munich: Hanser Publishers, 2011.

FIROUZ, M.; MOHI-ALDEN, K; OMID, M. A critical review on intelligent and active packaging in the food industry: Research and development. **Food Research International**, Iran, v. 141, p. 110-113, July 2021.

FISCHER, S. *et al.* Properties and applications of cellulose acetate. **Macromolecular Symposia**, v. 262, n. 1, p. 89–96, 2008.

FORMATO, A. *et al.* Supercritical fluid extraction of α - and β -acids from hops compared to cyclically pressurized solid – liquid extraction. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 84, p. 113–120, 2013.

GUMAN-PUYOL, S.; BENÍTEZ, J.; HEREDIA-GUERRERO, J. Transparency of polymeric food packaging materials. **Food Research International**, v. 161, Nov. 2022.

HAN, J.; FLOROS, J. Casting antimicrobial packaging films and measuring their physical properties and antimicrobial activity. **Plast Film Sheeting**, v. 13, n. 4, p. 287–298, out. 1997.

HIERONYMUS, Stan. **For the love of hops: The practical guide to aroma, bitterness and the culture of hops**. Brewers Publications: Colorado, 2012.

HILTON, J. **Farm Fresh Hops for six generation**, 2002. Disponível em: <https://www.hopsteiner.com>. Acesso em: 14 maio 2023.

JACOBS, V; SOUZA, F. S; HAMM, J. B. S; MANCILHA, F. S. N. Produção e caracterização de biofilmes de amido incorporados com polpa de acerola. **Revista Ibero americana de Polímeros**, v.21, n.3, p. 107-119, Abril 2020.

JOHNSTON, W. M. Color measurement in dentistry. **Journal of Dentistry**, United States, v. 37, suppl. 1, p. e2-e6, Mar. 2009.

JUNIOR, Ferraz; STELLA, Rita; MARCHIORO, Brenda. **Essencial na fabricação de cerveja, lúpulo brasileiro é tão bom quanto o importado, mostram estudos da USP**. Jornal da USP, São Paulo, 28 out. 2021. Disponível em: Acesso em: <https://jornal.usp.br/ciencias/essencial-na-producao-de-cerveja-lupulo-brasileiro-e-tao-bom-quanto-o-importado-mostram-estudos-da-usp/>. 29 abr. 2023.

JÚNIOR, A. F. de A. **Síntese e caracterização de biofilmes à base de alginato de sódio reticulado com poliácridamida catiônica**. 2017. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal do Maranhão, São Luís – MA, 2017.

KOLENC, Z. *et al.* Antimicrobial Properties of Different Hop (*Humulus lupulus*) Genotypes. **Plants**, Slovenia, vol. 12, p. 120, dez. 2022.

MORADO, Ronaldo. **Larousse da Cerveja: A História e as curiosidades de uma das bebidas mais populares do mundo**. São Paulo: Alaúde, 2017.

MATSUMOTO, N. **Desenvolvimento do método multivariado acelerado para a determinação do prazo de validade de tintas unindo quimiometria, cinética química e colorimetria**. 2022. Tese (Doutorado em Ciências) – universidade estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas – SP, 2022.

OLIVEIRA, L. *et al.* Efeito de absorvedor de etileno no armazenamento de mamão (carica papaya l.), em diferentes temperaturas, investigado por laser fotoacústico e colorímetro de Hunter. **Revista ceres**, v.53, n. 308, p.487-494, abril 2006.

PACHECO, Camila de Castro. **Estudo das propriedades térmicas, estruturais e fotocromicas do acetato de celulose contendo ácido fosfotúngstico**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Química Industrial) - Universidade Federal de São Paulo, Diadema, 2022.

POLA, C. C. *et al.* Cellulose acetate active films incorporated with oregano (*Origanum vulgare*) essential oil and organophilic montmorillonite clay control the growth of phytopathogenic fungi. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 9, p. 69–78, 2016.

RAMOS, M. *et al.* Characterization and antimicrobial activity studies of polypropylene films with carvacrol and thymol for active packaging. **Journal of Food Engineering**, Spain, v. 109, n. 3, p. 513–519, 1 abr. 2012.

RODRIGUES, Manuel; MORAIS, Jorge; CASTRO, João Paulo. **Jornada de Lúpulo e Cerveja**: Novas oportunidades de negócio. Bragança: Instituto Politécnico de Bragança, 2015.

RYBACEK, V. **Hop Production**. Elsevier: New York, 1991.

SANTOS, Vanessa Sardinha dos. **O que é lúpulo?** Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/biologia/o-que-e-lupulo.htm>. Acesso em: 16 ago. 2024.

SANZ, V. *et al.* What is new on the hop extraction? **Trends in Food Science & Technology**, Spain, v. 93, p. 12-22, nov. 2019.

SENA, Wilson. **Avaliação preliminar do extrato de coité no controle da cochonilha-de-escama em palma-forrageira**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Ciências Biológicas) – Universidade Federal de Campina Grande, Cuité, PB, 2021.

SILVA, I. *et al.* Avaliação das potencialidades dos extratos vegetais de jurema preta (*Mimosa tenuiflora*) e cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) para uso em embalagens ativas antimicrobianas e antioxidantes. **Revista Matéria**, Recife, PE, v. 26, n. 1, set. 2021.

SIRACUSA, V. *et al.* Biodegradable polymers for food packaging: a review. **Trends in Food Science & Technology**, Italy, v. 19, n. 12, p. 634–643, dez. 2008.

SKOF, Suzana *et al.* Ploidy and sex expression in monoecious hop (*Humulus lupulus*). **Canadian Science Publishing**, v. 90, n. 7, p. 617-626, jun. 2012.

STEENACKERS, B.; COOMAN, L.; VOS, D. Chemical transformations of characteristic hop secondary metabolites in relation to beer properties and the brewing process: A review. **Food Chemistry**, Belgium, v. 172, p. 742–756, april 2015.

TAJKARIMI, M.; IBRAHIM, S.; CLIVER, D. Antimicrobial herb and spice compounds in food. **Food Control**, USA, v. 21, n. 9, p. 1199-1218, sep. 2010.

TAKATSUI, Fabiana. **Sistema CIE LAB: análise computacional de fotografias**. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciências Odontológicas) - Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2011.

WÜSTENBERG, T. **Cellulose and Cellulose Derivatives in the Food Industry**. Weinheim: Wiley-VCH, 2015.

YOSHIDA, C.; ANTUNES, A. Aplicação de filmes protéicos à base de soro de leite. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.29, N.2, P. 420-430, 2009.

ZANELA, J *et al.* Sheets of cassava starch - poly (vinyl alcohol) produced by extrusion: effect of formulation on the color and opacity. **Polímeros**, v.25, n. 3, p. 326-329, 2015.

ZHAO, J.; WANG, Y.; LIU, C. Film Transparency and Opacity Measurements. **Food Analytical Methods**, Spain, v. 15, p. 2840–2846, jun. 2022. <https://doi.org/10.1007/s12161-022-02343-x>