DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE PELÍCULA BIOATIVA À BASE DE LEITE HUMANO, GELATINA COMERCIAL E GLICEROL PARA TRATAMENTO ALTERNATIVO DE FISSURAS MAMÁRIAS

Giovanna Bianchi Alvares (PIBIC/CNPq/FA/UEM)[1], Aline Francieli da Silva Duarte[2], Deborah Heloise Fernandes Machado[2], Grasiele Scaramal Madrona[2], Oscar Oliveira Santos Junior[2,3], Eloize da Silva Alves (Coorientadora)[2], Jesui Vergilio Visentainer (Orientador)[2,3]. E-mail: giovanna.balvares@gmail.com

[1]Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Farmácia, Maringá, PR.
[2]Universidade Estadual de Maringá, Programa de Pós-graduação em Ciência de Alimentos, Maringá, PR.
[3]Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Química, Maringá, PR.

Área e subárea do conhecimento: Ciências Exatas e da Terra / Química.

Palavras-chave: Filme ativo; Biopolímero; Hidratação.

RESUMO

Este estudo teve como objetivo desenvolver películas bioativas pelo método de *casting*, utilizando leite humano, gelatina e glicerol em diferentes concentrações (G1, G3, G5 e G10), e caracterizá-las quanto a parâmetros relacionados às propriedades estruturais, de superfície, hidratação e barreira do material, incluindo processabilidade, espessura, teor de umidade, ângulo de contato e permeabilidade ao vapor de água (PVA), tendo como controle uma formulação produzida com água destilada (GH_2O). Os resultados mostraram boa processabilidade e homogeneidade das películas após a secagem. A espessura variando de 0,442 a 1,065 mm mostrou aumento com a concentração de gelatina, enquanto o teor de umidade permaneceu semelhante entre as formulações (13,3–17,1%). com caráter mais hidrofílico em G1 e maior hidrofobicidade nas formulações mais concentradas. A PVA apresentou os maiores valores em G10, possivelmente associada à ação plastificante do glicerol e às interações entre os componentes da matriz polimérica. Conclui-se que a composição das películas pode ser capaz de modular as propriedades de superfície e de barreira, evidenciando o potencial como biomateriais de origem natural, acessíveis e funcionalmente promissores para aplicações no cuidado de fissuras mamárias.

INTRODUÇÃO

O aleitamento materno é recomendado como forma exclusiva de alimentação até os seis meses de vida, porém sua manutenção pode ser comprometida pela ocorrência de fissuras mamárias, associadas à dor, desconforto e desmame precoce (NIAZI *et al.*, 2021). A aplicação do próprio leite humano sobre a região lesionada é recomendada devido à presença de componentes com propriedades protetoras e

regeneradoras (REDE GLOBAL DE BANCOS DE LEITE HUMANO, 2025), entretanto, sua aplicação direta apresenta limitada permanência sobre a superfície lesionada, justificando a investigação de sistemas capazes de favorecer sua retenção e contato com o tecido lesionado. Nesse contexto, películas bioativas podem atuar como matrizes para incorporação e liberação de compostos ativos, nas quais a gelatina contribui para a formação do filme e biocompatibilidade, enquanto o glicerol atua como plastificante (PANG *et al*., 2014; BRUNI *et al*., 2023). Assim, este estudo teve como objetivo desenvolver películas bioativas à base de leite humano, gelatina comercial e glicerol, e caracterizar sua processabilidade e propriedades físico-químicas relacionadas a superfície, hidratação e barreira do material.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Estadual de Maringá (CAAE nº 93048818.0.0000.0104, parecer nº 6.233.963). Leite humano maduro (*pool* de 5.000 mL) foi coletado no Banco de Leite Humano do Hospital Universitário Regional de Maringá. Foram utilizadas gelatina de origem bovina adquirida em loja de produtos naturais, e o glicerol da Dinâmica. As películas foram produzidas por *casting*, utilizando 100 mL de leite humano, 1, 3, 5 e 10 g de gelatina e volume equivalente de glicerol, originando G1, G3, G5 e G10, respectivamente. Inicialmente, o leite humano foi aquecido a 40 °C, e incorporado para a hidratação da gelatina por 10 min. Posteriormente, a mistura foi aquecida a 60 °C, seguida da adição de glicerol, e agitação por 20 min. As soluções filmogênicas foram vertidas em placas de silicone e secas a 40 °C por 24 h. Um controle (GH_2O) foi produzido com água destilada e concentração intermediária de gelatina e glicerol (5%). As películas obtidas foram avaliadas quanto à processabilidade por registro fotográfico, espessura por micrômetro digital, teor de umidade por método gravimétrico após secagem em estufa, ângulo de contato usando um goniômetro, e permeabilidade ao vapor de água (PVA) por método gravimétrico sob condições de equilíbrio entre diferentes umidades (52% e 2%) (BRUNI *et al*., 2023). Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey para comparação de médias ($p < 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todas as películas mostraram-se homogêneas e com boa processabilidade (Figura 1).

