CHÁID ACÁCIO ANTÓNIO MUSSALAFO

INFLUÊNCIA DE REVESTIMENTOS À BASE DE PROTEÍNAS DO SORO LÁCTEO E AMIDO DE MANDIOCA, ADICIONADOS DE CURCUMINA E PRÓPOLIS, EM QUEIJO MINAS PADRÃO

LAVRAS – MG
2025

CHÁID ACÁCIO ANTÓNIO MUSSALAFO

INFLUÊNCIA DE REVESTIMENTOS À BASE DE PROTEÍNAS DO SORO LÁCTEO E AMIDO DE MANDIOCA, ADICIONADOS DE CURCUMINA E PRÓPOLIS, EM QUEIJO MINAS PADRÃO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós- Graduação em Ciência dos Alimentos, para obtenção do título de Mestre em Ciência dos Alimentos.

Prof. Dr. Luiz Ronaldo de Abreu Orientador

Prof. Dra. Roberta Hilsdorf Piccoli Coorientadora

LAVRAS – MG
2025

Ficha Catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Mussalafo, Chaid Acacio Antonio.
Influência de revestimentos à base de proteínas do soro lácteo e amido de mandioca, adicionados de curcumina e própolis, em queijo minas padrão / Chaid Acacio Antonio Mussalafo. - 2025.
57 p. : il.

Orientador: Luiz Ronaldo de Abreu
Coorientadora: Roberta Hilsdorf Piccoli

Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2025.
Bibliografia.

1. Atividade antimicrobiana. 2. Filmes e revestimentos comestíveis. 3. Queijo minas padrão.. I. de Abreu, Luiz Ronaldo . II. Piccoli, Roberta Hilsdorf . III. Universidade Federal de Lavras. IV. Título.

CHÁID ACÁCIO ANTÓNIO MUSSALAFO

INFLUÊNCIA DE REVESTIMENTOS À BASE DE PROTEÍNAS DO SORO LÁCTEO E AMIDO DE MANDIOCA, ADICIONADOS DE CURCUMINA E PRÓPOLIS, EM QUEIJO MINAS PADRÃO

INFLUENCE OF COATINGS BASED ON WHEY PROTEINS AND MANDIOCA STARCH, ADDED WITH CURCUMIN AND PROPOLIS, ON MINAS PADRÃO CHEESE

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós- Graduação em Ciência dos Alimentos, para obtenção do título de Mestre em Ciência dos Alimentos.

APROVADO, em 22 de Agosto de 2025
Prof. Dr. Luiz Ronaldo de Abreu - UFLA
Prof. Dra. Roberta Hilsdorf Piccoli - UFLA
Prof. Dra. Elisangela Elena Nunes Carvalho - UFLA
Prof. Dra. Sandra Maria Ointo - UFLA
Prof. Dr. Cleube Andrade Boari - UFVJM

Documento assinado digitalmente
gov.br
LUIZ RONALDO DE ABREU
Data: 30/10/2025 10:17:01-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Luiz Ronaldo de Abreu Orientador

Prof. Dra. Roberta Hilsdorf Piccoli Coorientadora

LAVRAS – MG
2025

À minha família, em especial aos meus estimados pais Saquina Taiob Samamade e António Paulino, a quem eu devo tudo o que me tornei.

Dedico

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida, saúde e pela força que me sustentou em todos os momentos desta caminhada.

À minha família, em especial aos meus pais, pelo amor incondicional, apoio constante e por acreditarem em mim mesmo nos momentos de maior dificuldade.

Ao meu orientador, Luiz Ronaldo de Abreu, pela orientação dedicada, paciência, incentivo e pela confiança depositada em meu trabalho. Sua contribuição foi fundamental para a construção deste estudo e para minha formação acadêmica e pessoal.

Aos colegas de pesquisa e amigos, pela parceria, colaboração e momentos de aprendizado compartilhados, que tornaram esta trajetória mais leve e enriquecedora.

À Universidade Federal de Lavras, em particular o Departamento de Ciência dos Alimentos pelo espaço de formação e pelas oportunidades concedidas durante o mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES), pelo apoio financeiro, sem o qual este trabalho não teria sido possível.

À todo aquele que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a realização desta dissertação, deixo meu sincero reconhecimento e gratidão.

RESUMO

No Brasil, os queijos Minas representam cerca de 10% da produção nacional, sendo o tipo padrão mais durável que o frescal devido à maturação. Contudo, nesse processo, podem ocorrer alterações físico-químicas e microbiológicas decorrentes de oxidação e da ação de microrganismos como *Listeria monocytogenes*. Nesse contexto, filmes e revestimentos comestíveis configuram alternativa promissora, pois oferecem proteção semelhante à de filmes sintéticos, com a vantagem de serem biodegradáveis e ambientalmente sustentáveis. Assim, esta pesquisa teve como objetivo investigar o desempenho tecnológico de filmes e revestimentos comestíveis elaborados a partir de proteínas do soro de leite e amido de mandioca, adicionados de curcumina e própolis, aplicados ao queijo Minas Padrão, visando avaliar sua eficácia e potencial de uso na conservação e qualidade do produto. Para a concretização dos objetivos, a curcumina e a própolis foram avaliadas quanto à presença de compostos fenólicos, atividade antioxidante e ação antimicrobiana *in vitro* contra *L. monocytogenes*. A partir de soluções filmogênicas de proteínas do soro de leite e amido de mandioca, foram elaborados revestimentos S1 (à base de amido), S2 (mistura de amido e concentrado proteico de soro de leite) e S3 (à base de concentrado proteico de soro de leite), caracterizados quanto às propriedades reológicas (viscosidade aparente e viscoelasticidade). Utilizando as mesmas soluções filmogênicas (S1,S2 e S3) obtiveram-se filmes F1, F2 e F3 respetivamente, que foram caracterizados quanto à permeabilidade ao vapor de água, degradação em água e em solo, e ângulo de contato. Queijos previamente inoculados com cepas de *L. monocytogenes* foram revestidos e avaliados quanto à umidade, atividade de água, pH, perda de massa, cor e textura, após 21 dias de maturação. A contagem de cresciomento de *L. monocytogenes nos queijos* foi realizada nos dias 1, 7 e 14. A própolis apresentou maior teor de fenólicos totais (215,64 ± 6,40 mg EAG/g) e atividade antioxidante (136,6 µmol EAA/g) em relação à curcumina (197,26 ± 4,50 mg EAG/g; 83,1 µmol EAA/g). Ensaios antimicrobianos demonstraram inibição de *L. monocytogenes* em concentrações de 0,84% de curcumina associada a 0,71% de própolis, indicando efeito aditivo das combinações. As soluções filmogênicas apresentaram comportamento pseudoplástico, com índices de consistência (k) variando de 0,0016 (S3) a 1,8483 (S1) $Pa \cdot s^n$ e índices de fluxo (n) entre 0,49 e 0,99. Os filmes obtidos diferiram quanto à permeabilidade ao vapor de água, variando de 3,48 $g \cdot m^{-2} \cdot dia^{-1}$ (F1 – amido) a 7,40 $g \cdot m^{-2} \cdot dia^{-1}$ (F3 – CPS), e solubilidade em água superior a 40%. Quando aplicados aos queijos, os revestimentos reduziram a perda de massa em até 12% em relação ao controle, mantiveram a atividade de água entre 0,91 e 0,93 e o pH estável em torno de 5,2. Após 14 dias de maturação, os queijos revestidos apresentaram menor contagem de *L. monocytogenes* (≈ 2,5 log UFC/g) em comparação ao controle (≈ 4,8 log UFC/g).

Palavras-chave: Atividade antimicrobiana; Filmes e revestimentos comestíveis, Queijo Minas Padrão.

ABSTRACT

In Brazil, Minas cheeses represent approximately 10% of national production, with the standard type being more durable than the fresh type due to ripening. However, during this process, physicochemical and microbiological changes can occur due to oxidation and the action of microorganisms such as *Listeria monocytogenes*. In this context, edible films and coatings represent a promising alternative, as they offer similar protection to synthetic films, with the advantage of being biodegradable and environmentally sustainable. Therefore, this research aimed to investigate the technological performance of edible films and coatings made from whey proteins and cassava starch, with added curcumin and propolis, applied to Minas Padrão cheese, to evaluate their effectiveness and potential use in preserving and improving product quality. To achieve these objectives, curcumin and propolis were evaluated for the presence of phenolic compounds, antioxidant activity, and in vitro antimicrobial activity against *L. monocytogenes*. From film-forming solutions of whey proteins and cassava starch, coatings S1 (starch-based), S2 (a mixture of starch and whey protein concentrate), and S3 (whey protein concentrate-based) were prepared and characterized by their rheological properties (apparent viscosity and viscoelasticity). Using the same film-forming solutions (S1, S2, and S3), films F1, F2, and F3 were obtained, respectively, and characterized by their water vapor permeability, degradation in water and soil, and contact angle. Cheeses previously inoculated with *L. monocytogenes* strains were coated and evaluated for moisture, water activity, pH, mass loss, color, and texture after 21 days of ripening. The growth count of *L. monocytogenes* in the cheeses was performed on days 1, 7 and 14. Propolis showed a higher total phenolic content (215.64 ± 6.40 mg EAG/g) and antioxidant activity (136.6 µmol EAA/g) compared to curcumin (197.26 ± 4.50 mg EAG/g; 83.1 µmol EAA/g). Antimicrobial assays demonstrated inhibition of *L. monocytogenes* at concentrations of 0.84% curcumin associated with 0.71% propolis, indicating an additive effect of the combinations. The film-forming solutions showed pseudoplastic behavior, with consistency indices (k) ranging from 0.0016 (S3) to 1.8483 (S1) $Pa \cdot s^n$ and flow indices (n) between 0.49 and 0.99. The films obtained differed in water vapor permeability, ranging from 3.48 $g \cdot m^{-2} \cdot day^{-1}$ (F1 – starch) to 7.40 $g \cdot m^{-2} \cdot day^{-1}$ (F3 – CPS), and water solubility exceeding 40%. When applied to cheeses, the coatings reduced mass loss by up to 12% compared to the control, maintained water activity between 0.91 and 0.93, and a stable pH of around 5.2. After 14 days of ripening, the coated cheeses showed lower *L. monocytogenes* counts (≈2.5 log CFU/g) compared to the control (≈4.8 log CFU/g).

Keywords: Antimicrobial activity; Edible films and coatings; Minas Padrão cheese.

INDICADORES DE IMPACTO

A pesquisa sobre o uso de revestimentos à base de proteínas do soro lácteo e amido de mandioca, adicionados de curcumina e própolis, em queijo Minas padrão apresenta impactos significativos nos âmbitos tecnológicos, ambiental e socioeconômico. Do ponto de vista tecnológico, a combinação de proteínas do soro lácteo e amido de mandioca pode resultar em filmes com propriedades funcionais aprimoradas, como barreira contra umidade e oxigênio, além de potencial para liberação controlada de compostos bioativos. Em termos ambientais, o uso de proteínas do soro lácteo, um subproduto da indústria de laticínios, contribui para a redução do desperdício e a valorização de resíduos industriais. A mandioca, sendo uma cultura de baixo impacto ambiental e adaptada a diversas condições climáticas, torna o amido uma alternativa sustentável aos polímeros sintéticos. Além disso, revestimentos comestíveis podem prolongar a vida útil do queijo, contribuindo para a diminuição do desperdício de alimentos. Quanto aos impactos socioeconômicos, o desenvolvimento e a produção de revestimentos com ingredientes locais podem estimular a economia regional e gerar empregos nos setores agrícola e industrial. A utilização de ingredientes como mandioca e soro de leite pode resultar em produtos mais acessíveis, beneficiando comunidades com menor poder aquisitivo. Ademais, a pesquisa e desenvolvimento de novos produtos alimentícios inovadores podem posicionar empresas como líderes em inovação, aumentando sua competitividade no mercado.

IMPACT INDICATORS

Research on the use of whey protein- and cassava starch-based coatings, enriched with curcumin and propolis, in queijo Minas padrão shows significant technological, environmental, and socioeconomic impacts. From a technological standpoint, the combination of whey proteins and cassava starch can result in films with improved functional properties, such as moisture and oxygen barrier performance, as well as the potential for controlled release of bioactive compounds. In environmental terms, the use of whey protein, a by-product of the dairy industry, contributes to waste reduction and the valorization of industrial residues. Cassava, being a low-environmental-impact crop adapted to diverse climatic conditions, makes its starch a sustainable alternative to synthetic polymers. Moreover, edible coatings can extend the shelf life of cheese, helping reduce food waste. Regarding socioeconomic impacts, the development and production of coatings made with local ingredients can stimulate the regional economy and generate jobs in agricultural and industrial sectors. The use of ingredients such as cassava and whey can result in more affordable products, benefiting communities with lower purchasing power. Furthermore, research and development of innovative food products can position companies as leaders in innovation, increasing their competitiveness in the market.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-Fluxograma de fabricação do queijo minas padrão..... 20
Figura 2- Representação da estrutura química da amilose..... 23
Figura 3- Representação da estrutura química da amilopectina..... 24
Figura 4- Açafrão da Índia (*Curcuma longa* .)..... 26
Figura 5-Estrutura química da curcumina (enol)..... 26
Figura 6- Estrutura química artepillin C..... 27
Figura 7- Curvas de fluxo: (a) Relação entre a tensão de cisalhamento e taxa dedeformação das diferentes soluções filmogênicas (b) Relação entre a viscosidade aparente e taxa de deformação das diferentes soluções filmogênicas 41
Figura 8- Módulo elástico ou de armazenamento (G') e módulo viscoso ou de perda (G'') em função da frequência angular (a) (rad.s-1) e em função da deformação de cisalhamento ou taxa de deformação (b) 42
Figura 9- Ângulo de contato estático (θ, °) dos filmes F1 (amido de mandioca), F2 (amido + concentrado proteico de soro – CPS) e F3 (CPS). As barras mostram a média e as hastes o desvio-padrão. Valores maiores de θ indicam menor molhabilidade/maior hidrofobicida 45
Figura 10- Contagem de Listeria monocytogenes (log10 UFC·g-¹) em queijo Minas Padrão ao longo do armazenamento (0, 7 e 14 dias) para os tratamentos Q1, Q2, Q3 e QC (controle) .. 49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Requisitos Microbiológicos de Queijos de média umidade 19
Tabela 2-Principais proteínas de soro de leite bovino 22
Tabela 3-Características de alguns amidos comerciais 24
Tabela 4- Matriz do DCCR com valores codificados das variáveis independentes..... 30
Tabela 5- Fenólicos totais e atividade antioxidante 37
Tabela 6- Atividade antimicrobiana da curcumina e própolis 38
Tabela 7- Parâmetros reológicos das soluções e filmogênicas ajustados ao modelo lei da potência. 40
Tabela 8- Permeabilidade ao vapor d'água (WVP), degradação em água e degradação em solo dos filmes 44
Tabela 9- Propriedades físico-químicas dos queijos..... 46
Tabela 10- Parâmetros de cor dos queijos 47
Tabela 11- Parâmetros de perfil de textura 48

LISTA DE ABREVIATURAS

Aw	Atividade de água
BSA	Soroalbumina Bovina
CBM	Concentração Bactericida Mínima
CLA	Ácido Linoleico Conjugado
CPS	Concentrado Proteico do Soro
DCV	Doenças Cardiovasculares
DCCR	Delineamento Composto Central Rotacional
EAG	Equivalente de Ácido Gálico
EAA	Equivalente de Ácido Ascórbico
GAE	Equivalente de ácido gálico
IC_{50}	Concentração Inibitória 50%
IN	Instrução Normativa
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
PS	Proteína do Soro
TPA	Análise de Perfil de Textura
UFC	Unidades Formadoras de Colônia
WPI	Isolado de Proteína do Soro de leite
WVP	Permeabilidade ao Vapor de Água
WVTR	Taxa de Transmissão de Vapor de Água

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 15
2 OBJETIVOS 17
2.1 Objetivo geral 17
2.2 Objetivos específicos 17
3 REFERENCIAL TEÓRICO 18
3.1 Queijo Minas Padrão 18
3.2. Parâmetros de Identidade e Qualidade do Queijo Minas Padrão 18
3.3 Tecnologia de fabricação do queijo Minas padrão 19
3.4 Qualidade e Segurança do Queijo Minas Padrão 20
3.5 Filmes e revestimentos Comestíveis 21
3.6 Proteínas do soro de leite 22
3.7 Amido de mandioca 23
3.8 Antimicrobianos Naturais 25
3.8.1 Curcumina 25
3.8.2 Própolis 27
4 MATERIAIS E MÉTODOS 28
4.1 Materiais 28
4.2 Quantificação do teor de fenólicos totais da curcumina e da própolis e avaliação da atividade antioxidante e antimicrobiana in vitro contra Listeria monocytogenes 28
4.2.1 Fenólicos totais e atividade antioxidante 28
4.2.2 Atividade antimicrobiana 29
4.3 Preparação e caracterização das soluções filmogênicas 30
4.3.1 Propriedades Reológicas das soluções filmogênicas 31
4.4 Elaboração e caracterização dos filmes antimicrobianos 31
4.4.1 Barreira a vapor de água 32
4.4.2 Degradação em solo 33
4.4.3 Ângulo de contato 33
4.5 Revestimento e caracterização dos queijos 33
4.5.1 Perda de massa 33
4.5.2 pH, umidade e aw 34
4.5.3 Cor 34

4.5.4 Textura 34
4.5.5 Quantificação de Listeria monocytogenes nos queijos……..34
4.6 Análise estatística 35
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO 36
5.1 Fenólicos totais, atividade antioxidante e atividade antimicrobiana. 36
5.2 Comportamento reológico das soluções filmogênicas 38
5.3 Caracterização dos filmes 42
5.4 Caracterização dos queijos 44
5.4.1 Propriedades físico-químicas dos queijos 44
5.5.2 Cor 45
5.5.3 Textura 47
5.6 Contagem de Listeria monocytogenes 48
6 CONCLUSÃO 50
REFERÊNCIA 51

1 INTRODUÇÃO

O queijo é um dos grupos mais conhecidos de produtos à base de leite, sendo produzido em todo o mundo com enorme diversidade de texturas, formatos e sabores. Seu registro mundial é de aproximadamente 1000 variedades (Akarca et al., 2015; Li et al., 2018; Costa et al., 2019).

