

EFEITO DA TEMPERATURA NA COLORAÇÃO DE FILMES DE PVA INCORPORADOS COM EXTRATO DE BETERRABA

Mário Roberto Júnior¹;

¹Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), Itapetinga, Bahia.

<http://lattes.cnpq.br/2400544738457236>

Cristiane Patrícia de Oliveira².

²Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), Itapetinga, Bahia.

<http://lattes.cnpq.br/9900219484514383>

RESUMO: Este estudo teve como objetivo elaborar filmes de poli(álcool vinílico) (PVA) incorporados com extrato aquoso de beterraba e avaliar as alterações de coloração após exposição a diferentes temperaturas. Os filmes foram produzidos pelo método *casting* e submetidos a 100, 120, 140 e 160 °C durante 10 minutos, utilizando filmes não aquecidos como padrão. A coloração foi avaliada pelos parâmetros L^* , a^* e b^* do sistema CIELAB e pela diferença total de cor (ΔE_{ab}). *Os resultados mostraram efeito significativo da temperatura sobre os parâmetros colorimétricos ($p < 0,05$). Com o aumento da temperatura, observou-se redução do parâmetro a e aumento de b^* , indicando diminuição da tonalidade vermelha e aumento da tonalidade amarela. Os maiores valores de ΔE^*_{ab} foram encontrados a 140 e 160 °C, evidenciando alterações mais intensas nessas temperaturas. Os resultados indicam que os filmes de PVA com extrato de beterraba apresentam potencial como indicadores colorimétricos de exposição térmica.*

PALAVRAS-CHAVE: Betalaínas. Indicador colorimétrico. Embalagem inteligente.

EFFECT OF TEMPERATURE ON THE COLORATION OF PVA FILMS INCORPORATED WITH BEETROOT EXTRACT

ABSTRACT: This study aimed to develop poly(vinyl alcohol) (PVA) films incorporated with aqueous beetroot extract and evaluate color changes after exposure to different temperatures. The films were produced using the casting method and exposed to 100, 120, 140, and 160 °C for 10 minutes, with unheated films used as the standard. Color was assessed using the L^* , a^* , and b^* parameters of the CIELAB system and the total color difference (ΔE_{ab}). The results showed a significant effect of temperature on the colorimetric parameters ($p < 0.05$). As temperature increased, a decrease in the a^* parameter and an increase in b^* were observed, indicating a reduction in red tones and an increase in yellow tones. The highest ΔE^*_{ab} values were found at 140 and 160 °C, showing more intense changes at these temperatures. The results suggest that PVA films with beetroot extract have potential as colorimetric indicators of thermal exposure.

KEYWORDS: Betalains. Colorimetric indicator. Smart packaging.

INTRODUÇÃO

A utilização de materiais plásticos de origem petroquímica em embalagens de alimentos contribui para a geração de resíduos de difícil degradação no meio ambiente. Apesar das vantagens relacionadas ao baixo custo, resistência e facilidade de processamento, o descarte inadequado desses materiais pode causar impactos ambientais devido ao seu acúmulo no solo e nos ambientes aquáticos. Por esse motivo, materiais alternativos vêm sendo estudados para a produção de embalagens de alimentos, buscando reduzir os impactos causados pelo uso de polímeros convencionais (Teixeira et al., 2025).

O poli(álcool vinílico) (PVA) apresenta boa capacidade de formação de filmes, transparência e resistência mecânica, além de permitir a incorporação de diferentes compostos. Por essas características, esse polímero vem sendo estudado na produção de filmes para embalagens de alimentos (Fan et al., 2025).

As embalagens inteligentes podem fornecer informações sobre alterações ocorridas durante o armazenamento ou processamento dos alimentos. Uma das alternativas é a utilização de pigmentos naturais, que podem apresentar mudanças de coloração em resposta a fatores como pH, temperatura e composição química. Essas alterações permitem o uso desses pigmentos como indicadores colorimétricos, embora sua estabilidade possa ser afetada pelas condições de processamento e armazenamento (Wang et al., 2025). Entre os pigmentos naturais utilizados para essa finalidade estão as betalaínas, compostos nitrogenados e solúveis em água encontrados principalmente em plantas da ordem Caryophyllales. Esses pigmentos são divididos em dois grupos principais: as betacianinas, responsáveis pelas colorações vermelho-púrpura, e as betaxantinas, associadas às tonalidades amarelo-alaranjadas. A beterraba (*Beta vulgaris* L.) representa uma importante fonte desses pigmentos.