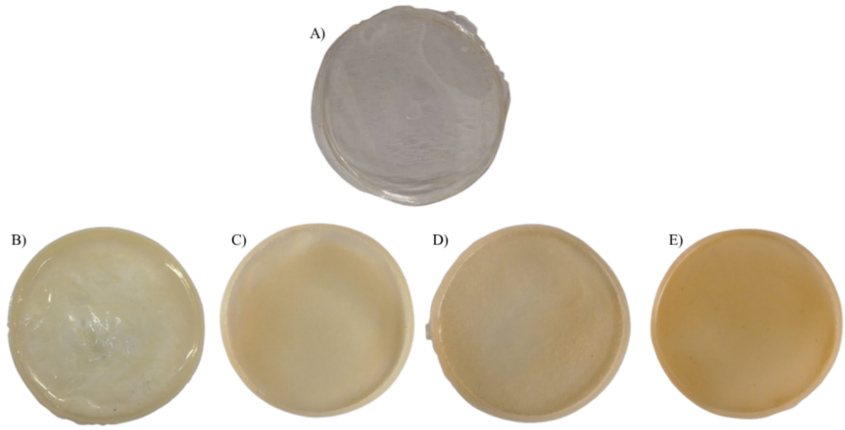


Figura 1. Aparência visual das películas produzidas. A) GH_2O; B) G1; C) G3; D) G5; E) G10.

A Tabela 1 mostra que a espessura variou de 0,442 ± 0,101 mm (G1) a 1,065 ± 0,153 mm (G10) ($p < 0,05$), aumentando com a concentração de gelatina e glicerol, possivelmente em razão do maior teor de sólidos e da formação de uma rede polimérica mais densa (PANG et al., 2014), enquanto a espessura semelhante da GH_2O às formulações G1 e G3, apesar de conter 5% de gelatina, sugere que os sólidos presentes no leite humano também contribuem para a formação e espessamento da matriz. O teor de umidade não diferiu significativamente entre as formulações (13,3–17,1%), indicando manutenção de características de hidratação semelhantes, o que é relevante para aplicações em lesões, nas quais o equilíbrio de umidade pode contribuir para a reepitelização e evitar a desidratação do tecido (NIAZI *et al.*, 2021). O ângulo de contato evidenciou diferenças na molhabilidade das superfícies, com G1 apresentando caráter mais hidrofílico (66,75°), enquanto as demais formulações apresentaram valores próximos ou superiores a 90°, indicando maior caráter hidrofóbico (BRUNI *et al.*, 2023), destacando à menor organização estrutural da G1 e menor interação entre os componentes poliméricos. A PVA aumentou de $1,542 \times 10^{-10} \pm 4,090 \times 10^{-11}$ (G1) para $6,610 \times 10^{-10} \pm 2,690 \times 10^{-10}$ (G10), indicando maior PVA com o aumento da concentração de gelatina e glicerol, possivelmente devido ao efeito plastificante do glicerol, que favorece a mobilidade das cadeias poliméricas e a difusão do vapor através da matriz (BRUNI *et al.*, 2023), característica relevante para o controle da umidade em aplicações sobre lesões.