Devido à sua composição (elevada quantidade de proteínas, cálcio, minerais e vitaminas), o consumo de queijo aumentou significativamente ao longo dos anos em todo o mundo e, consequentemente, a indústria do queijo evoluiu para um negócio global (Nájera et al., 2021). De acordo com Jafarzadeh (2021), o consumo de queijo por pessoa por ano, passou de 17 para 18,44 kg de 2010 à 2020, e espera-se que esse aumento seja progressivo até 2027.

A produção de queijos no Brasil possui grande relevância econômica, refletindo diretamente na cadeia do leite e em sua contribuição para o Produto Interno Bruto (PIB) agropecuário, confirmando a importância do setor na economia rural do país (INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA, 2024). Minas Gerais, por sua vez, ocupa posição de destaque como principal estado produtor, responsável por cerca de 27% de todo o leite e queijos produzidos no território nacional (EMBRAPA, 2024).

No contexto mineiro, os queijos do tipo Minas apresentam forte representatividade, respondendo por aproximadamente 38% do volume total. Dentro desse grupo, os queijos Minas Artesanais correspondem a cerca de 12% da produção estadual, enquanto os queijos Minas Padrão representam 26% (ANUÁRIO LEITE, 2024). Quando comparados, em termos de vida útil, os queijos Minas Padrão apresentam maior tempo de vida, o que é associado ao processo de maturação (Nájera et al, 2021 apud Espanha, 2008). No entanto, a maturação do queijo seguido de um longo período de armazenamento pode causar perdas econômicas aos fabricantes (Młyneket al., 2018).

Ulpathakumburaetal (2016) apontam como causas principais de perdas econômicas na maturação do queijo, a contaminação por bactérias, bolores e leveduras, além de reações de oxidação enzimática estimuladas pela exposição do queijo ao calor, oxigênio e luz, podendo produzir diferentes processos de degradação, como descoloração, produção de sabores estranhos, perda de nutrientes e formação de substâncias tóxicas.

Alirezalu et al. (2021), consideram a embalagem adequada como uma das formas mais favoráveis de prevenir a deterioração química, física, bioquímica e microbiológica de alimentos, prolongar a vida útil e aumentar sua qualidade. Os filmes sintéticos para embalagem parecem satisfazer estes requisitos, entretanto, devido ao apelo ambiental e de

sustentabilidade promovidos pelas entidades governamentais e organizações internacionais, aliados aos interesses dos consumidores em produtos seguros, os filmes e revestimentos bioativos comestíveis surgem como uma solução promissora (Jooyandeh et al., 2011; Jafarzadeh et al., 2021; Lima et al., 2021).

Os compostos utilizados nas formulações de filmes e revestimentos comestíveis incluem proteínas (caseína, proteína de soro de leite, glúten de trigo), polissacarídeos (amido, celulose, alginato, quitosana) e lipídios (óleo de girassol, ceras), ou combinações de compostos de diferentes naturezas químicas (Silveira, 2020). Aditivos como glicerina, sorbitol, glicol e água, com função plastificante, também podem ser adicionados às formulações para modificar as propriedades físicas ou outras funcionalidades dos filmes e revestimentos comestíveis. Além disso, esses filmes e revestimentos podem ser usados como transportadores de compostos bioativos como a curcumina e a própolis, com vista a potenciar seus efeitos antioxidantes e antimicrobianos na preservação da vida útil dos alimentos (Lima et al., 2021).

A curcumina (Diarilheptanóide) é o composto bioativo extraído do rizoma da cúrcuma *(Curcuma longa),* com propriedades antitumorais, antioxidantes, antimicrobianas e anti-inflamatórias (Kocaadam; Sanlier, 2017). Quichaba (2021) e Santos (2015), verificaram atividade inibitória e bacteridada de curcumina livre e de microcristais de curcumina contra S. aureus, *E. coli, B. cereus, S. Typhimurium e P. aeruginosa*. Além disso, múltiplos benefícios terapêuticos, como diminuição da proliferação celular em diversos tipos de câncer foi reportado (Prasad; Kochhar, 2014).

A própolis é um material resinoso e gomoso produzido por abelhas da espécie Apis melífera a partir de secreções de árvores e outras plantas contendo pólen e enzimas (De Melo, 2021 apud Marcucci, 1995). Banskotaet al., (1998), Kimoto et al & Picoli et al, (2016), apontam a atividade antimicrobiana da própolis como uma de suas principais características, sendo subdividida em antibacteriana, antifúngica e antiviral, além de apresentar outras atividades farmacológicas. Estudos evidenciaram a atividade inibitória e bactericida in vitro da própolis em concentrações inferiores a 50µg/mLcontra bactérias Gram-positivas (*Staphylococcus aureus, Streptococcus pneumoniae, Enterococcus faecalis, Bacillus subtilis*) e bactérias Gram-negativas (*Escherichia coli, Pseudomonas aeruginosa, Klebsiella pneumoniae, Salmonella enterica*) (Oliveira, 2010; Suza, Fisher e Vargas, 2013).

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a influência de revestimentos à base de proteínas do soro lácteo e amido de mandioca, adicionados de curcumina e própolis, na preservação da qualidade de queijo minas padrão durante a maturação.

2.2. Objetivos específicos

- Quantificar o teor de fenólicos totais da curcumina e da própolis e avaliar sua atividade antioxidante e antimicrobiana *in vitro* contra *Listeria monocytogenes*;
- Elaborar e caracterizar soluções filmogênicas a base de proteínas do soro de leite e amido de mandioca, quanto às propriedades reológicas;
- Elaborar e caracterizar filmes quanto à permeabilidade a vapor de água, degradação em água e em solo;
- Aplicar os revestimentos antimicrobianos e analisar os queijos quanto à perda de massa, pH, atividade de água, umidade, cor, textura e aspecto microbiológico.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Queijo Minas Padrão

Existem mais de 1.000 variedades de queijos produzidos mundialmente, com uma produção que supera 14 milhões de toneladas (Costa et al., 2019). Esse produto destaca-se entre os derivados lácteos por ter alto teor de proteínas e outros nutrientes (Nájera et al., 2021).

No Brasil, surgiram muitas variedades, sendo algumas de expressão regional e outras com largo consumo no território nacional. Em 2017, o Brasil produziu 82,9 mil kg de queijos dos tipos Minas frescal e padrão, de um total de 1,14 milhão de quilogramas produzidos no país, o que movimentou mais de um bilhão de reais (Costa et al., 2019 p.1).

Os queijos minas, de origem tipicamente brasileira, começaram a ser fabricados no século XIX em Minas Gerais. Dentro dessa classe, encontra-se o queijo Minas frescal (com alto teor de umidade e de consumo rápido) e os queijos curados ou maturados, (Minas padrão e o Minas meia cura). Este último é um queijo de massa lavada e com sabor suave, características que o diferenciam do queijo minas padrão (Paula, 2011).

> De acordo com a IN 60/2020 (MAPA, 2020), queijo Minas padrão é o produto obtido por coagulação do leite pasteurizado, por meio de coalho, outras enzimas coagulantes apropriadas, ou com ambos, complementada pela ação de bactérias láticas específicas.

O queijo Minas padrão caracteriza-se como um queijo maturado, de massa crua ou semi-cozida, dessorada, prensada e salgada. Classifica-se com como um queijo semigordo a gordo e de média umidade. Deve ter formato cilíndrico, podendo ou não apresentar casca, a qual, se existente, deve ser fina, de cor branco creme, lisa e sem trincas (Brasil, 2020).

3.2 Parâmetros de Identidade e Qualidade do Queijo Minas Padrão

O queijo minas padrão deve cumprir com os seguintes parâmetros físico-químicos: I - teor de gordura no extrato seco de 42,0g/100g a 57,0g/100g e, II - teor de umidade de 36,0g/100ga 45,9g/100g (MAPA, 2020).

Os requisitos microbiológicos do queijo Minas padrão seguem o mesmo padrão estabelecido para os queijos em geral, conforme demonstrado na Tabela 1, atendendo às normas sanitárias vigentes. Esses padrões são definidos de acordo com o conteúdo de umidade da massa, características físico-químicas específicas e particularidades associadas às diferentes tecnologias de fabricação. Dessa forma, assegura-se que o produto atenda aos limites permitidos para microrganismos indicadores e patogênicos, garantindo sua qualidade higiênico-sanitária. Além disso, o cumprimento desses requisitos é essencial para a segurança do consumidor e para a padronização do produto final. Segundo o MAPA (2020).

Tabela 1- Requisitos Microbiológicos de Queijos de média umidade.

Microorganismos	**Critérios de aceitação**	**Categoria i.c.m.f.s.**	**Método de análise**
Coliformes a 30ºC	n=5 c=2 m=1.000 M=5.000	5	FIL 73A: 1985
Coliformes a 45ºC	n=5 c=2 m=100 M=500	5	APHA 1992, cap. 24
Estafilococos coag. Pos./g	n=5 c=2 m=100 M=1.000	5	FIL 145: 1990
Salmonela sp /25g	n=5 c=0 m=0	10	FIL 93A: 1985
Listeriamonocy-togenes /25g	n=5 c=0 m=0	10	FIL 143: 1990

n-Número de amostras coletadas; m-Limite aceitável; M-Limite máximo; APHA- Associação Americana de Saúde Pública.

Fonte: Adaptado de Costa et al. (2019).

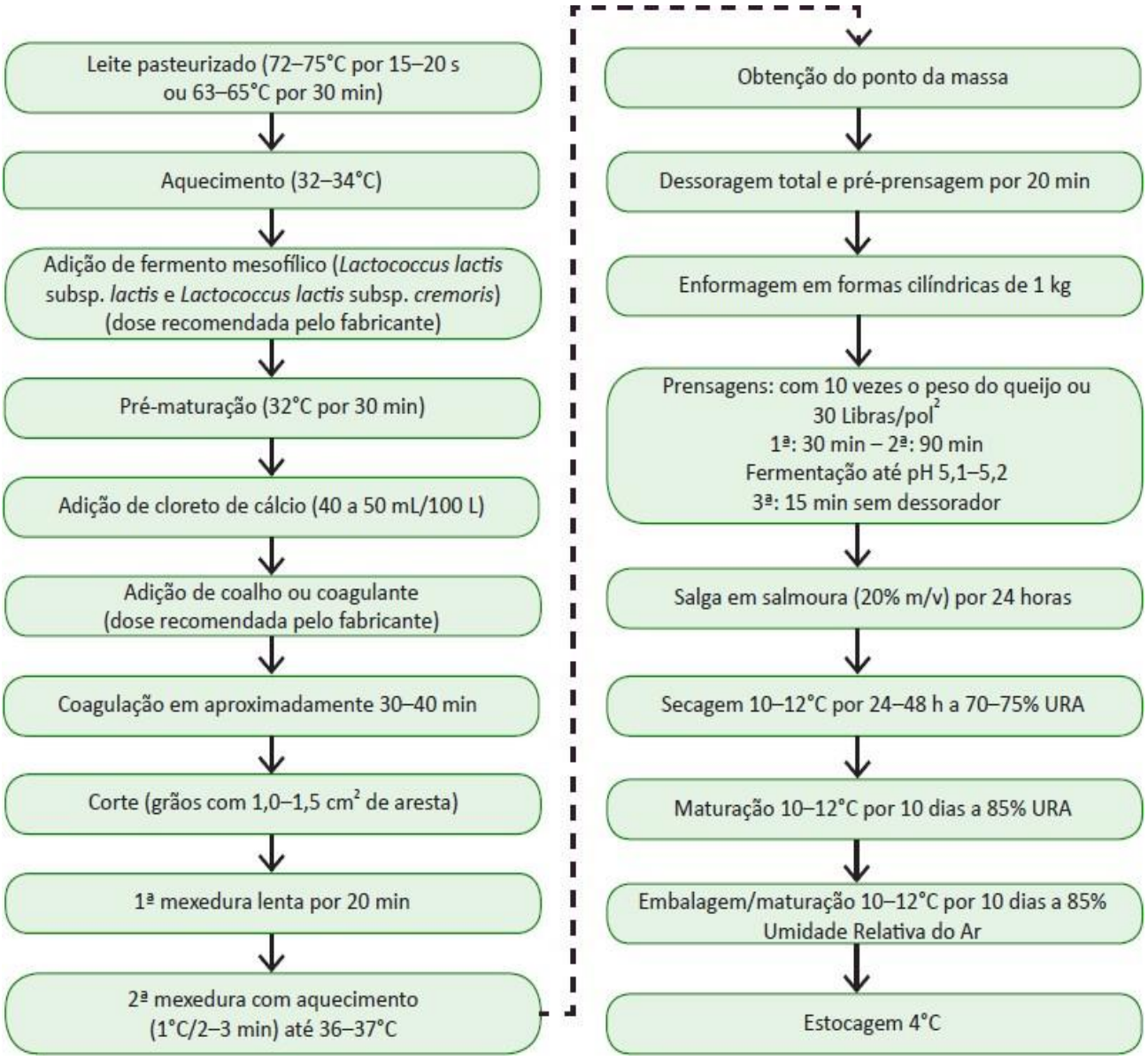
3.3 Tecnologias de fabricação do queijo Minas padrão

Para produzir queijo Minas padrão, deve-se usar leite de boa qualidade, com acidez entre 0,14 e 0,18 g ácido láctico/100 mL, padronizado para 3,2-3,4% de matéria gorda e pasteurizado (72-75°C por 15-20 segundos ou 63-65°C por 30 minutos). O queijo pode ser fabricado com leite integral; no entanto, dependendo do teor de gordura do leite, pode ficar muito macio e deformar durante sua comercialização (Costa et. al.,2021).

Cabe destacar que o queijo Minas padrão também pode ser produzido a partir de leite integral, sem a necessidade de padronização prévia do teor de gordura, desde que a matéria-prima apresente boa qualidade e estabilidade. Contudo, conforme observado por Costa et al. (2021), quando o leite possui um teor de gordura muito elevado, a massa formada durante a fabricação tende a apresentar uma textura excessivamente macia, dificultando o corte e a prensagem adequados. Essa condição interfere na firmeza estrutural do queijo, reduzindo sua resistência mecânica. Como consequência, o produto final torna-se mais suscetível a deformações ao longo do armazenamento, transporte e comercialização, comprometendo sua aparência e aceitação pelo consumidor.

Dessa forma, o monitoramento da composição do leite permanece essencial para garantir a integridade e a qualidade do queijo Minas padrão. O controle rigoroso da composição do leite e o cumprimento adequado das etapas de processamento são fundamentais para garantir a estabilidade e a qualidade final do queijo Minas padrão. Esses cuidados envolvem desde a seleção e tratamento da matéria-prima até o uso correto de fermentos, coalho e condições de coagulação e dessoragem. A tecnologia de fabricação segue um conjunto de procedimentos definidos, apresentados no fluxograma da Figura 1.

Figura 1-Fluxograma de fabricação do queijo minas padrão.



Fonte: Costa et al. (2019) apud Furtado e Lourenço Neto (1994).

3.4 Qualidade e Segurança do Queijo Minas Padrão

A qualidade dos queijos varia de acordo com os seus parâmetros de composição, consistência e tempos de maturação, tendo em conta a percentagem de umidade sem gordura. O queijo minas padrão recebe a especificação semiduro, ao que se refere a queijos com teor de umidade entre 36 – 45,9% (Nájera *et. al.*, 2021).

Os queijos duros e semiduros são produtos lácteos versáteis e ricos em nutrientes, dentre eles, proteínas digeríveis de alto valor biológico, minerais, vitaminas e outros componentes saudáveis como os ácidos linoléicos conjugados (CLA) e os fosfolipídios da membrana globular gordurosa (Alba et. al., 2020).

Da Cruz et al. (2009) relataram que, o aumento do consumo de laticínios pode contribuir para um estilo de vida associado à redução do risco de doenças cardiovasculares (DCV). Neste sentido, os produtos lácteos fermentados têm sido propostos como alimentos funcionais com efeito protetor contra DCV em comparação com produtos lácteos não fermentados.

