

## **COR E OPACIDADE DE FILMES DE QUITOSANA CONTENDO DIFERENTES TEORES DE CERA DE ABELHA E CELULOSE MICROCRISTALINA**

**Rivaldan da S. Ferreira<sup>1</sup>; Maria I. S. de Sousa<sup>1</sup>; Edna M. M. Aroucha<sup>1</sup>; Francisco K. G. dos Santos<sup>1</sup>; Ricardo H. de L. Leite<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Centro de Engenharias, Av. Francisco Mota, 572 - Bairro Costa e Silva, Mossoró RN | CEP: 59.625-900

**Palavras-Chave:** bioplástico, biopolímero, hidrocoloide.

### **Introdução**

As embalagens de alimentos representam um dos maiores usos de plásticos no mundo moderno, desempenhando um papel crucial na conservação e segurança alimentar. No entanto, o impacto ambiental do descarte destas embalagens quando produzidas com plásticos não biodegradáveis e/ou oriundos de fontes fósseis é preocupante. Feitos a partir de monômeros derivados do petróleo — uma fonte não renovável — plásticos convencionais são notoriamente persistentes no ambiente, permanecendo por centenas de anos e contribuindo significativamente para a poluição dos ecossistemas e para o aumento dos níveis de carbono atmosférico quando incinerados (PHELAN *et al.*, 2022; HELMES *et al.*, 2022).

Em decorrência das questões ambientais envolvidas, há um crescente interesse no desenvolvimento de alternativas sustentáveis às embalagens plásticas tradicionais. Nesse sentido, plásticos biodegradáveis elaborados a partir de polissacarídeos e proteínas (biopolímeros) têm se destacado como opções ecológicas promissoras na substituição de materiais plásticos convencionais (WANG, QIAN e DING, 2018). Formulações contendo biopolímeros e os aditivos adequados (plastificantes, agentes hidrofóbicos, reforços, surfactantes etc.) podem oferecer soluções viáveis para a conservação de alimentos, com impactos ambientais reduzidos. No entanto, ainda há muitos desafios tecnológicos a serem suplantados antes de termos uma ampla substituição dos plásticos convencionais por bioplásticos nas embalagens alimentícias. Um destes desafios é a redução do caráter hidrófilo dos biopolímeros. A elevada hidrofília de biopolímeros produz taxas elevadas de permeabilidade ao vapor de água em filmes produzidos à base destes materiais. Tal fato é prejudicial quando o filme é usado como embalagem de alimentos com elevada atividade de água, pois o material hidrofílico não consegue agir como uma barreira adequada à perda de umidade do alimento para a atmosfera circundante. Uma solução para reduzir a permeabilidade ao vapor de água de filmes biopoliméricos é adicionar na matriz do polímero substâncias hidrofóbicas como as ceras (ESHETU *et al.*, 2019). Porém, a homogeneização de uma cera (substância hidrofóbica) na matriz hidrofílica do biopolímero traz a dificuldade da imiscibilidade que tais substâncias apresentam entre si. No intuito de realizar a incorporação de ceras em biopolímeros são empregados tensoativos para reduzir a tensão interfacial e facilitar a mistura das fases. Em todo caso, a presença de partículas de cera dispersas na matriz biopolimérica pode levar a um espalhamento da luz e aumentar a opacidade (redução da transparência) dos filmes obtidos. Também, variações de cor podem ser observadas devido à presença de substâncias, como os carotenóides, presentes em algumas ceras. O aumento da opacidade e da cor de filmes utilizados para a embalagem de alimentos pode ser indesejável

por dificultar a visualização do produto pelos consumidores. Além da redução da hidrofília dos biopolímeros, o aumento da resistência mecânica destes materiais é interessante para aplicações em embalagens e pode ser realizada pela adição de fibras como a celulose o que também pode afetar as propriedades ópticas dos filmes bioplásticos obtidos.