Segundo (Surendhiran et al. 2023), as betalaínas são pigmentos solúveis em água, que contêm nitrogênio e são originados a partir do aminoácido tirosina. Esses pigmentos são divididos em dois tipos estruturais: betacianinas e betaxantinas, que apresentam colorações vermelho-púrpura e amarelo-alaranjado, respectivamente. Sua estabilidade é influenciada por fatores como temperatura, pH, oxigênio e luz. Embora variações no pH possam alterar suas cargas, as betalaínas permanecem relativamente estáveis em uma faixa de pH de 3 a 7.

A sensibilidade das betalaínas também tem favorecido sua incorporação em materiais com resposta colorimétrica. A temperatura é um dos principais fatores que afetam a estabilidade desses pigmentos durante o processamento e armazenamento, com os efeitos das altas temperaturas sendo intensificados pela exposição à luz (Lombardelli et al., 2021). Tshamisane et al. (2025) desenvolveram filmes contendo extrato de beterraba rico em betalaínas e observaram alterações visíveis de coloração em resposta às condições avaliadas, demonstrando o potencial desses pigmentos na produção de materiais para embalagens inteligentes com função indicadora.

A incorporação desses pigmentos em uma matriz de PVA pode permitir a obtenção

de filmes capazes de apresentar resposta visual quando submetidos ao aquecimento.

OBJETIVO

O presente estudo teve como objetivo elaborar filmes de PVA incorporados com extrato aquoso de beterraba e avaliar as alterações de coloração após a exposição a diferentes temperaturas, visando verificar o potencial do material como indicador colorimétrico de exposição térmica.

METODOLOGIA

As beterrabas (*Beta vulgaris L.*) utilizadas foram adquiridas em feira livre no município de Itapetinga, Bahia, Brasil. Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Pesquisa de Produtos Naturais (LAPRON), e no de Identidade e Fraude de Alimentos, na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), campus de Itapetinga, Bahia, Brasil.

Extração de betalaínas em meio aquoso

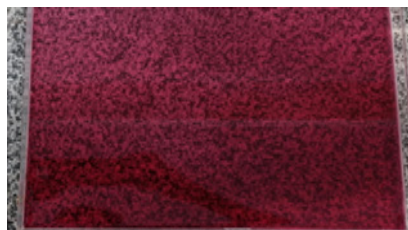
A extração das betalaínas foi realizada em meio aquoso utilizando 100 g de beterraba previamente descascada e cortada. A amostra foi transferida para um liquidificador, adicionando-se 200 mL de água destilada, e homogeneizada durante 2 minutos. Em seguida, o extrato obtido foi filtrado em peneira para remoção do material sólido, sendo a fração líquida utilizada posteriormente na elaboração dos filmes.

Elaboração do filme com adição do extrato de beterraba

Os filmes foram elaborados pelo método *casting*, com adaptações da metodologia descrita por Duan et al. (2021). A solução filmogênica foi preparada a partir de uma dispersão aquosa de PVA a 10% (m/v), utilizando-se 195 mL da dispersão de PVA, 65 mL do extrato aquoso de beterraba, correspondendo a aproximadamente 25% (v/v) da mistura, e 2 mL de glicerina como plastificante. Após a adição dos componentes, a solução filmogênica foi homogeneizada sob agitação magnética a 25 rpm durante 30 minutos.

Em seguida, a solução foi distribuída em placa de vidro retangular, com bordas, de dimensões 35 × 30 cm. Posteriormente, a placa foi mantida em estufa com circulação forçada de ar a $45 \pm 0,5$ °C durante 8 horas para a secagem do filme.

Figura 1. Filme de PVA incorporado com extrato de beterraba após a secagem.