Além disso, componentes bioativos são gerados durante a fermentação do queijo, como o ácido gama aminobutírico, que favorece a sobrevivência de microrganismos probióticos (Alba et. al., 2020; Nájera et. al., 2021). No entanto, cada tipo de queijo requer um tratamento de conservação específico e condições óptimas de aplicação para garantir sua qualidade e segurança durante o armazenamento.

No Brasil os maiores problemas com a produção de queijo estão relacionados às condições higiênico-sanitárias do leite utilizado, às condições de fabricação (falta de padronização de metodologias de análise e procedimentos) e à ineficiência do sistema de refrigeração ao longo da cadeia (Costa et. al., 2021).

Os problemas de fabricação estão relacionados com a qualidade do leite, contaminação microbiana, controle de pH, qualidade do coalho e fermento utilizados, Os problemas de maturação estão ligados ao crescimento fúngico e desenvolvimento de textura e sabor indesejáveis, influenciados pela umidade e temperatura, derivados a contaminação cruzada, oxidação e rancificação lipídica (Ramos et al., 2012).

3.5 Filmes e revestimentos Comestíveis

Os filmes e revestimentos comestíveis são películas formadas por diferentes substâncias naturais e/ou sintéticas, podendo apresentar espessuras variadas, que isolam o alimento sem causar risco ao consumidor (Adams, 2019). Porém, filmes e revestimentos comestíveis apresentam-se de formas diferentes. O filme é uma fina película formada prévia e separadamente do alimento e depois aplicada sobre o mesmo, e o revestimento é uma suspensão aplicada diretamente sobre a superfície do alimento, formando uma fina película após a secagem do mesmo (Qualquer et al., 2012; Gurb et al., 2024).

O uso de filmes e revestimentos comestíveis vem-se tornando um tópico de interesse em virtude tanto de suas características de conservação dos alimentos quanto de suas capacidades de biodegradabilidade (Leão et al, 2020). Entre as funções mais importantes dos filmes e revestimentos comestíveis, pode-se destacar a inibição da migração de umidade, oxigênio, dióxido de carbono, aromas, lipídios e de outros solutos. Além disso, o emprego de filmes e revestimentos comestíveis pode carrear aditivos alimentares, agentes antimicrobianos e melhorar a integridade dos alimentos (Meleriene et al., 2020).

De acordo com Silveira (2020), a formulação de filmes e revestimentos comestíveis consiste em três componentes principais: o polímero de alta massa molar (Proteínas, polissacarídeos e lipídios) que dará suporte estrutural, o plastificante de baixa massa molar (poliol, glicerina e/ou outro) que irá promover redução da fragilidade do filme e o solvente, e quando necessário, o ajustador de pH.

3.6 Proteínas do soro de leite

As proteínas do soro de leite, também conhecidas como *whey protein*, são proteínas extraídas da porção aquosa do leite, gerada durante o processo de fabricação do queijo e obtenção de caseinatos. As qualidades nutricionais (alta biodisponibidade e o perfil de aminoácidos) das proteínas solúveis do soro têm sido reportadas em diversas pesquisas (Rocha et al., 2014; Gomes, 2019). As principais proteínas encontradas no soro de leite bovino estão representadas na Tabela 2.

Tabela 2- Principais proteínas de soro de leite bovino.

Proteínas do soro	**Leite bovino (%)**	**Aminoácidos**
β-lactoglobulina	50 – 55%	162
α-lactoalbumina	20 – 25%	123
Imunoglobulina	10 – 15%	-
Glicomacropeptídeo	10 – 15%	64
Soroalbumina (BSA)	5 – 10%	580
Lactoferrina	1 – 2%	689

Fonte: Adaptado de Sgarbieri, Pacheco e Roman (2012).

Graças aos avanços tecnológicos, o soro de leite vem se tornando co-produto de grande valor agregado para a indústria leiteira, deixando de atuar como material poluente, para se transformar em ingrediente com excelentes características nutricionais, e funcionais. As formas comerciais disponíveis são: concentrado protéico do soro (CPS) e isolado protéico do soro (WPI) de acordo com o teor de proteína, 20 a 80% emaior que 90%, respectivamente (Hao et al., 2019).

As proteínas do soro de leite são consideradas matéria-prima de grande potencial na elaboração de filmes e revestimentos, devido sua capacidade de formar filmes flexíveis, transparência, alto valor nutricional, ausência de sabor e odor, contribuindo para sua aceitabilidade durante o consumo (Feng et al., 2018). Tais propriedades devem-se à

distribuição de seus aminoácidos com grupos-R, carregados, polares e não polares ao longo da cadeia protéica, criando potencial químico de várias interações, influenciando nas suas propriedades funcionais e tecnológicas (Rocha et al., 2014).

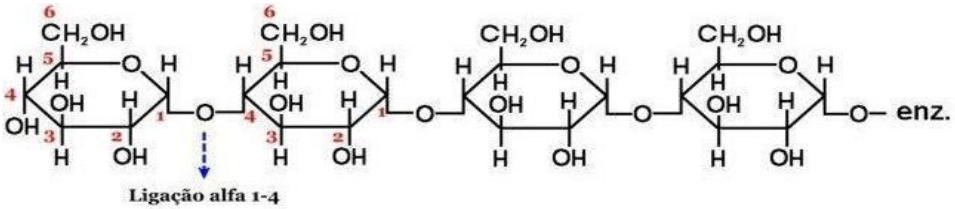
Geralmente, os filmes e revestimentos à base de proteínas fornecem estabilidade mecânica e são barreiras eficazes contra gases. Ramos e colaboradores(2012) avaliaram a influência do revestimento de isolado protéico de soro com antimicrobiano em queijos, e comprovaram que o revestimento reduziu a perda de massa e o desenvolvimento microbiano, mantendo a aparência original do produto alimentício. Sendo assim, filmes e revestimentos provenientes de proteínas de soro de leite apresentam-se como alternativa ao uso de derivados petroquímicos.

3.7 Amido de mandioca

O amido é um polissacarídeo de origem vegetal, composto por longas cadeias de glicose unidas por ligações glicosídicas, presente em plantas, atuando como reserva energética (Leão et al., 2020). Os grânulos do amido são compostos principalmente (98 a 99%, base seca), por dois tipos de polissacarídeos: a amilose e a amilopectina, cuja proporção é também variável em função da origem vegetal do amido. O amido de mandioca apresenta teores mais baixos de amilose e mais altos de amilopectina em comparação com os amidos de milho, de trigo e de batata.

A amilose é uma molécula essencialmente linear, constituída por unidades de -1,4-D-glicopiranose. A massa molar da amilose é da ordem de 10^5 a 10^6 g/mol e o seu grau de polimerização médio é de 324 a 4920 (Leão et al., 2020 apud Coultate, 2002). A representação de sua estrutura química pode ser verificada através da Figura 2.

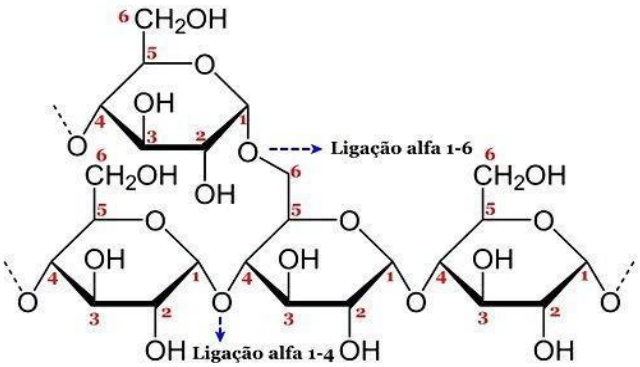
Figura 2- Representação da estrutura química da amilose.



Fonte: Adaptado do autor (2024).

A amilopectina, de acordo com Figura3 é uma molécula muito maior que a amilose com sua massa molar é na ordem de 10^6 a 10^9 g/mol e grau de polimerização em torno de 8 x 10 a 13 x 10. Ela é o componente do amido mais ramificado e é formado por cadeias contendo ligações -1,4, mas que apresentam ramificações (5 a 6%) através de ligações - 1,6. Estas ramificações possuem um comprimento de 20 a 25 cadeias (Corradini et al., 2007).

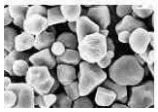
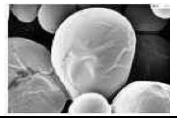
Figura 3- Representação da estrutura química da amilopectina.



Fonte: Adaptado do autor (2024).

O amido constitui, juntamente com a celulose, uma das mais abundantes fontes de carboidratos. As formas de grânulos, as variações de tamanho, forma, associações e composição (-glicosídeos, umidade, proteínas, lipídeos, proteínas e minerais) são dependentes da origem botânica de sua fonte, conforme está exemplificado na Tabela 3.

Tabela 3- Características de alguns amidos comerciais.

Fonte	**Forma do grânulo**	**Diâmetro** (µm)	**Amilose** (%)	**Amilopectina** (%)
Milho		5-26	28	72
Arroz		3-8	30	70
Batata		15-100	18-20	82-80
Mandioca		5-30	14-18	86-82

Fonte: Adaptado de Corradini*et al.* (2007).

A utilização do amido de mandioca para a produção de filmes e revestimentos comestíveis tem sido amplamente estudada (Nunes et al., 2017; Lopes et al., 2018), principalmente devido à sua abundância, baixo custo e boas propriedades filmogênicas. Esse biopolímero destaca-se pela capacidade de formar matrizes estáveis e funcionais, favorecendo sua aplicação na conservação de alimentos. Além disso, os revestimentos produzidos com amido de mandioca apresentam características sensoriais importantes, como transparência, ausência de cor e de

odor. Essas propriedades permitem sua utilização sem interferir na aparência ou no aroma dos produtos. Conforme apontado por Sapelli et al. (2020), tais atributos ampliam o potencial do amido de mandioca em embalagens biodegradáveis.

Nunes e colaboradores (2017), comprovaram a efetividade do revestimento a base de amido de mandioca na manutenção das características sensoriais e, em concentração de 2,0 %, foi capaz de minimizar a perda de massa, promover o aumento de vitamina C e elevar a vida útil de mamão ‗Formosa'. Contudo,visando uma maior usabilidade de filmes e revestimentos, eles podem ser incorporados com substâncias antimicrobianas, tais como ácido málico e óleos essenciais de canela, palma rosa e capim-limão, criando outra barreira no alimento e, consequentemente, mantendo-o mais seguro durante o armazenamento (Sapelli et al., 2020).

3.8 Antimicrobianos Naturais

A adição de conservadores aos alimentos é uma das técnicas de conservação mais simples e antigas utilizadas para prolongar a sua vida útil. Atualmente, a conservação do queijo é muitas vezes realizada empregando-se aditivos químicos (sintéticos) ou biológicos (naturais). Essas substâncias são adicionadas ao queijo para evitar defeitos causados por microrganismos, prolongar a vida útil, melhorar suas propriedades físicas e composição química,e preservar seu valor nutricional (Nájera et al., 2021).

No entanto, dada a atual preferência dos consumidores por alimentos naturais, a investigação tem-se centrado em novos materiais comestíveis contendo compostos ativos naturais, com propriedades antioxidantes e antimicrobianas. Olivo et al (2020), entendem por antimicrobianos, substâncias capazes de inibir ou destruir microrganismos (como bactérias, fungos, vírus e protozoários), e que, quando provenientes ou encontradas naturalmente (em plantas, animais ou microrganismos) classificam-se como naturais.

A este respeito, uma atenção significativa tem sido dirigida aos produtos à base de plantas como fontes de antioxidantes e antimicrobianos para produtos lácteos, embora a biodisponibilidade, os benefícios para a saúde, a toxicidade em altas concentrações e os aspectos sensoriais devam ser levados em consideração (Nikoo; Regenstein; Ahmadi, 2018).

3.8.1 Curcumina

A curcumina é um composto bioativo extraído do rizoma da cúrcuma (*Curcuma longa*), membro da família *Zingiberaceae*cultivada em regiões tropicais e subtropicais ao redor do mundo e popularmente chamado de açafrão da Índia Figura 4. Quimicamente é um diarilheptanóide e compreende dois anéis aromáticos com dois grupos hidroxila e dois grupos metoxila. A cadeia de carbono insaturada alifática, com dois grupos carbonila centrados em C-3 e C-5, junta-se ao anel fenólico (ABD El-Hack et al., 2021).

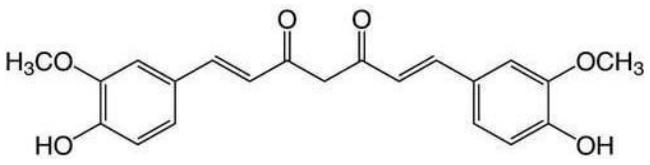
Figura 4- Açafrão da Índia (*Curcuma longa* L.).

Fonte: Soares (2023) adaptado de Collino (2014).

O rizoma na qual a curcumina é extraída, é amplamente utilizado como tempero, erva medicinal tradicional, corante alimentar natural, aditivo (E100), ingrediente em suplementos alimentares, antioxidante natural e é utilizado como aromático (Kocaadam; Sanlier, 2017).

A Figura 5, possui compostos bioativos denominados curcuminóides, principais ingredientes ativos, sendo a curcumina a mais abundante. Kodaadam e Sanlier (2017), demonstraram propriedades antitumorais, antioxidantes, antimicrobianas e anti-inflamatórias tanto em estudos in vitro quanto in vivo dos curcuminóides. A Organização Mundial da Saúde (OMS) considera a ingestão diária aceitável de curcuminóides como aditivo alimentar está na faixa de 0 a 3 mg/kg (Papillo et al., 2019).

Figura 5-Estrutura química da curcumina (enol).



Fonte: Soares (2023) Adaptado de Bastos et al. (2009).

Aplicações tecnológicas de compostos bioativos têm sido estudadas com vários propósitos, dentre os quais, introduzir novos produtos no mercado. Neste sentido, a curcumina já foi empregada em microcápsulas, pães e filmes e revestimentos comestíveis (Soares, 2023).

Em vista disso, um estudo conduzido por Xin e colaboradores (2020), produziram um filme de zeína misturada com amido de batata e de quitosana incorporada com curcumina e observaram que os filmes contendo curcumina retardaram as alterações físico-químicas nos filés de *Schizothoraxprenati*e, prolongaram sua vida útil em até 15 dias e garantiram maior estabilidade durante armazenaemto.

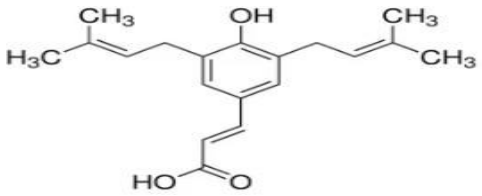
3.8.2 Própolis

A própolis é uma mistura complexa de materiais resinosos e balsâmicos coletados de ramos, flores, pólen, brotos e exsudatos de árvores, transformados pelas abelhas por meio de enzimas e secreções salivares (P et al., 2002). Nas colmeias, é utilizada para proteger contra insetos e microrganismos, recobrir paredes, reforçar favos, vedar fissuras, restringir a entrada de invasores e embalsamar animais mortos, além de preparar locais assépticos para a postura da rainha (Mariano, 2014). Atuando como um antibiótico natural, a própolis previne infecções e epidemias, garantindo a saúde da colônia.

A própolis produzida no Cerrado brasileiro, que tem como principal fonte vegetal a espécie *Baccharisdracunculifolia* D.C. (alecrim) (Bastos et al., 2000; Bastos, 2001), é conhecida, internacionalmente, como própolis verde ou própolis brasileira e é rica em derivados prenilados do ácido-p-cumárico (Marcucci; Bankova, 1999).

A própolis possui composição química complexa, formada principalmente por resinas (50%), ceras (30%), óleos vegetais (10%), pólen (5%) e outros compostos orgânicos (5%) (Gómez-Caravacaet al., 2006). É formada por mais de 150 compostos, destacando-se entre eles, os flavonóides, grupo de substâncias ao qual são atribuídas propriedades antimicrobianas. O principal flavonóide característico da própolis verde é o artepillin C cuja estrutura encontra-se representada na Figura 6.

Figura 6- Estrutura química de artepillin C.



Fonte: Adaptado do autor (2025)

Diversos estudos (Banskota et al., 1998; De Melo, 2021; Kimoto et al & Picoli et al, 2016), evidenciam a atividade antimicrobiana da própolis contra bactérias, fungos e vírus. A esse respeito, Vargas et al. (2004) avaliaram a ação antibacteriana *in vitro* de uma solução alcoólica de própolis a 50%, obtida de apiários comerciais em Santa Maria (RS), sobre 161 isolados bacterianos. Desses, 109 amostras (75 Gram-positivas e 34 Gram-negativas) foram sensíveis ao extrato. Entre as Gram-positivas, *Nocardia asteroides* teve 100% de sensibilidade, seguida por *Staphylococcus* spp. (97,83%), *Streptococcus* spp. (80,95%) e *Rhodococcusequi* (80%).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Universidade Federal de Lavras (UFLA) nos Departamentos de Ciência dos Alimentos (DCA) e Ciências Florestais (DCF). A preparação das soluções filmogênicas, elaboração dos filmes e aplicação dos revestimentos nos queijos foi realizada no Laboratório de Leite e Produtos Láteos. A quantificação de fenólicos totais e atividade antioxidante da curcumina e da própolis foi realizada no Laboratório de Frutas e Vegetais. As análises microbiológicas dos queijos foram realizadas no Laboratório de Microbiologia. Os parâmetros de cor e textura foram analisados no Laboratório de Análises Químicas e Físicas de Alimentos. As propriedades de barreira a vapor de água, degradação em solo e degradação em água foram avaliadas no Laboratório de Embalagem. No Laboratório de Biomateriais foram analisados os parâmetros reológicos (Viscosidade e Viscoelasticidade) das soluções filmogênicas e a medição do ângulo de contacto dos filmes.