A quitosana, um polissacarídeo derivado da quitina, presente em exoesqueletos de crustáceos, por exemplo, tem sido amplamente estudada por suas potencialidades na confecção de embalagens e coberturas alimentícias. Embora os filmes de quitosana possuam características vantajosas, como ação antimicrobiana e transparência, eles apresentam limitações significativas devido à sua natureza hidrofílica, que comprometem a eficácia na retenção de umidade dos alimentos (WANG, QIAN E DING, 2018). A cera de abelha é uma mistura complexa composta por ésteres de ácidos graxos e álcoois de cadeia longa, produzida naturalmente pelas abelhas operárias (CRUZ, 2021). Sua estrutura química hidrofóbica confere-lhe propriedades significativas de resistência e barreira à umidade (Maia, Porte e Souza, 2000). Além disso, a celulose, um dos polímeros naturais mais abundantes, tem sido utilizada como de reforço em materiais poliméricos, aproveitando suas excelentes propriedades mecânicas (LIM; RUBINO, 2008).

Nesse contexto, uma alternativa que pode ser considerada na produção de filmes para embalagens é a combinação de quitosana (biopolímero), cera de abelha (agente hidrofóbico) e celulose cristalina (reforço mecânico), buscando a redução da permeabilidade ao vapor de água e aumento da resistência mecânica. Segundo Antoniazzi (2023), a integração desses materiais naturais pode proporcionar vantagens significativas, como biocompatibilidade, biodegradabilidade e propriedades físico-químicas distintas, que podem ser aproveitadas na formulação dos filmes.

Este estudo visou desenvolver filmes compósitos de quitosana, cera de abelha e celulose microcristalina, com a adição do tensoativo tween 80. Através do desenvolvimento de formulações para confecção de filmes, seguindo um Planejamento Central Composto, determinando a cor e opacidade dos filmes em função de sua composição. Este trabalho pretende contribuir para o avanço na formulação de embalagens biodegradáveis, promovendo soluções mais sustentáveis e eficazes para a indústria alimentícia.

## **Material e Métodos**

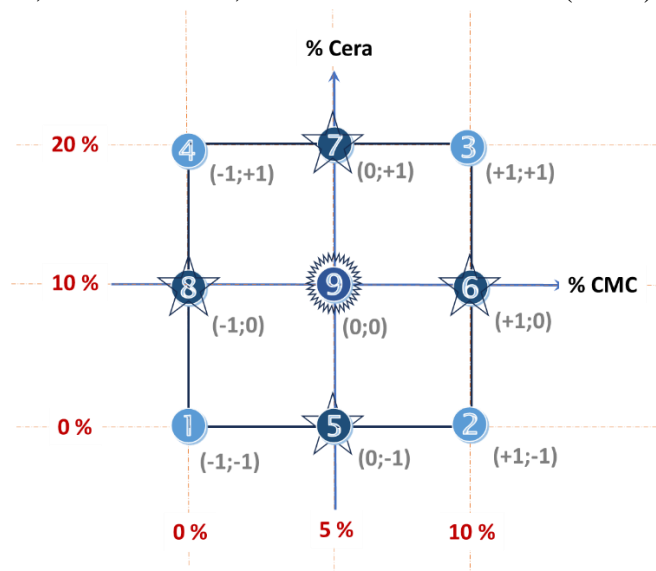
a) **Materiais** – A quitosana utilizada foi adquirida da empresa Polymar/Brasil - CE. A cera de abelha foi obtida de apicultores da região de Mossoró/RN. A celulose microcristalina (CMC) e o tween 80 foram adquiridos da empresa VETEC/Brasil-RJ.