Fonte: Autor (2026)

Análise de cor do filme após aquecimento em estufa

A análise da coloração foi realizada por meio de imagens digitais, com adaptações de Franco et al. (2021). Foram utilizados três filmes produzidos de forma independente, sendo retiradas três amostras de cada filme, com dimensões de 6 × 2 cm. As amostras foram submetidas às temperaturas de 100, 120, 140 e 160 °C durante 10 minutos em estufa Sterilifez. Os filmes não submetidos ao aquecimento foram utilizados como padrão.

Após o tratamento térmico, as imagens foram obtidas com smartphone Xiaomi Redmi Note 13 Pro 4G, utilizando fundo branco e iluminação com nove lâmpadas LED (Osram T8, 18 W, 6500 K). A distância entre a câmera e as amostras foi de aproximadamente 10 cm. Os parâmetros L^* , a^* e b^* do sistema CIELAB foram obtidos diretamente das imagens utilizando o aplicativo Color Detector, versão 3.0, para Android. Os valores obtidos foram utilizados para avaliar as alterações de coloração dos filmes em função da temperatura de exposição.

Análise estatística

Os resultados de L^* , a^* e b^* foram submetidos à análise de variância (ANOVA), considerando as temperaturas como tratamentos e os três filmes produzidos independentemente como blocos. Para cada filme e temperatura foi utilizada a média das três repetições. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p < 0,05$). A diferença total de cor (ΔE^*ab) foi calculada em relação ao filme padrão, utilizando os parâmetros do sistema CIELAB.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os filmes de PVA incorporados com extrato de beterraba apresentaram alteração significativa na coloração após a exposição ao aquecimento (Tabela 1). Os parâmetros L^* , a^* e b^* foram influenciados pela temperatura ($p < 0,05$), sendo as principais alterações observadas nos parâmetros a^* e b^* . O valor de a^* diminuiu de 28,66 no filme padrão para 8,60 a 160 °C, enquanto b^* aumentou de 28,52 para 45,79. Estes resultados indicam redução da tonalidade vermelha e aumento das tonalidades amarela e amarronzada com o aumento da temperatura.

Para o parâmetro a^* , o filme padrão não diferiu significativamente do tratamento a 100 °C. Entretanto, a partir de 120 °C foi observada redução significativa, sendo os menores valores encontrados nos tratamentos a 140 e 160 °C. Comportamento contrário foi observado para b^* , que apresentou aumento a partir de 120 °C. Essa alteração pode estar relacionada à sensibilidade térmica das betalaínas presentes no extrato de beterraba. Hu et al. (2023) observaram baixa estabilidade da betanina quando submetida ao aquecimento, com degradação e perda da coloração vermelha. Leal-Alcazar et al. (2025) também destacam a temperatura como um dos principais fatores que afetam a estabilidade das betalaínas.

A diferença total de cor (ΔE^*ab) confirmou as alterações observadas nos parâmetros

colorimétricos. Os filmes submetidos a 100 e 120 °C apresentaram valores de 11,41 e 15,91, respectivamente, não diferindo entre si. Entretanto, os tratamentos a 140 e 160 °C apresentaram valores significativamente maiores, de 28,41 e 30,03, mostrando que as alterações de coloração foram mais intensas nas temperaturas mais elevadas.

Tabela 1: Parâmetros colorimétricos dos filmes de PVA incorporados com extrato de beterraba submetidos a diferentes temperaturas durante 10 minutos.

Temperatura	L*	a*	b*	ΔE*ab
Padrão	31,12 ± 0,53 ^b	28,66 ± 0,90 ^a	28,52 ± 1,91 ^c	—
100 °C	41,44 ± 0,72 ^a	26,21 ± 3,76 ^a	26,52 ± 3,72 ^c	11,41 ± 0,86 ^b
120 °C	38,26 ± 3,65 ^{ab}	18,58 ± 0,62 ^b	37,92 ± 3,72 ^b	15,91 ± 4,41 ^b
140 °C	44,51 ± 2,53 ^a	9,80 ± 2,05 ^c	44,63 ± 1,70 ^{ab}	28,41 ± 2,49 ^a
160 °C	44,88 ± 6,03 ^a	8,60 ± 2,78 ^c	45,79 ± 3,58 ^a	30,03 ± 7,19 ^a

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (p < 0,05).