4.1 Materiais

Para a realização do estudo, foram usados como materiais: Queijo do tipo minas padrão (fornecido pelo Laboratório de Leite e Produtos Láteos do Departamento de Ciência dos Alimentos da Universidade Federal de Lavras). Amido de mandioca (LOREZ 520), Isolado protéico de soro de leite (Protesa e Industria de Nutricionais LTDA) 93% de pureza, glicerina PA, curcumina (ML) 95% de pureza, própolis e extrato etanóico de própolis 35% (Apiário Paraiso), foram adquiridos no comércio. Cepa de *Listeria monocytogenes* (foi cedida pelo Laboratório de Microbiologia do Departamento de Ciência dos Alimentos da Universidade Federal de Lavras).

4.2 Quantificação do teor de fenólicos totais e da atividade antioxidante da curcumina e da própolis, e avaliação da atividade antimicrobiana in *vitro contra Listeria monocytogenes*

4.2.1 Fenólicos totais e atividade antioxidante

O teor de fenólicos totais foi determinado utilizando o ensaio de Folin-Ciocalteau (PARADISO et al., 2018), com algumas alterações. Em cada poço de uma microplaca de 96 poços, fundo chato, 30 µL do extrato foram misturados com 150 µL do reagente Folin-ciocalteau a 10 % (v/v). Após quatro minutos, foram adicionados 120 µL de uma solução de carbonato de sódio a 4 % (p/v). Essa mistura reacional foi incubada durante 2 h ao abrigo da luz e o teor de fenólicos totais foi determinado a 720 nm utilizando um leitor de microplacas (EZ Read 2000, Biochrom®). O cálculo do teor de fenólicos foi realizado a partir da equação da reta obtida da curva padrão de ácido gálico. Os resultados foram expressos em miligrama de equivalente de ácido gálico (GAE) por grama de amostra de amostra fresca.

A atividade antioxidante foi determinado de acordo com Prieto, Pineda e Aguilar (1999) com algumas adaptações. Foram pipetados 50 µL do extrato da amostra mais 450 µL de água destilada, mais 1,5 mL do complexo fosmolidênio em tubos com tampas rosqueáveis, os quais foram fechados e agitados, levados a banho-maria a 95ºC por 90 minutos, esfriado em banho de gelo e lidos em espectrofotômetro a 695 nm. A vitamina C foi usada pra Para a construção da curva. Os resultados obtidos forma expressos em mg de ácido ascórbico por 100 g de amostra.

4.2.2 Atividade antimicrobiana

Para a avaliação da eficiência antimicrobiana da curcunina e do extrato etanólico de própolis, determinou-se inicialmente de forma isolada a concentração mínima bactericida utilizando a técnica de microdiluição em microplacas (Lotfia et al., 2018). Para tal, a curcumina pura solubilizada em Dimetilsulfóxido (DMSO) 100% e extrato etanólico de própolis foram diluídos em caldo triptona de soja, adicionado de 0,6% (m/v) de extrato de levedura e 0,5% (v/v) de Tween 80 (TSB + extrato de levedura e Tween 80), para obter concentrações iniciais de 3 e 4% de curcumina e de extrato etanólico de própoli, respetivamente. Em seguida uma cultura ativada em TSB +0,6% de extrato de levedura a 37°C por 24h, de *Listeria monocytogenes* foi padronizada utilizando a escala de McFarland, no padrão 0,5, aproximadamente 1 a 2 × 10^8 UFC/mL. Posteriormente, à cada micropoço adicionou-se 150µL de meio de cultura (TSB+0,6% de eextrato de levedura + 0,5% de Tween 80) e o mesmo volume da solução dos compostos no primeiro poço, realizando-se a diluição seriada ao longo das linhas da placa para criar uma série de concentrações decrescentes, seguida da adição de 10µL da suspensão bacteriana. Paralelamente foram incluídos controles de crescimento, de esterilidade e do etanol para garantir a validade do ensaio. As microplacas foram incubadas a 35–37 °C por 24 horas sob condições aeróbias. Após a incubação, alíquotas dos poços sem crescimento visível foram plaqueadas em ágar triptona de soja (TSA) adicionado de 0,6% deextrato de levedura e incubadas a 37°C por 24 horas. A CMB foi definida como a menor concentração de curcumina ou própolis na qual não foi observado formação de colônia viável no meio sólido.

Após a determinação da concentração mínima bactericida, um Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) foi conduzido a fim de determinar a melhor combinação bactericida (Curcumina / extrato etanólico de própolis) em concentrações mínimas a partir dos valores de CMB individuais inicialmente fixados. A Tabela 4, apresenta a matriz do DCCR com os valores codificados das variáveis independentes.

Tabela 4- Matriz do DCCR com valores codificados das variáveis independentes.

Ensaios	**Curcumina** (mg/mL)	**Própolis** (mg/mL)
1	-1	-1
2	+1	-1
3	-1	+1
4	+1	+1
5	-1,41	0
6	+1,41	0
7	0	-1,41
8	0	+1,41
9	0	0
10	0	0
11	0	0

Fonte: Do Autor (2025)

4.3 Preparação e caracterização das soluções filmogênicas

As soluções filmogênicas de amido de mandioca (S1) e proteína do soro de leite (S3) foram preparadas segundo Leão et al. (2020) e Ramos et al. (2012) com modificações. Inicialmente, duas soluções filmogênicas foram preparadas separadamente, sendo uma de proteína do soro de leite e outra de amido de mandioca, e posteriormente combinadas na proporção de 1:1, resultando na terceira solução filmogênica (S2). A solução filmogênica de proteína do soro de leite foi obtida, diluindo-se 5g de proteína do soro em 100mL de água destilada a 40°C. Em seguida foi adicionado glicerol à solução (PS/Água) numa proporção de 1:2 (m/m de base protéica) e o pH foi ajustado para 7,0 com NaOH (0,1 N). A solução resultante foi submetida a agitação magnética durante aproximadamente 2 horas. Posteriormente, a solução foi aquecida por 20 minutos em banho-maria a 80 ± 2°C sobagitação contínua. A solução filmogênica de amido de mandioca foi obtida adicionando 3g de amido em 100 mL de água destilada e 1,02 de glicerol (como plastificante) em relação a massa da macromolécula de amido. A solução foi preparada em banho-maria a 85 ºC até a gelatinização total.

4.3.1 Propriedades Reológicas das soluções filmogênicas

Os ensaios reológicos em cisalhamento constante e em cisalhamento oscilatório das soluções filmogênicas foram realizados em um viscosímetro, utilizando geometria do tipo placas paralelas ranhuradas (40 mm) conforme Albano e Nicoletti (2019). As amostras foram inseridas no reômetro com auxílio de uma pipeta Pasteur e o sistema permaneceu em equilíbrio por dois minutos para a amostra atingir a temperatura de medição. Após o equilíbrio, as medições reológicas foram iniciadas.

O comportamento reológico das soluções filmogênicas foi avaliado obtendo-se curvas de tensão cisalhamento em função da taxa deformação a partir de duas rampas, sendo a primeira rampa ascendente (0,1 a 100 s^{-1}) e a segunda rampa descendente (100 a 0,1 s^{-1}) a 25 ± 2ºC. O modelo Lei da Potência (Equação 1) foi ajustado aos dados para obtenção dos parâmetros reológicos *K* e *n* proporcionando a obtenção das curvas de viscosidade aparente × taxa de deformação (Equação 3.2), os quais foram correlacionados em função da composição de cada sistema.

$$\tau = K\gamma^{n} \qquad (3.1)$$

$$\eta ap = K\gamma^{n-1} \qquad (3.2)$$

Onde: τ - tensão de cisalhamento (Pa). K - índice de consistência ($Pa.s^n$). $\dot{\gamma}$ - taxa de deformação (s^{-1}).

n – Índice de comportamento de fluxo

ηap - Viscosidade aparente (Pa.s)

As propriedades viscoelásticas das soluções filmogênicas foram avaliadas por uma varredura em deformação crescente (1^{-5} a 100) para verificação da região de viscoelasticidade linear (RVL), mantendo-se a frequência de oscilação constante em 1 rad/s a 25 ± 2ºC.

4.4 Elaboração e caracterização dos filmes

Os filmes foram produzidos segundo a técnica de casting. As soluções filmogênicas obtidas de acordo com a seção 3.3, foram previamente desaeradas sob vácuo, a fim de evitar a formação de pequenas bolhas que possam formar pequenos furos nos filmes acabados. Posteriormente, foram adicionados 25 mL de cada solução filmogênica em placas de Petri de poliestireno de 15 mm de diâmetro e levadas a estufa à temperatura 33ºC com circulação de ar forçado (ELKA, Alemanha), por 12 h. Por fim, os filmes foram retirados das placas de Petri e armazenados a 20°C em dessecador (50% UR). Os filmes obtidos foram caracterizados à permeabilidade a vapor de água, degradação em água, degradação em solo e ângulo de contato.

4.4.1 Barreira a vapor de água

A propriedade de barreira a vapor de água do filme foi avaliada inserido o filme em formato circular (diâmetro médio de 50 mm). As amostras foram inseridas em cápsulas contendo sílica seca em ¾ de seu volume e as cápsulas foram inseridas em dessecador contendo solução saturada de cloreto de potássio (KCl) a 38 °C objetivando obter um ambiente com umidade relativa de 90 %. O peso das capsulas foram verificados no inicio da análise e por 8 dias consecutivos e foi calculado a taxa de transmissão de vapor de água (WVTR) e a permeabilidade ao vapor de água (WVP) através das Equações 3 e 4.

$$WVTR\ \left(\frac{g}{m^2\ day}\right) = \frac{w}{t\ \times A} \quad (3)$$

$$WVP\ \left(\frac{g\ mm}{kPa\ day\ m^2}\right) = \frac{WVTR\ \times e}{p \times (UR_f - UR_d)} \quad (4)$$

Onde w é a massa da cápsula preenchida por sílica seca (g), té o tempo (dias), A é a área exposta da amostra (m^2), e é a espessura do filme em mm, p é a pressão de vapor de água (kPa) e $UR_f - UR_d$é a diferença entre a umidade externa e interna da cápsula a 38 °C.

Para determinação da degradação em água, um pedaço de filme com área superficial de 400 mm2 foi cortado e o peso seco inicial (P1) foi determinado após secagem por 24 horas a 45 °C em estufa até que o peso permanecesse constante. Os filmes secos foram então imersos em 20 mL de água deionizada e submetidos à misturaa temperatura ambiente. Após 24 h, os filmes foram removidos e o excesso de água foi enxugado suavemente com papel filtro. Posteriormente, as amostras foram aquecidas novamente (45 °C por 24 h) até que o peso permanecesse constante e o peso seco final (P2) foi determinado com aproximação de 0,0001 g. A porcentagem da solubilidade em água das amostras de filme foi determinada de acordo com a Equação 3.5. (Lotfiaet al., 2018; Apoud; Al-Naamani, Dobretsov, &Dutta, 2016):

Degradação em água (%) = [(P1-P2)/P1] × 100 (3.5)

4.4.2 Degradação em solo

Os filmes foram submetidos ao ensaio de degradação por enterro em solo, utilizando solo superficial previamente peneirado (malha de 2 mm) e caracterizado quanto ao pH e umidade. Amostras dos filmes (30 × 30 mm), previamente condicionadas (23 ± 2 °C; 50 ± 5% UR) e com massa inicial determinada após secagem a 40 °C até peso constante, foram enterradas individualmente a 2–3 cm de profundidade em recipientes contendo solo mantido a 30–60% de umidade em condições aeróbias e temperatura ambiente. Após 21 dias os filmes foram recuperados cuidadosamente, limpos com pincel macio para remoção de solo aderido,

lavados rapidamente em água deionizada, secos novamente a 40 °C até peso constante e resfriados em dessecador para determinação da massa final. A perda de massa relativa foi calculada pela diferença entre a massa inicial e a massa remanescente, expressa em porcentagem.

4.4.3 Ângulo de contato

O ângulo de contato dos filmes foi realizado utilizando um goniômetroDSA30 (Hamburgo, Alemanha). Para isso, amostras de filmes com dimensões 10 × 100 mm foram fixadas em lâmina de vidro e inseridas na base do sistema de aquisição de imagens do equipamento. Uma gota de água destilada foi inserida sobre a face superior e inferior dos filmes e após 5 s foi realizado o calculado do ângulo de contato médio.

4.5 Revestimento e inoculação dos queijos

Primeiramente, Revestimentos foram obtidos adicionando-se curcumina (0,68%) e própolis (0,9%) às soluções filmogênicas. Os queijos foram revestidos por imersão. Antes dos revestimentos os queijos foram imersos em salmoura 20% (m/v) de Cloreto de Sódio (N_aCl) inoculada com *Listeria monocytogenes.* Cada pedaço de queijo foi imerso em solução filmogênica antimicrobiana por 20 segundos e em seguida posto para secagem em peneira para ser armazenado em refrigeração (Fakhouriet al., 2007). Antes da imersão, os queijos foram padronizados em tamanho e forma, divididos em 4 tratamentos, sendo Qc (Queijo não revestido), Q1, Q2 e Q3, queijos revestidos com evestimentos de amido, amido + CPS e CPS respetivamente. Após o revestimento, os queijos foram acondicionados em refrigeração (12 $\pm 2^oC$) em bandeja até o final do experimento.

O período de maturação foi de 21 dias, após esse período, três amostra de cada tratamento foram avaliadas quanto à perda de massa, pH, atividade de água e umidade. A cor e textura foram avaliadas em 7; 14 e 21 dias. A contagem de *Listeria monocytogenes*foi realizada no primeiro, sétimo e décimo-quarto dia.

4.5.1 Perda de massa

A perda de massa das amostras foi determinada pela diferença de massa obtida pela pesagem dos queijos em balança semi-analítica (Ohaus Adventurer ACR 120, Nova Jersey, EUA) ao longo do período de armazenamento. Esse procedimento permitiu quantificar com precisão a redução de peso das amostras em função do tempo. As medições foram realizadas em intervalos regulares. Os dados obtidos foram posteriormente utilizados na Equação 3.6 para cálculo da perda percentual.

$$perda\ de\ massa\ (\%) = \frac{massa\ inicial - massa\ final}{massa\ inicial}\ x\ 100 \qquad (3.6)$$

4.5.2 pH, umidade e aw

O pH foi determinado pelo método potenciométrico, com pH-metro de bancada modelo Q400AS®, calibrado com soluções tampão de pH 4,0 e 7,0. O teor de umidade foi determinado em triplicata por secagem em estufa (100-102°C) conforme método gravimétrico.

A atividade de água dos queijos foi determinada em triplicata a 25 ± 0,2 °C utilizando medidor por ponto de orvalho AquaLab®, previamente calibrado com soluções padrão de sais higroscópicos (aw conhecidas, cobrindo a faixa 0,25-0,95). Amostras retiradas do terço central de cada peça foram homogeneizadas com faca inoxidável, evitando incorporação de ar, aproximadamente 5-7 g foram colocados em cápsulas apropriadas, sem tocar as bordas, preenchendo aproximadamente dois terços do volume, e imediatamente tampadas para minimizar perdas de umidade. As cápsulas foram inseridas no equipamento, aguardando a estabilização do sinal (variação menor a 0,001 por 60 s) antes do registro. Entre leituras, a câmara foi limpa e seca, controles internos (padrões) foram medidos no início e ao final da sequência para verificação da deriva. Resultados foram expressos como aw a 25 °C.

4.5.3 Cor

As propriedades de cor dos queijos foram medidas usando um colorímetro (Minolta). Com uma placa branca como referência de calibração, uma quantidade de amostra foi colocada em um prato de vidro redondo para determinar as propriedades de cor, incluindo luminosidade (L*), vermelho (a*) e amarelo (b*). A diferença de cor entre as amostras foi quantificada.

4.5.4 Textura

A textura das amostras de queijo foi avaliada com o analisador de textura TA. XT Plus (Stable Micro Systems, Surrey, UK) usando o teste Texture Profile Analysis (TPA).Três testes de compressão dupla foram realizados por triplicata de queijo em locais aleatórios com um êmbolo cilíndrico de 6,3 mm a uma velocidade de penetração constante de 2 mm/s e força de disparo de 0,1 g. O software (Texture Expert for Windows v. 1.20, Stable Microsystems) converterá as leituras de deformação.