b) **Preparação dos filmes compósitos de quitosana, cera de abelha e celulose microcristalina** – A quitosana foi dissolvida em uma solução de ácido acético 2%, sob agitação mecânica, até completa dissolução. A celulose microcristalina foi previamente inchada com a mesma solução de ácido acético 2% e, em seguida, incorporada à solução de quitosana. A cera de abelha foi aquecida até a fusão completa seguida da adição do tensoativo tween 80. A solução de quitosana contendo CMC dispersa foi adicionada lentamente à mistura de cera de abelha e

tween 80, sob agitação constante, ambas na temperatura de 80 °C, totalizando uma massa de 50 g de solução filmogênica, transferida para uma forma quadrada de 15cm de lado. Diversas misturas foram preparadas de acordo com o planejamento experimental estabelecido, cujos fatores são as concentrações dos aditivos. Os filmes compósitos foram produzidos pela deposição das misturas filmogênicas em placas de acrílico após atingirem a temperatura de 45 °C, sendo submetidos a um repouso de 24h em bancada, logo após sendo submetidos à secagem em estufa à temperatura de 40 °C, visando a posterior remoção mecânica dos filmes formados.

b.1) **Composição dos filmes** - A composição dos filmes mistos foi determinada por meio de um planejamento experimental, apresentando 9 (nove) formulações de filmes mistos. O planejamento constou de quatro pontos fatoriais (pontos 1 a 4), quatro pontos axiais (pontos 5 a 8) e quatro repetições no ponto central (pontos 9.1 a 9.4), totalizando 12 (doze) ensaios experimentais. Utilizou-se uma concentração de matéria seca de 2%, o percentual de tween 80 foi fixado em 10% do teor de cera de abelha utilizado em cada ensaio.

**Figura 01** – Planejamento experimental do tipo central composto utilizado nas formulações dos filmes de quitosana, cera de abelha, celulose microcristalina (CMC) e tween 80



### c) Determinação da cor e opacidade dos filmes

c.1) **Cor** – A cor foi medida através dos parâmetros  $L^*$  (brilho),  $a^*$  (verde e vermelho) e  $b^*$  (azul e amarelo), determinados por reflectometria usando um colorímetro portátil (Konica Minolta Sensing Inc. Japão) calibrado contra um fundo preto padrão ( $L^* = 1$ ,  $a^* = 0$  e  $b^* = 0$ ).

c.2) **Opacidade** - A opacidade foi medida através da absorvância medida com o uso de um espectrofotômetro UV-vis (THERMO modelo EVO-600PC) calibrado a 600 nm, utilizando três amostras de cada filme, em seguida, coletando também a espessura (em milímetros) com o auxílio de um micrômetro. A opacidade foi calculada dividindo-se a absorvância a 600 nm pela espessura do filme em milímetros (ACHACHLOUEI E ZAHEDI, 2018).

d) **Tratamento estatístico** – Adotou-se um planejamento experimental com dois fatores: concentrações de cera de abelha e celulose microcristalina. Foi utilizada a metodologia de superfície de resposta para analisar os resultados. As análises estatísticas dos dados foram realizadas com o software Statistica (versão 13.3, TIBCO Inc., USA). Modelos polinomiais

foram utilizados para descrever os parâmetros de cor e a opacidade em função das concentrações de cera e CMC utilizados. As superfícies de resposta foram traçadas para os modelos que apresentaram um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) igual ou superior a 0,75.

## Resultados e Discussão

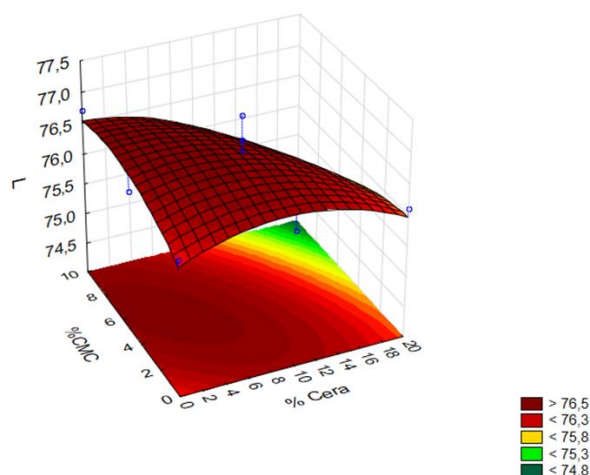
A Tabela 01 apresenta os parâmetros de cor e a opacidade dos filmes de quitosana contendo diferentes teores de cera de abelha e celulose microcristalina, segundo o planejamento experimental adotado