Abedi-Firoozjah et al. (2023) destacam o potencial das betalaínas para o desenvolvimento de embalagens inteligentes devido às suas respostas colorimétricas. Ahmad et al. (2025) também observaram a aplicação desses pigmentos em filmes destinados ao monitoramento visual de alterações em alimentos. Os resultados obtidos neste trabalho mostram que os filmes produzidos apresentam potencial como indicadores colorimétricos de exposição térmica, podendo ser utilizado como embalagem inteligente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os filmes de PVA incorporados com extrato de beterraba apresentaram alterações significativas de coloração com o aumento da temperatura. As principais mudanças foram a redução da tonalidade vermelha e o aumento das tonalidades amarela e amarronzada, sendo mais intensas a 140 e 160 °C. Os resultados indicam que esses filmes apresentam potencial para embalagens inteligente como indicadores colorimétricos de exposição térmica.

REFERÊNCIAS

ABEDI-FIROOZJAH, Reza et al. **Betalains as promising natural colorants in smart/active food packaging**. Food Chemistry, v. 424, 136408, 2023. DOI: 10.1016/j.foodchem.2023.136408.

AHMAD, Hafiz Nabeel et al. **Multifunctional layer-by-layer smart film with betalains and selenium nanoparticles for intelligent meat freshness monitoring and preservation**. Food Chemistry, v. 471, 142737, 2025. DOI: 10.1016/j.foodchem.2024.142737.

DUAN, Nuo et al. **Preparation and characterization of k-carrageenan/konjac glucomannan/TiO₂ nanocomposite film with efficient anti-fungal activity and its application in strawberry preservation.** Food Chemistry, v. 364, 130441, 2021. DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.130441.

FAN, Yiting et al. **Recent advances in polyvinyl alcohol-based biodegradable packaging: preparation, modification, and applications in food packaging.** Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, v. 24, n. 6, e70334, 2025. DOI: 10.1111/1541-4337.70334.

FRANCO, Mathews de Oliveira Krambeck et al. **Microanalysis based on paper device functionalized with cuprizone to determine Cu²⁺ in sugar cane spirits using a smartphone.** Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, v. 253, 119580, 2021. DOI: 10.1016/j.saa.2021.119580.

HU, Ting et al. **Complex plant protein prepared from rice protein and pea protein: improve the thermal stability of betanin.** Food Research International, v. 164, 112341, 2023. DOI: 10.1016/j.foodres.2022.112341.

LEAL-ALCAZAR, Mariana C. et al. **Extraction, stabilization, and health application of betalains: an update.** Food Chemistry, v. 481, 144011, 2025. DOI: 10.1016/j.foodchem.2025.144011.

LOMBARDELLI, Claudio et al. **Betalain extracts from beetroot as food colorants: effect of temperature and UV-light on storability.** Plant Foods for Human Nutrition, v. 76, n. 3, p. 347–353, 2021. DOI: 10.1007/s11130-021-00915-6.

SURENDHIRAN, Duraiarasan et al. **Smart packaging film prepared from subcritical water-modified oat starch and betalain of beetroot extract reinforced with cellulose nanofibrils.** Sustainable Chemistry and Pharmacy, v. 36, 101349, 2023. DOI: 10.1016/j.scp.2023.101349.

TEIXEIRA, Samiris Côcco et al. **Sustainable and biodegradable polymer packaging: perspectives, challenges, and opportunities.** Food Chemistry, v. 470, 142652, 2025. DOI: 10.1016/j.foodchem.2024.142652.

TSHAMISANE, Mkhari; ADEYEMI, Jerry O.; FAWOLE, Olaniyi A. **Fabrication of active and intelligent bio-based edible films using encapsulated beetroot powders for smart packaging.** Materials Advances, v. 6, n. 3, p. 1051–1066, 2025. DOI: 10.1039/D4MA00954A.

WANG, Yun et al. **Stability enhancement methods for natural pigments in intelligent packaging: a review.** Critical Reviews in Food Science and Nutrition, v. 65, n. 29, p. 6233–6248, 2025. DOI: 10.1080/10408398.2024.2437570.