4.5.5 Quantificação de *Listeria monocytogenes* nos queijos

O efeito dos tratamentos sobre *Listeria monocytogenes* foi avaliado por sua contagem em placas durante o período de armazenamento. Amostras de 25g de queijo foi cortada assepticamente de cada triplicata em formato triangular para conter intencionalmente todas as superfícies e a parte central do queijo. As amostras foram colocadas em saco Stomacher estéril (VWR Blender bag, Radnor, PA), diluídas (1:10, peso/vol) em solução de ringer estéril

(Merck, Darmstadt, Alemanha) e homogeneizadas com homogeneizador Stomacher 400 (Seward, West Sussex, Reino Unido) por 2 min. Diluições decimais foram preparadas de acordo com ISO 6887–5 (ISO, 2010) com solução de ringer estéril, plaqueadas em ágar Palcam, e enumeradas após incubação a 37±1 ^{o}C por 24h.

4.6 Análise estatística

Para a comparação das médias entre os tratamentos em relação aos resultados obtidos nas análises, ANOVA e teste de Tukey foram empregados, utilizando XLStat®programs. O software Protimiza Experimental Design®2015 foi utilizado para o delineamento da análise da eficácia antimicrobiana. Toda a análise estatística foi realizada ao nível de 5 % de confiança ($\alpha = 0,05$).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Fenólicos totais, atividade antioxidante e atividade antimicrobiana da curcumina e propolis.

Os resultados apresentados na Tabela 5, indicam que a própolis apresentou maior teor de fenólicos totais (215,64±6,40 mg EAG/g; aproximadamente 1,268 mmol GAE/g) e maior atividade antioxidante do que a curcumina (197,26±4,50 mg EAG/g; aproximadamente 1,160 mmol GAE/g). Reexpressando a atividade em base comparável, os valores em mg EAA/100g foram convertidos para mg EAA/g e para µmol EAA/g (massa molar do ácido ascórbico igual a 176,12 g/mol): 24,05±0,38 mg EAA/g (aproximadamente 136,6 µmol EAA/g) para própolis e 14,63±0,50 mg EAA/g (aproximadamente 83,1 µmol EAA/g) para curcumina. Assim, embora a própolis supere a curcumina em apriximadamente 9–10% no teor de fenólicos totais, sua capacidade antioxidante é apriximadamente 60–65% maior, sugerindo que diferenças qualitativas do perfil fenólico amplificam a resposta além da quantidade total.

Tabela 5- Fenólicos totais e atividade antioxidante de curcumina e propolis.

Tratamento	**Fenólicos totais** (mg EAG/g)	**Atividade antioxidante** (mg EAA/100g)
Curcumina	197,26 ± 4,50 [b]	1463,03 ± 49,99[b]
Própolis	215,64 ± 6,40 [a]	2405,09 ± 38,40 [a]

Valores·apresentados·como·médio·±·desvio-padrão; letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas entre tratamentos ($p < 0,05$).

Em própolis verde, Fonseca, Gonçalves & Corrêa (s.d., IFSULDEMINAS) reportaram IC_{50} (DPPH) igual a 29,14 µg/mL e fenólicos totais = 7,2 mg EAG/g; apesar da diferença de métrica (IC_{50}, inversa de atividade) e de base (amostra/extrato), o perfil de alta potência antioxidante é compatível com a superioridade observada aqui para a própolis. Estudos que comparam locais de coleta também mostram grande variabilidade: Da Costa et al. (2016) encontraram, para própolis de savana em Roraima, 40,89 mg EAG/g e 85,89 µmol TE/g (DPPH), versus 27,01 µmol TE/g em área de floresta, destacando o papel da origem botânica/quimiotipo. Em linha, Salgueiro & Castro (2016) descrevem diferenças de composição e capacidade antioxidante entre extratos de própolis verde obtido por solventes distintos, explicando parte das discrepâncias numéricas entre estudos. Além disso, a literatura atribui a variação composicional ao tipo de própolis e à flora dominante, reforçando que a qualidade (não apenas a quantidade) do pool fenólico determina a resposta antioxidante. (Salatino et al., 2005; Kurek-Górecka et al., 2014).

No delineamento composto central rotacional (DCCR), Tabela 6, diversas combinações de curcumina e própolis abaixo das CBM individuais (curcumina = 1,5% e própolis = 2,0%) levaram à inibição total do crescimento.

Tabela 6- Atividade antimicrobiana da curcumina e própolis.

Ensaios	**Curcumina** (%)	**Própolis** (%)	**Crescimento Microbiano**
1	0,53	0,71	+
2	0,53	1,12	-
3	0,84	0,71	-
4	0,84	1,12	-
5	0,47	0,92	+
6	0,91	0,92	-
7	0,69	0,62	+
8	0,69	1,21	-
9	0,69	0,92	-
10	0,69	0,92	-
11	0,69	0,92	-

Os sinais (+) e (-) indicam respectivamente, crescimento e ausência visível em placas de colónias de *Listeria monocytogenes*

Observaando o Sinergismo (Índice de Concentração Inibitória Fracionária (FICI) ≤ 0,5); aditivo (0,5-1); antagonismo (1-2), os pontos inibitórios no DCCR ficaram predominantemente em adição (aproximadamente 0,9 a 1,1), sem evidências de antagonismo e tampouco de sinergismo estrito (FICI ≤ 0,5). Em termos práticos, isso indica que a combinação ampliou o espectro/robustez da inibição a partir de fracções subinibitórias de cada agente, mas o ganho além da soma dos efeitos isolados foi modesto. Estudos confirmam que sinergias mais fortes emergem quando os mecanismos são complementares, enquanto combinações de agentes com alvos/mecanismos sobrepostos tendem a adição, cenário compatível com curcumina + própolis no DCCR.

À luz da literatura sobre própolis, extratos etanólicos 80% de abelhas sem ferrão exibem concentrações bactericidas mínimas (CBM) baixas contra gram-negativas como E. coli (CBM = 10,9 µg/mL para *Melipona quadrifasciata e Tetragonisca angustula*) e valores

mais elevados para alguns alvos, com Listeria monocytogenes frequentemente requerendo ≥349 µg/mL, enquanto plebeia droryana pode demandar CBM de 87,3 µg/mL para E. coli. Esses resultados, obtidos por Schreiner (2022), evidenciam sensibilidade espécie-dependente e forte influência do solvente (maior atividade com 80% etanol).

Para a curcumina, Santos (2015) mostrou que a microcristalização reduz a concentração inibitória mínima (CIM) frente a vários microrganismos: *S. aureus* (500 a 250 µg/mL), *E. coli* (250 a 125 µg/mL), *P. aeruginosa* (250 a 125 µg/mL) e manutenção para *B. cereus* (125 µg/mL). Considerando essas faixas, as doses totais aplicadas no DCCR (10,94-15,31 µL/mL) situam-se em patamar compatível com os limiares bactericidas relatados para própolis e com os limiares inibitórios para curcumina microcristal, sustentando a plausibilidade de efeito bactericida nas combinações para alvos mais suscetíveis e resposta mais modesta em microrganismos intrinsecamente mais tolerantes. Diferenças entre estudos e entre pontos do DCCR são justificadas por quimiotipo e espécie de abelha, polaridade do solvente (20% vs 80% etanol) e protocolo microbiológico adotado, fatores que modulam tanto as CBM/CIM quanto a eficácia observada.

5.2 Comportamento reológico das soluções filmogênicas

Na Tabela 7, observa-se que o modelo lei da potência apresentou um bom ajuste aos dados com valores de R^2 = 1,0 e RMSE ≤ a 0,14. Analisando o índice de consistência dos fluidos (*k*) nota-se que S3 formou a solução filmogênicas mais viscosa, sendo o tratamento S1 o que apresentou maior valor de K e consequentemente é o tratamento que oferece mais resistência ao escoamento. Quanto ao índice de comportamento de fluxo observa-se que todos os tratamentos apresentaram valores de *n* inferiores a 1, comportamento característico de fluido pseudoplástico.

No entanto, nota-se que o valor de *n*de S3 aproxima-se a 1, o que caracteriza um comportamento próximo ao Newtoniano. Todas as soluções filmogênicas apresentaram diferença significativa entre si.Os perfis de escoamento aqui observados, com S1 exibindo afinamento por cisalhamento marcado, S2 um afinamento intermediário e S3 um comportamento quase newtoniano, são consistentes com respostas descritas para misturas biopoliméricas.

Em sistemas proteína–polissacarídeo diluídos (WPC:pectina), Albano &Telis (2015) mostraram que o modelo Lei da Potência se ajusta muito bem ($R^2 \approx 0,9$), com comportamento pseudoplástico (n<1), mas n próximo de 1 (tendência ao Newtoniano) e índice de consistência baixo; além disso, não houve tixotropia mensurável entre as rampas de escoamento, e a sonicação reduziu tensões de cisalhamento ao diminuir o tamanho de partículas. Esses

resultados refletem uma microestrutura pouco estruturada/miscível e ajudam a explicar um cenário como S3 (quase newtoniano) quando a rede intermolecular é fraca e/ou a fase contínua é dominante.

Tabela 7- Parâmetros reológicos das soluções e filmogênicas ajustados ao modelo lei da potência.

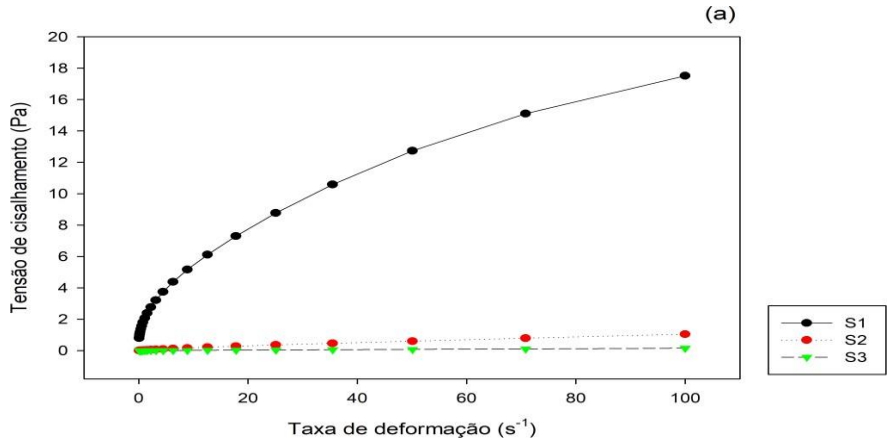
Tratamentos	**Lei da potência**			
	R^2	**RMSE**	***k***	***n***
S1	1,00	0,14	1,8483 ± 0,24 [a]	0,49 ± 0,07 [c]
S2	1,00	0,01	0,0283 ± 0,01 [b]	0,78 ± 0,03 [b]
S3	1,00	0,00	0,0016 ± 0,00 [c]	0,99 ± 0,00 [a]

Valores apresentados como médio ± desvio-padrão; S1,S2 e S3 representam soluções filmogenicas de amido, amido + CPS e de CPS, respetivamente, letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas entre tratamentos (p <0,05).

Ao analisar os gráficos da Figura 7, podemos concluir que a tensão de cisalhamento aumenta (a) e que a viscosidade diminui (b) à medida que a taxa de deformação aumenta em todos os tratamentos. Isso confirma o comportamento pseudoplástico das soluções filmogênicas.

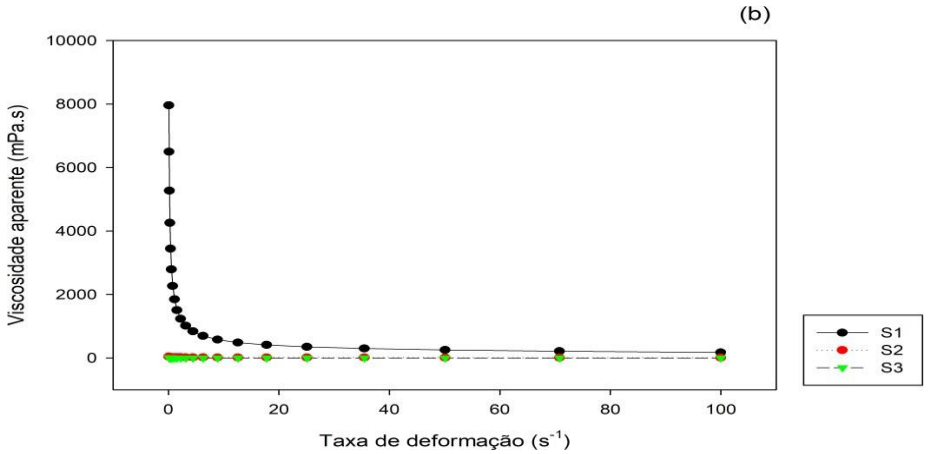
A Figura 7(a) mostra que a tensão de cisalhamento (τ) aumenta com a taxa de deformação ($\dot{\gamma}$) para os três sistemas, porém com magnitudes e curvaturas distintas: S1 apresenta crescimento fortemente não linear (côncavo) ao longo de 0–100 s^{-1}, indicando regime pseudoplástico com alta consistência (maiores valores absolutos de τ); S2 exibe tensões intermediárias e variação moderadamente não linear (pseudoplasticidade mais branda); S3 mantém tensões muito baixas em todo o intervalo, com traço próximo ao comportamento Newtoniano.

Figura 7-Curvas de fluxo: (a) Relação entre a tensão de cisalhamento e taxa dedeformação das diferentes soluções filmogênicas



S1-Solução filmogênicas á base de amido de mandioca; S2-Solução filmogênica à base de amido + concentrado proteico de soro de leite (CPS); S3- à base de CPS

Figura 7- Curvas de fluxo: (b) Relação entre a viscosidade aparente e taxa de deformação das diferentes soluções filmogênicas.



S1-Solução filmogênicas á base de amido de mandioca; S2-Solução filmogênica à base de amido + concentrado proteico de soro de leite (CPS); S3- à base de CPS.

Em coerência, a Figura 7 (b) evidencia a viscosidade aparente (ηa), S1 sofre afinamento pronunciado por cisalhamento (queda de aproximadamente duas ordens de grandeza entre baixas e altas taxas), refletindo quebra/realinhamento de estrutura; S2 mostra afinamento moderado, com ηa discretamente decrescente; e S3 apresenta ηa quase constante (baixa e pouco dependente de $\dot{\gamma}$).

Tavares et al. (2018) explicam que esse comportamento pseudoplástico observado nos fluidos acontece porque as moléculas estão desordenadas quando em repouso. Ao aplicar estresse, elas começam a se organizar; portanto, quanto maior a tensão, maior a orientação das moléculas, resultando em uma diminuição da viscosidade.

O comportamento viscoelástico das soluções filmogênicas foi analisado por meio de varreduras de frequência e deformação, e os resultados são apresentados na Figura 8.

Figura 8 - Módulo elástico ou de armazenamento (G') e módulo viscoso ou de perda(G") em função da frequência angular (a) (rad.s-1) e em função da deformação de cisalhamento ou taxa de deformação (b).

a)

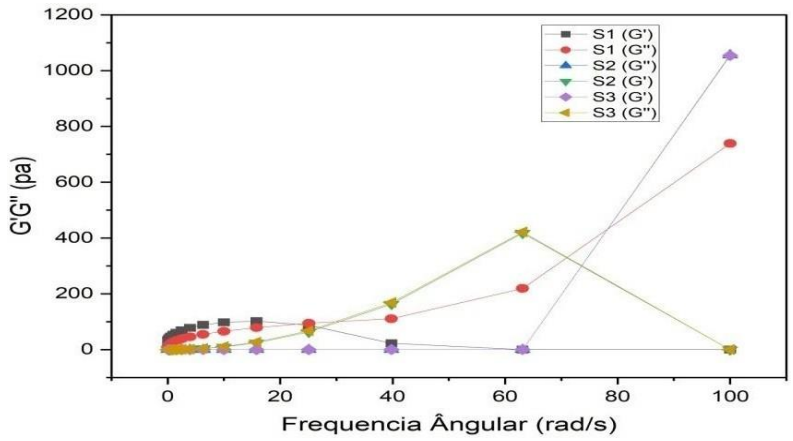
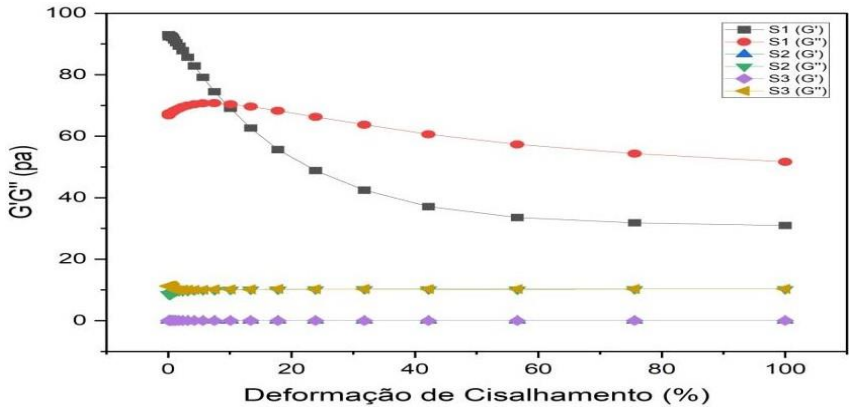


Figura 8- Módulo elástico ou de armazenamento (G') e módulo viscoso ou de perda (G'') em função da frequência angular (a) (rad.s-1) e em função da deformação de cisalhamento ou taxa de deformação (b).