Tabela 1. Espessura, umidade, ângulo de contato e PVA das películas bioativas.

Parâmetro	GH2O	G1	G3	G5	G10
Espessura (mm)	$0,527^{c}$±0,034	$0,537^{c}$±0,076	$0,442^{c}$±0,101	$0,790^{b}$±0,101	$1,065^{a}$±0,153
Umidade (%)	$14,023^{a}$±1,531	$13,552^{a}$±1,443	$13,335^{a}$±1,317	$16,510^{a}$±1,820	$17,063^{a}$±1,364
Ângulo de contato (°)	$99,750^{ab}$±4,860	$66,750^{d}$±3,694	$95,500^{b}$±3,817	$89,000^{c}$±2,390	$101,250^{a}$±2,605

PVA ($g \times m/(Pa \times m^2 \times s)^{-1}$	$3{,}51 \times 10^{-11}$	$1{,}542 \times 10^{-11}$	$1{,}830 \times 10^{-11}$	$2{,}090 \times 10^{-10}$	$6{,}610 \times 10^{-10}$
	$^{10ab} \pm 5{,}95 \times 10^{-11}$	$^{10b} \pm 4{,}090 \times 10^{-11}$	$^{10b} \pm 7{,}24 \times 10^{-11}$	$^{10ab} \pm 1{,}384 \times 10^{-12}$	$^{10a} \pm 2{,}690 \times 10^{-10}$

Os resultados são apresentados como média ± desvio padrão. Letras diferentes na mesma linha indicam diferenças significativas ($p \leq 0{,}05$) de acordo com teste de Tukey.

CONCLUSÕES

O presente estudo demonstrou que é possível desenvolver películas bioativas à base de leite humano, gelatina comercial e glicerol, com boa processabilidade e com propriedades físico-químicas moduláveis em função da composição da matriz. O aumento da concentração de gelatina e glicerol resultou em películas mais espessas, com maior hidrofobicidade superficial e PVA adequado, sem alteração significativa no teor de umidade entre as formulações. Esses resultados evidenciam o potencial das películas desenvolvidas como biomateriais de origem natural, funcionais, acessíveis e de baixo custo, com características promissoras para o estabelecimento de um ambiente hidratado e favorável ao cuidado de fissuras mamárias. Como perspectivas futuras, serão conduzidos estudos de viabilidade celular in vitro e ensaios de aplicação, a fim de avaliar a biocompatibilidade e a eficácia terapêutica da película, etapas que integrarão a continuidade deste projeto.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo suporte financeiro, bem como à Universidade Estadual de Maringá e ao Banco de Leite Humano do Hospital Universitário Regional de Maringá pelo apoio à realização deste estudo.

REFERÊNCIAS

BRUNI, Andressa Rafaella da Silva *et al.* Characterization and application of active films based on commercial polysaccharides incorporating ZnONPs. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 224, p. 1322–1336, jan. 2023.

NIAZI, A. *et al*. Topical treatment for the prevention and relief of nipple fissure and pain in breastfeeding women: a systematic review. **Advances in Integrative Medicine**, v. 8, n. 4, p. 312-321, 2021.

PANG, Z. *et al*. Rheology, texture and microstructure of gelatin gels with and without milk proteins. **Food Hydrocolloids**, v. 35, p. 484-493, 2014.

REDE GLOBAL DE BANCOS DE LEITE HUMANO (RBLH-BRASIL). Mitos e verdades. Disponível em: https://rblh.fiocruz.br/mitos-e-verdades. Acesso em: 4 abr. 2025.