(b)



S1(G′ e G″), S2(G′ e G″) e S3 (G′ e G″) são módulos de perda e de armazenamento de soluções filmogênicas de amido, amido + concentrado proteico de soro de leite, e de concentrado proteico de soro de leite, respetivamente.

Na varredura de frequência, Figura 8 (a) os três sistemas exibem resposta viscoelástica típica de dispersões poliméricas: S1 mantém G′ e G″ crescentes com ω, com predominância elástica (G′ ≥ G″) em ampla faixa, denotando uma rede mais coesa; S2 apresenta incremento acentuado de G′ em altas frequências, superando G″ e evidenciando caráter mais sólido sob excitações rápidas; S3 permanece com módulos baixos e pequena separação entre G′ e G″, compatível com estrutura fraca e aproximação ao comportamento Newtoniano. As medições foram conduzidas dentro da região viscoelástica linear definida para os sistemas, assegurando interpretação de G′/G″ sem efeitos de não linearidade de amplitude.

Na varredura de deformação, Figura 9, (b) S1 evidencia um platô elástico em baixas deformações seguido de amolecimento (queda de G′ > G″) com o aumento da deformação, indicando ruptura progressiva da microestrutura; S2 mostra módulos muito menores, com G′ apenas ligeiramente acima de G″, sugerindo rede pouco conectada; S3 mantém G′ e G″ baixos e quase paralelos, reforçando seu estado fraco/fluido. O padrão observado (maior G′/G″ para sistemas mais estruturados) é coerente com achados de bionanocompósitos de amido em que a intensificação de rede eleva G′ e inverte a dominância viscosa (G″ > G′) para elástica (G′ > G″) nas varreduras oscilatórias.

Como justificativa mecanística, Santos et al. (2025) mostram que o reforço estrutural em sistemas amido-baseados aumenta a resistência a deformações e tensões aplicadas, expresso por G′ > G″ e maior suporte a tensões sem grande deformação, o que se alinha ao comportamento mais ―gel-like‖ de S1 e ao crescimento de G′ em S2 sob altas frequências. Em

contraste, soluções protéico-polissacarídeo miscíveis e diluídas podem não apresentar espectros mecânicos robustos e tender ao Newtoniano (k baixo; n→1), cenário compatível com a baixa magnitude de G′/G″ observada para S3.

5.3 Caracterização dos filmes

Os resultados apresentados na Tabela 8, mostram em relação à barreira a vapor de água, que os filmes diferiram significativamente (p<0,05, F1 apresentou menor WVP (3,48 ± 0,38 g·m^{-2}·dia^{-1}; —c‖) que F2 (5,00 ± 0,12; —b‖) e F3 (CPS) (7,40 ± 1,12; —a‖). A ordem F1 < F2 < F3 indica que a matriz amilácea forma rede mais compacta, enquanto a presença e o predomínio de proteína sérica aumentam a hidrofilicidade e o volume livre, facilitando a difusão de vapor.

Na literatura, reduções de WVP em filmes de amido ocorrem quando a microestrutura é tornada mais tortuosa/compacta por reforços como PVA+montmorilonita ou por redes polissacarídicas coesas (pululana/celulose bacteriana), ambos os casos diminuem a permeabilidade ao vapor em relação ao amido simples, por encurtar a mobilidade de água na matriz. O comportamento observado (WVP: F1 < F2 < F3) é, portanto, consistente com maior continuidade da fase hidrofílica proteica e menor tortuosidade em F3, intermediária em F2.

Quanto a degradação em água, valores percentuais diferiram significativamente, com F3 (52,52 ± 1,11%) maior que F2 (46,46 ± 0,91%) próximo a F1 (44,72 ± 3,00%). A maior degradação aquosa do filme proteico (F3) é compatível com maior solubilidade da rede quando a fração proteica domina; a mistura F2 eleva a hidrofilicidade face a F1, mas preserva coesão do amido. Em concordância, o aumento de componentes hidrofílicos em filmes de amido (e glicerina como plastificante) eleva a solubilidade/extração aquosa, evidenciando a sensibilidade da matriz à presença de fases mais solúveis. Por outro lado, quando o amido é combinado com polissacarídeos estruturantes (pululana/celulose bacteriana), a rede resultante tende a reduzir a solubilidade e a permeabilidade, reforçando a importância do tipo de parceira polimérica na estabilidade em água.

Para a degradação em solo, observou-se F1 = 81,92 ± 0,01% (—a‖) > F2 = 80,44 ± 0,02% (—b‖) > F3 = 78,53 ± 0,06% (—c‖) (p<0,05). A maior biodegradação de F1 decorre da suscetibilidade do amido ao ataque enzimático (clivagem glicosídica), enquanto o aumento de fração proteica reduz a disponibilidade de substrato amiláceo e pode elevar a coesão da rede, retardando a mineralização. Estudos com compósitos extrudados mostram que o aumento da fração de amido termoplástico acelera a perda de massa em solo ao longo do tempo, confirmando o papel do conteúdo amiláceo na biodegradação global do material, de modo geral, materiais com maior conteúdo de polímeros naturais e menor hidrofobicidade

degradam-se mais rapidamente, enquanto estruturas mais hidrofóbicas ou com maior grau de ligação reduzem a taxa de biodegradação .O gradiente F1 >F2 >F3 está, portanto, alinhado ao efeito composicional na biodegradação.

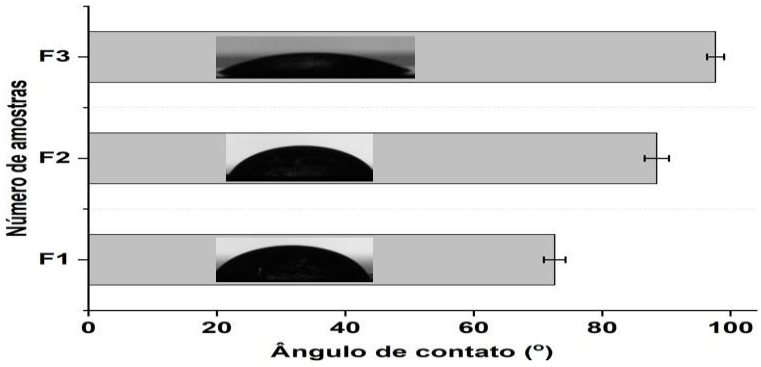
Tabela 8- Valores médios de permeabilidade ao vapor de água (WVP), degradação em água e degradação em solo dos filmes.

Tratamento	WVP (g/m^2.dia)	Degradação em água	Degradação em solo
F1	3,48 ± 0,38 ^{c}	44,72±3,00 ^{b}	81,92±0,01 ^{a}
F2	5,00 ± 0,12 ^{b}	46,46±0,91 ^{b}	80,44±0,02 ^{b}
F3	7,40 ±1,12 ^{a}	52,52±1,11^{a}	78,53±0,06 ^{c}

F1-Filme à base de amido de mandioca, F2-Filme à base de amido + concentrado proteico de soro de leite e F3-Filme concentrado proteico de soro de leite. Valoresapresentados como média ± desvio-padrão; letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas entre tratamentos (p< 0,05).

Pelo ângulo de contato estático (θ) Figura 9, os filmes apresentam três regimes de molhabilidade bem definidos: F1 ≈ 70° (hidrofílico; alta molhabilidade), F2 ≈ 90° (intermediário; molhabilidade moderada) e F3 ≈ 100° (hidrofóbico; baixa molhabilidade). Isso indica que a superfície de F1 (amido) é rica em grupos polares (OH) expostos, favorecendo espalhamento de água e adesão a substratos úmidos; a blenda F2 exibe caráter anfifílico (equilíbrio entre segmentos polares do amido e cadeias menos polares do CPS), e F3 (CPS) apresenta maior energia não polar na interface (provável segregação superficial de cadeias/ resíduos hidrofóbicos durante a secagem, reduzindo a afinidade por água). Importante notar que hidrofobicidade superficial não implica, por si, menor permeabilidade ao vapor: embora F3 tenha θ mais alto, no conjunto deste estudo ele exibiu WVP maior que F1 e F2; logo, a difusão de vapor foi dominada pela microestrutura de volume (livre/compactação da rede) e não pela energia superficial.

Figura 9 - Ângulo de contato estático (θ, °) dos filmes.



F1 (amido de mandioca), F2 (amido + concentrado proteico de soro – CPS) e F3 (CPS). As barras mostram a média e as hastes o desvio-padrão. Valores maiores de θ indicam menor molhabilidade/maior hidrofobicidade.

No presente estudo, o ângulo de contato apresentou crescimento na ordem F1 < F2 < F3, com F1 (amido) exibindo valores < 90° (superfície hidrofílica, maior molhabilidade), F2 (amido+CPS) posicionando-se próximo ao limiar (molhabilidade intermediária) e F3 (CPS) alcançando > 90° (superfície hidrofóbica, menor molhabilidade). Em paralelo, a permeabilidade ao vapor d'água mostrou a hierarquia inversa (F1 < F2 < F3), demonstrando que, nesta matriz, a barreira à difusão de vapor foi governada pela microestrutura de volume da rede (densidade de ligações e tortuosidade) e não pela energia superficial isoladamente.

Esses achados alinham-se ao artigo de Santos et al. (2025), no qual bionanocompósitos de amido reforçados com nanocelulose (NFC) apresentaram redução do ângulo de contato e queda concomitante de WVP (aproximadamente 47,9%), evidenciando que redes polissacarídicas com maior disponibilidade de grupos –OH (confirmada por FTIR na banda O–H proximos a 3298 cm^{-1}) elevam a afinidade água–superfície e aumentam a barreira por compactação/tortuosidade da matriz; a análise multivariada (PCA) do estudo mostrou correlação negativa entre teor de NFC e ângulo de contato, reforçando o papel estruturante da fase polissacarídica na molhabilidade e no transporte de vapor (Santos et al., 2025).

5.4 Caracterização dos queijos

5.4.1 Propriedades físico-químicas dos queijos

Na Tabela 9, observa-se que houve aumento significativo da umidade do controle (QC: 39,70 ± 0,14%) para Q1 (41,66 ± 0,29%), Q2 (42,90 ± 0,09%) e Q3 (44,68 ± 0,30%) (letras distintas indicam $p < 0,05$). Esses teores situam o produto na faixa de média a alta umidade prevista para Minas Padrão (36,0–54,9%), conforme a classificação oficial (IN nº 68/2006 e Portaria nº 146/1996). Em séries históricas de Minas Padrão fiscalizados em MG, a distribuição de umidades concentrou-se entre ~45–53 g/100 g, com pico em 49–51 g/100 g, também dentro da mesma faixa normativa, o que corrobora a adequação dos valores observados aqui.

A aw elevou-se de 0,964 (QC) para 0,972 a 0,973 (Q1 a Q3), diferenças significativas (p<0,05). Em termos de segurança de alimentos, esses níveis permanecem acima dos limiares mínimos típicos para crescimento de bactérias (proximos a 0,90), leveduras (proximos a 0,80) e fungos (proximos a0,60), o que reforça a necessidade de barreiras complementares (pH, NaCl, refrigeração) durante a estocagem e distribuição (Sarantópoulos & Oliveira, 2001).

O pH variou de 5,33 (Q1) a 5,47 (Q3) com diferenças significativas (p<0,05), permanecendo na faixa tecnológica esperada para queijos de massa cozida/curada durante a maturação; em parmesão comercial, por exemplo, são relatados valores entre 5,14 e 5,61, com dinâmica de acidificação compatível com a janela observada aqui (Rosa et al., 2024).

A perda de massa diminuiu de 0,95 ± 0,01% (QC) para 0,74 ± 0,01% (Q1), 0,71 ± 0,01% (Q2) e 0,68 ± 0,01% (Q3) (p<0,05), em coerência com as maiores umidades observada em Q1–Q3; em queijos maturados sob embalagem de barreira, como o parmesão embalado a vácuo, verifica-se maior retenção de umidade e menores perdas por evaporação em relação ao não embalado, devido à redução das trocas com o ambiente (Rosa et al., 2024).

Tabela 9- Propriedades físico-químicas dos queijos.

Tratamento	Umidade (%)	aw	pH	Pera de massa (%)
QC	39.70±0.14^{d}	0.964 ± 0.00^{b}	5.42 ± 0.01^{c}	0,95 ± 0,01^{a}
Q1	41.66±0.29^{c}	0.972 ± 0.00^{a}	5.33 ± 0.01^{d}	0,74 ± 0,01^{b}
Q2	42.90±0.09$_{b}$	0.973 ± 0.00^{a}	5.44 ± 0.00b	0,71 ± 0,01^{c}
Q3	44.68±0.30^{a}	0.973 ± 0.00^{a}	5.47 ± 0.00^{a}	0,68 ± 0,01^{d}

Queijo controle (não revestido), Q1, Q2 e Q3 são queijos revestidos com amido, amido+CPS, e CPS, respetivamente, ambos aditivados com curcumina e própolis. Valores apresentados como média ± desvio-padrão; letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas entre tratamentos (p< 0,05).

5.5.2 Cor

A Tabela 10, mostra que a luminosidade (L*) aumentou de 7 para 14 dias em todos os tratamentos, com estabilização até 21 dias; aos 21 dias, Q1 e Q2 exibem L* mais altas (≈80–81), seguidos de Q3 (≈79), enquanto o controle (QC) permaneceu substancialmente mais escuro (≈54). Esse ganho de luminosidade nas amostras tratadas indica maior capacidade de retenção de água e superfícies menos opacas, reduzindo espalhamento heterogêneo de luz e, portanto, elevando L*.

Quanto ao eixo a*, observa-se deslocamento para valores próximos de zero ou negativos nas amostras tratadas a partir de 14 dias, sugerindo redução de tonalidades avermelhadas e manutenção de um aspeto mais ―cremoso/esbranquiçado‖ durante a maturação. O QC, por sua vez, apresenta a* positivo em 21 dias, indicando tendência a tons mais quentes no controle ao final do período.

No eixo b*, as amostras tratadas (Q1–Q3) mantêm ou intensificam o componente amarelo ao longo do tempo, enquanto o QC apresenta redução acentuada de b* aos 21 dias. Em termos tecnológicos, o conjunto L* e b* crescentes e a* próximo de zero nas amostras tratadas é compatível com maior retenção hídrica e menor oxidação superficial, condições que preservam a aparência clara e o amarelado intrínseco da matriz láctea, ao passo que o controle tende a escurecer e perder saturação de cor com o tempo.

Com tudo, os tratamentos Q1–Q3 sustentam um perfil visual mais claro e estável na maturação (L* elevada, a* próximo de zero, b* mantido/alto), enquanto o QC evolui para

menor luminosidade e maior variação cromática aos 21 dias. Esses padrões são coerentes com cenários de barreira à perda de umidade e mitigação de reações oxidativas na superfície, que costumam favorecer L* e b* em queijos maturados.

Ao longo da maturação (7, 14 e 21 dias), os tratamentos Q1–Q3 apresentaram maior luminosidade (L*) e b* mais estável/elevado do que o controle (QC), enquanto a* aproximou-se de valores próximos de zero ou negativos nas amostras tratadas. Esse perfil é compatível com a aparência típica de Queijo Minas Padrão — ―cor branco-creme, homogênea, com crosta fina e amareladǁ — descrita por Costa et al. (2019), indicando que L* mais alto e b* positivo moderado refletem uma superfície visualmente mais clara e uniforme durante a maturação.

Tabela 10- Valores médios dos parâmetros de cor dos queijos em 7,14 e 21 dias de maturação.

Tratamento	**7 dias**			**14dias**			**21 dias**		
	L*	**a***	**b***	**L***	**a***	**b***	**L***	**a***	**b***
Qc	48.80 ±0.53^{b}	29.35 ±0.22^{c}	32.05 ±0.31^{a}	80.90 ± 0.8^{a}	-0.54 ±0.26^{a}	19.66 ±0.60^{d}	53.98 ±0.00 ^{c}	19.20 ±0.01 ^{a}	6.39 ±0.01 ^{d}
Q1	57.31 ±0.69^{a}	13.42 ±0.27^{d}	12.87 ±0.33^{b}	78.96 ± 0.16^{b}	-3.80 ±0.44^{c}	85.53 ±0.83^{a}	81.10 ±0.86 ^{a}	-1.01 ±0.07 ^{b}	18.51 ±0.12 ^{c}
Q2	29.61 ± 0.04^{c}	31.77 ±0.03^{a}	-62.04 ±0.04^{d}	79.50 ±0.46^{ab}	-4.39 ±0.64^{c}	81.38 ±0.81^{b}	80.33 ±0.15 ^{a}	-4.43 ±0.12 ^{c}	81.84 ±0.97^{a}
Q3	29.04 ± 0.18^{c}	31.26 ±0.07^{b}	-60.80 ±0.26^{c}	76.25 ± 0.63^{c}	-1.98 ±0.12^{b}	74.00 ±1.13^{c}	78.78 ±0.29 ^{c}	-4.38 ±0.22 ^{c}	76.90 ±1.65 ^{b}

Queijo controle (não revestido), Q1, Q2 e Q3 são queijos revestidos com amido, amido+CPS, e CPS, respetivamente, ambos aditivados com curcumina e própolis. Valores apresentados como média ± desvio-padrão; letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas entre tratamentos ($p< 0,05$).

A literatura atribui a preservação de L* e b* à redução de trocas com o ambiente (umidade /O_2) por embalagem de barreira (vácuo/MAP) ou revestimentos, que mitigam desidratação e foto-oxidação; nessas condições, a tendência é elevar L* e sustentar b*, ao passo que a exposição a O_2/luz favorece oscilações de a* e escurecimento (Nájera et al., 2021). No presente conjunto, o maior L* e a estabilidade de b* em Q1–Q3 são, portanto, coerentes com um ambiente de menor oxidação superficial, enquanto a elevação de a* no QC sugere maior suscetibilidade a reações oxidativas sem proteção de barreira.

Em Minas artesanais, manchas amarelas e heterogeneidade de cor de casca são relacionadas a desidratação superficial desigual e manejo de viragens/ambiente de maturação; logo, tratamentos que limitam gradientes de umidade tendem a manter L* e b* mais uniformes, enquanto o controle pode exibir maior variabilidade cromática (EPAMIG, 2019). Esse mecanismo técnico sustenta a interpretação de que as diferenças entre QC e Q1–Q3 decorrem, principalmente, do estado hídrico e da intensidade das trocas com o meio.

5.5.3 Textura

A Tabela 11, mostra que os perfis de textura permaneceram estáveis entre tratamentos (QC, Q1–Q3) e ao longo do tempo (7; 14 e 21 dias).

Tabela 11- Valores médios dos parâmetros de perfil de textura dos queijos em 7,14 e 21 dias de maturação.

Parâmetros	7 dias				14 dias				21 dias			
	Qc	**Q1**	**Q2**	**Q3**	**Qc**	**Q1**	**Q2**	**Q3**	**Qc**	**Q1**	**Q2**	**Q3**
Adesividade (N.s)	-150 ± 73[a]	-241 ± 44 [a]	-115 ± 30 [a]	-167 ± 115 [a]	-115 ± 91 [a]	-101 ± 67 [a]	-257 ± 101 [a]	-268 ± 98[a]	-180 ± 85 [a]	-164 ± 123 [a]	-178 ± 101 [a]	-175 ± 15 [a]
Elasticidade	0.89 ± 0.03[a]	0.87 ± 0.08 [a]	0.89 ± 0.01 [a]	0.88 ± 0.04 [a]	0,90 ± 0,01 [a]	0,90 ± 0,02 [a]	0,88 ± 0,05 [a]	0,86 ± 0,03[a]	0,88 ± 0,02[a]	0,89 ± 0,01 [a]	0,89 ± 0,02 [a]	0,88 ± 0,02[a]
Coesividade	0.80 ± 0.01 [a]	0.80 ± 0.02 [a]	0.79 ± 0.01 [a]	0.78 ± 0.01 [a]	0,79 ± 0,02 [a]	0,80 ± 0,02 [a]	0,80 ± 0,02 [a]	0,79 ± 0,01[a]	0,80 ± 0,01[a]	0,81 ± 0,00 [a]	0,81 ± 0,00 [a]	0,80 ± 0,01[a]
Gomosidade (kN)	12,11 ± 1,6[a]	12,14 ± 1,5[a]	13,83 ± 1,6[a]	10,91 ± 1,3[a]	10,33 ± 0,8 [a]	10,71 ± 2,7[a]	10,92 ± 0,9 [a]	9,38 ± 1,3[a]	8,85 ± 1,6 [a]	10,66 ± 1,1 [a]	10,79 ± 1,2[a]	9,49 ± 0,5 [a]
Mastigabilidade (kN.mm)	10,83 ± 1,8[a]	10,85 ± 1,8 [a]	12,33 ± 1,5[a]	95,6 ± 1,0[a]	9,26 ± 0,9 [a]	9,68 ± 2,4 [a]	9,66 ± 1,1[a]	8,09 ± 1,4[a]	7,49 ± 1,4[a]	9,24 ± 1,1[a]	9.607 ± 1,2 [a]	8,04 ± 0,51[a]
Resiliência	0.39 ± 0.02 [a]	0.40 ± 0.03 [a]	0.40 ± 0.01 [a]	0.37 ± 0.01[a]	0,38 ± 0,00[a]	0,38 ± 0,02[a]	0,37 ± 0,02 [a]	0,36 ± 0,02[a]	0,36 ± 0,00[a]	0,36 ± 0,01[a]	0,37 ± 0,01 [a]	0,36 ± 0,00[a]

Queijo controle (não revestido), Q1, Q2 e Q3 são queijos revestidos com amido, amido+CPS, e CPS, respetivamente, ambos aditivados com curcumina e própolis. Valores apresentados como média ± desvio-padrão; letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas entre tratamentos ($p< 0,05$).

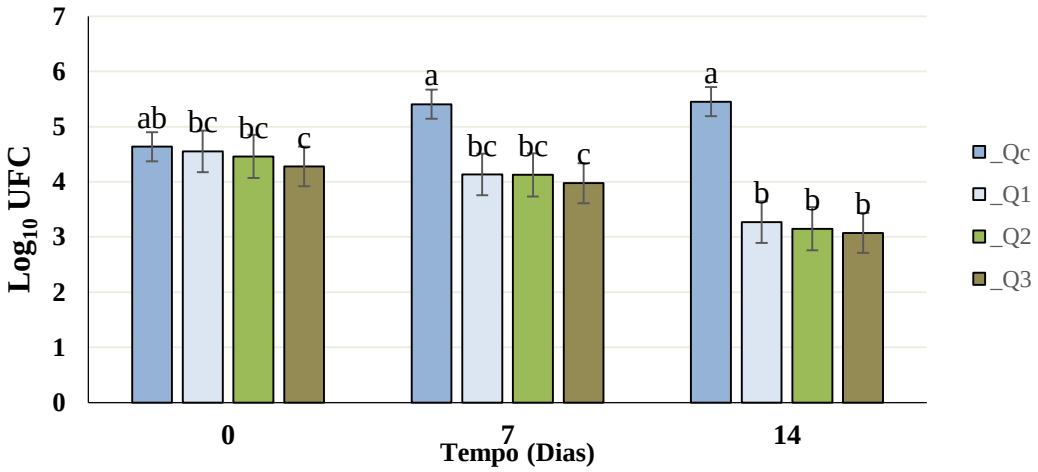
A adesividade variou numericamente (valores negativos, indicando pegajosidade) mas sem diferenças significativas entre grupos; elasticidade manteve-se alta e constante (≈0,86–0,90), sugerindo retorno elástico semelhante após deformação; coesividade permaneceu estreita (≈0,79–0,81), indicando integridade estrutural comparável; e gomosidade e mastigabilidade oscilaram dentro da variabilidade experimental, sem efeito de tratamento ou tempo; por fim, a resiliência (≈0,36–0,40) também se manteve inalterada. Em síntese, não houve impacto estatisticamente significativo dos tratamentos nem da maturação de 21 dias sobre os parâmetros instrumentais de textura, apontando para uma matriz estrutural robusta e estável durante o período avaliado. Esse padrão é coerente com Hachiya (2015), que em Minas Padrão com substituição parcial de NaCl por KCl observou ausência de efeito significativo ($p>0,05$) sobre adesividade, elasticidade, coesividade e mastigabilidade aos 30

dias, apesar de variações transitórias no início da maturação. Em termos de tendência temporal.

5.6 Contagem de *Listeria monocytogenes* nos queijos

A influência dos tratamentos sobre *L. monocytogenes* inoculada nos queijos pode ser observada na Figura 10.

Figura 10 - Contagem de *L. monocytogenes* em queijo Minas Padrão ao longo do tempo de maturação.



Qc: queijo não revestido (Controle), Q1, Q2 e Q3-queijos revestidos com amido, amido+CPS, e CPS, respetivamente, ambos aditivados com curcumina e própolis.

O comportamento da bactéria no queijo durante os catorze (14) dias de maturação variou de acordo com os tratamentos, principalmente ao se comparar os queijos revestidos com o queijo controle, no qual houve aumento do número da bactéria durante o período. Pode-se observar no tempo zero (0) que os revestimentos apresentaram acção antimicrobiana sobre *L. monocytogenes*, reduzindo o número de células viáveis de forma significativa. Dos três tratamentos, destacou-se aquele contendo apenas proteína e os antimicrobianos.

Em 7 dias, o controle cresce para apriximadamente 5,5 log (—a‖, superior a todos), enquanto Q1a Q3 caem para 4,0 a 4,2 log, evidenciando efeito antimicrobiano significativo dos tratamentos face ao QC. Em 14 dias, os tratados convergem para 3,1 a 3,3 log, configurando redução de aproximadamente 1,2 a 1,5 log em relação ao ponto inicial (94 – 97% de queda), ao passo que o controle se mantém elevado (5,6 log), com aumento de ~1 log ao longo do período (≈10×). Portanto, os tratamentos promovem inibição/progressiva redução da população de *L. monocytogenes* (bacteriostasia seguida de efeito bactericida leve), enquanto o controle permite multiplicação contínua. As diferenças são estatisticamente significativas a partir de 7 dias e máximas em 14 dias.

As contagens de *L. monocytogenes* deste estudo foram semelhantes aos zero (0) dias (≈4,3 –4,8 log UFC·g⁻¹) e passaram a divergir a partir dos 7 dias, o controle subiu para ~5,5 log, enquanto os tratamentos (Q1–Q3) caíram para ~4,0–4,2 log, atingindo ~3,1–3,3 log aos 21 dias. Esse perfil (contenção/queda) sob formulações ativas versus crescimento sob controle, é coerente com a revisão de Nájera et al. (2021), que relata eficácia de revestimentos/bioconservantes em queijos duros e semiduros para conter *Listeria* sp. durante o armazenamento refrigerado, combinando barreira física e agente antimicrobiano.

Em Queijos Minas Frescal com bacteriocinas, Vieira (2011) descreveu reduções próximas de 4 log frente ao controle quando o bioingrediente foi otimizado (liofilização/spray-drying), magnitude mais intensa do que a queda de mais ou menos 1,3–1,7 log observada nesse estudo, entre 7 a 14 dias, diferença plausivelmente atribuída à potência e forma de incorporação do antimicrobiano. (Vieira, 2011).

Em consonância com Nájera et al. (2021), Vieira (2011), Obara (2017) e Souza (2020), as formulações ativas (Q1, Q2 e Q3) contiveram e reduziram *Listeria* sp. ao longo de 14 dias, enquanto o controle manteve-se elevado, sendo a magnitude das reduções dependente do tipo/dose do ativo e do método de incorporação.

6 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste estudo demonstraram que a utilização de filmes e revestimentos comestíveis à base de proteínas do soro de leite e amido de mandioca, incorporados com curcumina e própolis, representa uma estratégia tecnológica viável para a conservação do queijo Minas Padrão. A própolis apresentou maior teor de compostos fenólicos e atividade antioxidante em comparação à curcumina, destacando-se como um agente bioativo de elevado potencial. A avaliação antimicrobiana in vitro revelou que ambas as substâncias inibiram o crescimento de *Listeriamonocytogenes*, sendo que combinações de baixas concentrações também se mostraram eficazes, sugerindo efeito aditivo.

As soluções filmogênicas apresentaram comportamento reológico pseudoplástico, com variações relacionadas à composição amido/proteína, refletindo diretamente na formação e propriedades das películas obtidas. Os filmes elaborados mostraram diferenças significativas na barreira ao vapor de água, degradação em meio aquoso e solo, e molhabilidade, evidenciando a importância da interação entre polímeros na definição da estabilidade estrutural. Quando aplicados aos queijos, os revestimentos reduziram perda de massa, influenciaram parâmetros de cor e textura e, sobretudo, limitaram a sobrevivência e multiplicação de *Listeriamonocytogenes* durante o período de maturação.

Dessa forma, conclui-se que a aplicação de revestimentos comestíveis bioativos constitui uma alternativa sustentável e eficiente para prolongar a vida útil e manter a qualidade do queijo Minas Padrão, representando uma inovação promissora para a indústria de laticínios, com potencial de atender às demandas por alimentos seguros, funcionais e ambientalmente responsáveis.

REFERÊNCIAS

ABD EL-HACK, A. M. E. et al. **Curcumin, the active substance of turmeric: its effects on health and ways to improve its bioavailability.**Journal of the Science of Food and Agriculture, v. 101, n. 14, p. 5747-5762, 2021.Disponível em: doi: 10.1002/jsfa.11372. Epub 2021 Jul 14. PMID: 34143894. Acesso em: 03 abr. 2024.

ADAMS, L. A. **Uso de revestimentos comestíveis de amido e gelatina em queijo prato.** Monografia (Graduação em Medicina Veterinária) -Universidade Federal do Rio Grande do Sul-Porto Alegre, 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução RDC nº 12, de 2 de janeiro. **Regulamento Técnico sobre Padrões Microbiológicos para Alimentos**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2 de janeiro de 2001.Disponível em:http://portal.anvisa.gov.br/documents/33880/2568070/RDC_12_2001.pdf/15ffddf6-3767-4527-bfac-740a0400829b. Acesso em: 29 mar. 2024.

AKARCA, G.; TOMAR, O.; GOK.; V. **Efeito de diferentes métodos de embalagem na qualidade de queijo mussarela recheado e fatiado durante o armazenamento.** Jornal de Processamento e Preservação de Alimentos, v.39, p. 2912–2918, 2015. Disponível em: https://ifst.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jfpp.12542. Acesso em: 15 jun. 2024.
ALBA, B. K. **Prevenção da Disfunção Endotelial Induzida por Sódio na Microcirculação Cutânea de Idosos Saudáveis por Meio de Reduções no Superóxido através da Alimentação Controlada de Uma Dieta de Queijo 8-D com Alto Teor de Leite.** J. Nutr. v.150, p. 55–63, 2020.

ALBANO k. M.; NICOLETTI V. R. **Efeito da homogeneização a alta pressão na estabilização de emulsões obtidas por sistemas de biopolímeros (wpc:alg).** In: 39o CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS PARTICULADOS. 39., 2019, Pará. Anais eletrônicos [...]. Belém: 2019., p. 27-30. Disponível em: https://proceedings. science/p/114460?lang=pt-br. Acesso em: 13 Jun. 2024.

ALBANO, K. M.; Telis, V. R. N. **Caracterização reológica da interação eletrostática entre concentrado proteico de soro e pectina em função da aplicação de ultrassom.** XXXVII ENEMP, UFSCar, 2015.

ALIREZALU, K. et al. **Embalagem de filé bovino com filme ativo de quitosana incorporado com ÿ-polilisina: avaliação de índices de qualidade e prazo de validade.** Ciência da Carne , v.176, p.108475, 2021. Disponível em: https://www.milkpoint.com.br/colunas/ppgctldufjf/embalagens-ativas-237333/. Acesso em: 23 Mai. 2024.

ALVES, Eduardo Makyama. **Análise comparativa da atividade anti-inflamatória e antioxidante entre a curcumina pura e curcumina nitrada encapsuladas em PVP.** 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2023.

ALY, M. M.; GUMGUMJEE, N. M. **Eficácia antimicrobiana dos extratos de Rheumpalmatum, Curcuma longa e Alpiniaofficinarum contra alguns microrganismos patogênicos.** Jornal Africano de Biotecnologia. v.10, n. 56, p.12058–12063. https://doi.org/10.5897/AJB11.143. Disponível em: https://www.ajol.info/index.php/ajb.

AMORIM, A. L. B. C., et al. (2014). **Avaliação da qualidade microbiológica de queijos do tipo Minas padrão de produção industrial, artesanal e informal.** Rev. Inst. Adolfo Lutz, 73(4), 364–367.

ANASTÁCIO, M. E. **Otimização de combinações de óleos essenciais para aplicação na indústria alimentar: efeitos nas propriedades antioxidantes e antimicrobianas; Dissertação** (Mestrado em Bioquímica)- Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2023. Disponível em: https://ubibliorum.ubi.pt/handle/10400.6/13616.

APOLINÁRIO, T. C. C., et al. (2014). **Avaliação da qualidade microbiológica do queijo Minas Frescal produzido por laticínios do estado de Minas Gerais.** Rev. Inst. Laticínios Cândido Tostes, 69(6), 433–442.

ARQUELAU, P. B. DE F. et al. **Characterization of edible coatings based on ripe "Prata" banana peel flour.** Food Hydrocolloids, v. 89, p. 570–578, 2019.Disponível em:https://www.academia.edu/83830501/Characterization_of_edible_coatings_based_on_ripe_Prata_banana_peel_flour.Acesso: 28 abr. 2024.

BAGHERIPOOR, N. et al. **Application of active edible coatings to improve the shelf-life of cheese.**Food Science and Technology Research. v. 24, n. 6, p. 949-962, 2018. Disponível em: https://www.jstage.jst.go.jp/article/fstr/24/6/24_949/_article/-char/ja/. Acessoem: 18 mai. 2024.

BHAT, R. et al. **Producing novel sago starch based food packaging films by incorporating lignin isolated from oil palm black liquor waste.**Journal of Food Engineering, v. 119, n. 4, p. 707–713, 2013. Disponível em: https://www.scielo.br/j/mr/a/ZKVKVg97cckH8FK3HmvnJSC/?lang=en. Acesso em: 21 agos. 2024.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. Instrução Normativa nº 94, de 13 de setembro de 2020. **Aprova o Regulamento Técnico que fixa os padrões de identidade e qualidade para o soro de leite e o soro de leite ácido.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 13 de agosto de 2020. Disponível em: https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/6746. Acesso em: 27 abr. 2024.

CASTRO, J. S. de. **Elaboração de "fishburguer" de filé de tilápia do nilo (oreochromisniloticus) adicionado de ácido láurico.** Dissertação (Mestrado em ciência e tecnologia de alimentos) -Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

CORRADINI, C. et al. **Filmes antimicrobianos contendo lisozima para embalagem ativa obtidos pela técnica sol-gel**. Jornal de Engenharia de Alimentos, v.119, n. 3, p. 580– 587, 2013.

CORRADINI, E. et al. **Amido Termoplástico. Embrapa, Instrumentação Agropecuária São Carlos**, SP, 2007. Disponível em:https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPDIA-2009-09/11042/1/DOC30. Acesso em: 16 jul. 2024.

COSTA. M. J. et al. **Utilização de filmes e coberturas comestíveis na conservação de queijos: oportunidades e desafios.** Pesquisa Alimentar Internacional, v.107, p.84–92, 2018. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018. Disponível em: https://www.sciencedirect. com/science/article/pii/S0963996918302953.

COSTA, N. M. et al. **Caracterização da degradação de filmes biodegradáveis de amido de mandioca com diferentes teores de glicerol**. UDESC, 2020.

COSTA, R. G. B. et al. **Controle de qualidade em queijo minas padrão : métodos físico-químicos, microbiológicos e moleculares.** Brasília, DF: Embrapa, 2019. ISBN 978- 85-7035-920-9. Disponível em: https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=pc&busca=autoria:%22MENDON%C3%87A%22&qFacets=autoria:%22MENDON%C3%87A%22&biblioteca=vazio&sort=anopublicacao&paginacao=t&paginaAtual=5&ig=t. Acesso em: 27 mai. 2024.

CRUZ, A. G. Da. **ProbioticCheese: Health Benefits, Technological e Aspectos de Estabilidade.** Trends in Food Science end Tecnology, v. 20, p. 344–354, 2009. Disponívelem:https://www.researchgate.net/publication/223628821_Probiotic_cheese_Health_benefits_technological_and_stability_aspects.

DA COSTA, L. A. M. A., et al. (2016). **Teor de fenólicos e atividade antioxidante de própolis em áreas de floresta e savana de Roraima.**RCT – Revista de Ciência e Tecnologia, 2(3).

DAYRIT, C. S. **Coconut oil in health and disease: its and monolaurin's potential as a cure for HIV/AIDS.**COCOTECH MEETING CHENNAI, INDIA, 37. 2000.

DI PIERRO, P. **Filme de quitosana/proteína de soro de leite como revestimento ativo para prolongar a vida útil do queijo ricota.** LWT - Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 44, n. 10, p. 2324–2327, 2011. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.11.031. Acesso em: 09 mai. 2024.

DI PIERRO, P. L. et al. **Filmes e revestimentos comestíveis à base de proteína de soro de leite para preservação de alimentos.** Páginas em Embalagem e Preservação de Alimentos: Manual de Bioengenharia de Alimentos. Cambridge, Ac-demic Press, p. 439–456, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811516-9.00013-0. Acesso em: 03 abr. 2024. em: http://coconutresearchcenter.org/wp-content/uploads/2015/11/article10526. Acesso em: 11 mai. 2024.

EPAMIG – Instituto de Laticínios Cândido Tostes (2019). **Queijo Minas Artesanal – principais problemas de fabricação:** manual técnico de orientação ao produtor.
FAKHOURI, F. M. et al. **Filmes e coberturas comestíveis compostas à base de amidos nativos e gelatina na conservação e aceitação sensorial de uvas. Ciência e Tecnologia de Alimentos.**v. 27, n. 2, Campinas, 2007. Disponível em: https://www.scielo.br/j/cta/a/yBBLqDqXVWhZsBcHL6nFFhn/abstract/?lang=pt. Acesso em: 20 mai. 2024.

FARIA, F. O.; Vercelheze, A. E. S.; Mali, S. **Propriedades físicas de filmes biodegradáveis à base de amido de mandioca, PVA e montmorilonita.** Química Nova, 35(3), 487–492, 2012.

FONSECA, A. R. O.; Gonçalves, T. B.; Corrêa, W. R. (s.d.). **Atividade antioxidante da própolis verde.** IFSULDEMINAS – Campus Inconfidentes.

GOMES. J. V. P. **Concentrado protéico de soro de leite adicionado de extrato de cúrcuma desenvolvido por secagem em leito de espuma e spray drying: aspectos**

nutricionais e tecnológicos. Dissertação (Mestrado em Nuutrção)- Universidade Federal de Viçosa-MG, Viçosa, 2019.

GURB Z. **Um novo filme comestível composto à base de gel de semente de marmelo e soro de leite original concentrado proteico afetado pela reticulação da transglutaminase.** Revista Internacional de Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 59, n. 9, 2024. doi:10.1111/ijfs.17350. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication /382657249. Acesso em: 22 jul. 2024.

HACHIYA, Jefferson Sussumu de Aguiar. **A Redução do sódio em queijo minas padrão: efeito nas características físico-químicas e no perfil de textura.** 2015. 71 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina. 2015.

HAO, L. et al. **Lactoferrin: Major Physiological Functions and Applications.**Current Protein and Peptide Science, v. 20, n. 2, p. 139–144, 2019. Disponívelem: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29756573/. Acesso em: 10 abr. 2024.

HOSSEINJooyandeh. **Filmes e Revestimentos de Whey Protein: Uma Revisão.** Jornal de Nutrição do Paquistão, v. 10, n. 3, p. 296-301, 2011. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rn/a/PRpChxDqt3YYYvkN8KFRDmS/. Acesso em: 11 abr. 2024.

JAFARZADEH, S. et al. **Embalagem de queijo por revestimentos comestíveis e nanocompósitos biodegradáveis; melhoria na vida útil, propriedades físico-químicas e sensoriais**. Trends in Food Science & Technology, v. 116, p. 218–231, 2021.Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.tifs.

KOCAADAM, B.; ŞANLIER, N. **Curcumin, an active component of turmeric (Curcuma long), and its effects on health. Critical reviews in food science and nutrition**, v. 57, n.13, p. 2889-2895, 2017. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26528921/.

KUREK-GÓRECKA, A., et al. (2014). **Structure and antioxidant activity of polyphenols derived from propolis.**Molecules, 19, 78–101.

LEÃO, G. S. et al. **Influência da aplicação de revestimento comestível em queijo minas artesanal durante o período de maturação.** Holos, v. 36, v.2, p. 10547, 2020. doi: 10.15628/holos.2020.10547. Disponível em: https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/ HOLOS/article/view/10547.

LI, W. et al. **Avaliação de filmes nanocompósitos de PLA nas propriedades físico-químicas e microbiológicas de queijo cottage refrigerado.** Jornal de Processamento e Preservação de Alimentos, v. 42, e. 1. p. 13362, 2018. https://doi.org/10.1111/jfpp.13 362. Disponível em: https://ifst.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jfpp.13362.

LIMA, R. C. et al. **Alternativas verdes e mais saudáveis aos aditivos químicos como conservantes de queijo: antimicrobianos naturais em nanoembalagens/revestimentos ativos.** Polímeros, v. 13, n. 2675, 2021. https://doi.org/10.3390/polym13162675. Disponível em: https://www.mdpi.com/2073- 4360/13/16/2675.

LOTFIA, M. et al. **Filme nanoestruturado de quitosana/monolaurina: preparação,**

caracterização e atividade antimicrobiana contra Listeriamonocytogenes em queijo branco ultra filtrado. LWT - Ciência e Tecnologia de Alimentos, v.92, p. 576–583, 2018. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.Disponívelem: https://www.sciencedirect.com /science/article/pii/S0023643818310685.

MALIK, A. et al. **Processamento de Alimentos: Estratégias para Avaliação da Qualidade Prefácio;** Springer: Nova York, NY, EUA, 2014. Disponível em: https://books.google.com/books/about/Food_ Processing_ Strategies _for_Quality _A.html?id=IaIxBQAAQBA.J.

MENDONÇA, F. J.; Negrão, I. D. A.; Pavanello, A. C. L.; Geronimo, B. C.; Michalichen, K. C.; Carreira, C. M.; Venturini, D.; Soares, A. L. (2021). **Determinação do teor de compostos fenólicos totais e capacidade antioxidante de cúrcuma orgânica comercial.** In: Farmacologia Aplicada à Enfermagem: aspectos teóricos e práticos, p. 62–71. DOI: 10.37885/210203388.

MILLERIENE, J. et al. **Efeito do revestimento comestível à base de concentrado protéico de soro de leite líquido enriquecido com extrato de dióxido de carbono de canela na qualidade e prazo de validade do requeijão do Leste Europeu.** Jornal de Ciência Látea, v. 104, p.1504–1517, 2020. https://doi.org/10.3168/jds. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/346952688. Acesso em: 26 mai. 2024.

MŁYNEK, K. et al. **The effect of selected components of milk and ripening time on the development of the hardness and melting properties of cheese.** Acta Sci Pol Technol Aliment, v. 17, n.2, p. 133-140, 2018. doi: 10.17306/J.AFS.0549. PMID: 29803215. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29803215/.

NÁJERA, A.I. et al. **A Review of the Preservation of Hard and Semi-Hard Cheeses: Quality and Safety.**International Journal of Environmental Research and Public Heath, v. 18, n. 18, p. 9789, 2021. . Disponívelem: https://www.mdpi.com/1660- 4601/18/18/9789.

NIKOO M.; REGENSTEIN, J. M.; AHMADI, G. H. **Antioxidant and Antimicrobial Activities of (-)-Epigallocatechin-3-gallate (EGCG) and its Potential to Preserve the Quality and Safety of Foods**.Compr.Rev.Food Sci. FoodSaf.v. 17, n. 3, p. 732-753, 2018. doi: 10.1111/1541-4337.12346. Disponível em: https://pubmed .ncbi.nlm. nih. gov/33350134/. Acesso em: 14 abr. 2024.

OBARA, T. R. A. (2017). **Própolis verde: otimização da extração de compostos ativos e sua atividade em diferentes modelos experimentais.** Tese (ESALQ/USP).

OLIVO, P. M. et al. **Alginato de sódio com cobertura de cúrcuma para queijos curados.** Jornal de Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 57, p. 2364–2369, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s13197-020-04438-x. Acess oem: 19 mai. 2024.

PAPILLO, V. A. et al. **In vitro evaluation of gastro-intestinal digestion and colonic biotransformation of curcuminoids considering different formulations and food matrices.**Journal of Functional Foods, 59, 156-163, 2019.https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.05.031 Disponível em: https://edepot.wur.nl/479044.

PRASAD, P.; KOCHHAR, A**. Embalagens ativas na indústria alimentícia: uma revisão.**

Jornal de Ciência Ambiental, Toxicologia e Tecnologia de Alimentos, v. 8, p. 1–7, 2014.https://doi.org/10.9790/2402-08530107. Disponível em: https://www.scirp.org/ reference/referencespapers?referenceid=2868240.

POPPI, F. A. et al. **Whey and its Proteins: Composition and Functional Activity.**sci. Biol. Health, v. 12, n. 2, p. 31-7, 2010.Disponível em: https://journalhealthscience. pgsscogna.com.br/JHealthSci/article/ download/1355/1299. Acesso em: 04 ago. 2024.

PUCEGA, AL. O. A. et al. **Cobertura comestível protetora para peras: avaliação do uso de antocianina como agente antioxidante protetor**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM INICIAÇÃO CIENTÍFICA. 12., 2019, São Paulo. Anais eletrônicos [...]. São Paulo: 2019. p. 1855-1861. issn 2359-1757,doi 10.5151/cobecic2019-eta25. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/335373605. Acesso em: 02 abr. 2024.

QUALQUER, L. R. et al. **Avaliação de revestimentos comestíveis antimicrobianos a partir de proteína isolada de soro de leite para melhorar a vida útil de queijos.** Jornal de Ciência de Laticínios, v. 95 n.11, 2012. http://dx.doi.org/ 10.3168/jds.2012-5478. Disponível em: https://www.journalofdairyscience.org/article/.

QUICHABA, Michely Bião. **Avaliação da atividade antibacteriana de nisina e nanopartículas de curcumina frente a bactérias de interesse em alimentos**. 2021. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2021.

ROCHA, G. O. et al. **Filmes compostos biodegradáveis a base de amido de mandioca e proteína de soja.** Polímeros, v. 24, n. 5, p. 587–595, 2014. Disponível em: https://www.scielo.br/j/po/a/bbqcc37qRy4sSGByLLjgnCf/abstract/?lang=pt
SALATINO, A.; Teixeira, E. W.; Negri, G.; Message, D. (2005). **Origin and chemical variation of Brazilian propolis.**Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 2, 33–38.

SALGUEIRO, F. B.; Castro, R. N. (2016). **Comparação entre a composição química e capacidade antioxidante de diferentes extratos de própolis verde**. Química Nova, 39(10), 1192–1199.

SALGUEIRO, Fernanda Barbosa. **Caracterização da própolis verde brasileira: substâncias fenólicas, atividade biológica e análise quimiométrica**. 2016. 157 f. Tese (Doutorado em Química) - Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica - RJ, 2016.

SANTOS, I. A. et al. **Ag–NFC starch bionanocomposites: rheology and viscoelasticity.**International Journal of Biological Macromolecules, 294, 139262, 2025.

SANTOS, I. A., do Lago, R. C., Pereira, E. P., et al. (2025). **Enhanced physicochemical and antifungal properties of starch bionanocomposites reinforced with nanocellulose and functionalized with silver nanoparticles.**International Journal of Biological Macromolecules, 294, 139262.

SCAPIM, M. R. S. **Produção, caracterização, aplicação e biodegradabilidade de filmes de blendas de amido e PBAT produzidos por extrusão**. Tese (Doutorado), UEL, 2009.

SCHREINER, J. F. (2022). **Avaliação da atividade antioxidante e antibacteriana de própolis oriunda de abelhas sem ferrão (meliponíneos) de Pato Branco-PR**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco.

SHIMIZU, K., et al. (2004). **Antioxidative bioavailability of artepillin C in Brazilian propolis.**Archives of Biochemistry and Biophysics, 424, 181–188.

SOARES, B. S. **Microencapsulação do óleo de Sacha Inchi por coacervação complexa empregando biopolímeros.** Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica-RJ, 2018.

SOARES, B. S. **Obtenção de goma tara modificada e sua aplicação em coacervação complexa para carreamento de curcumina em produtos alimentícios**. 2023. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica-RJ, 2023.

SILVEIRA, M. F. Da. **Desenvolvimento de filme biodegradável e revestimento comestível à base de isolado protéico de soro de leite e sua aplicação em morangos (Fragaria x ananassaDuch.).** Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, p. 17-36, Rio de Janeiro, 2020.

SOUZA, L. B. (2020**). Potencial de conservação de queijo coalho com o uso de cobertura à base de soro e conservante natural e sintético**. Tese (UFERSA).

SUEIRO, A. C.; Faria-Tischer, P. C. S.; Lonni, A. A. S. G.; Mali, S. **Filmes biodegradáveis de amido de mandioca, pululana e celulose bacteriana**. Química Nova, 39(9), 1059–1064, 2016.

TANGWATCHARIN, P.; KHOPAIBOOL, P. **Activity of virgin coconut oil, lauric acid or monolaurin in combination with lactic acid against Staphylococcus aureus**. Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health, Bangkok, v. 43, n. 4, p. 969- 985, 2012. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23077821/. Acesso em: 25 abr. 2024.

TEIXEIRA, R. R. et al. **Reologia de soluções aquosas de HPAM, goma xantana, amido modificado e HPG e de suas misturas**. 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, 2005.

ULPATHAKUMBURA, C. P. et al. **Efeito de Bioconservantes nas Propriedades Microbianas, Físico-Químicas e Sensoriais do Queijo Cheddar. Biociências Alimentares**, v.13, s/n, p. 21–25, 2016. ISSN 2212-4292. https://doi.org/10.1016/j.fbio. 2015.12.003. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/p ii/S2212 429215300274. Acesso em: 25 abr. 2024.

VIEIRA, K. P. (2011). **Aplicação de bacteriocinas de bactérias lácticas para controle de Listeriamonocytogenes em queijo Minas Frescal processado pelo método de acidificação direta**. Tese (UNICAMP).

XIN, S. et al. **Preparation of chitosan/curcumin nanoparticles based zein and potato starch composite films for Schizothoraxprenati fillet preservation**.International Journal of

Biological Macromolecules, v.164, p. 211-221, 2020. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141813020338356. Acesso em: 24 abr. 2024.

ZENG, Z. et al. **Antibacterial function and mechanism of monolaurin and monocaprin.** Food Science, Hangzhou, v. 34, p. 71-74, 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/284054834_Antibacterial_function_and_mechanism_of_monolaurin_and_monocaprin. Acesso em: 25 abr. 2024.