**Tabela 01** – Resultados de cor e opacidade para filmes de quitosana contendo diferentes concentrações de cera de abelha e celulose microcristalina (CMC)

Ensaio Nº	% Cera de abelha	% Celulose microcristalina	Parâmetros de cor			Opacidade mm <sup>-1</sup>
			L*	a*	b*	
1	0	0	76,2	2,5	16,9	2,34
2	0	10	76,7	3,1	13,8	4,71
3	20	10	74,9	2,9	19,1	14,74
4	20	0	76,1	2,7	16,0	14,49
5	0	5	76,3	2,8	15,6	2,82
6	10	10	75,7	0,4	17,1	6,82
7	20	5	75,3	2,8	19,0	13,62
8	10	0	76,2	0,3	16,1	8,64
9.1	10	5	76,4	4,0	15,0	10,44
9.2	10	5	77,1	4,3	11,6	7,98
9.3	10	5	76,7	4,6	12,9	5,19
9.4	10	5	76,5	3,9	13,4	7,87

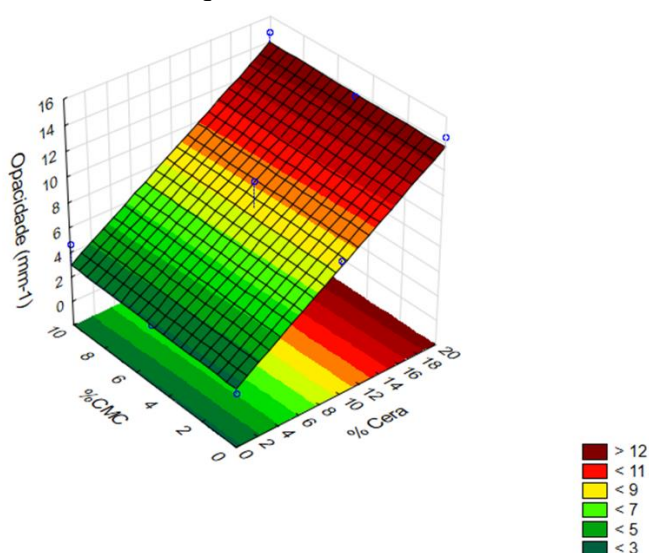
A análise dos resultados revelou que a variação do parâmetro de cor L\* (preto - branco) pode ser descrita de forma satisfatória ( $R^2 = 0,801$ ) em função das concentrações de cera de abelha e celulose microcristalina (Figura 02). Observou-se uma diminuição no valor de L\* com o aumento da porcentagem de cera, indicando que os filmes se tornam mais brancos com a adição de cera. O teor de CMC, isoladamente, não teve um efeito significativo sobre L\*, mas a interação entre a cera e o CMC potencializou o efeito da cera, resultando em uma redução ainda maior do valor de L\*.

**Figura 02** – Variação do parâmetro de cor L\* (preto – branco) em função das concentrações de cera de abelha e celulose microcristalina (CMC) nos filmes de quitosana



Por outro lado, os parâmetros  $a^*$  (verde-vermelho) e  $b^*$  (azul-amarelo) não apresentaram variação significativa em função dos teores de cera e CMC. A opacidade dos filmes, medida em  $\text{mm}^{-1}$ , mostrou um ajuste adequado ( $R^2 = 0,893$ ), aumentando linearmente com o aumento do teor de cera (Figura 03). O teor de CMC não teve um efeito significativo na opacidade. Filmes com maior teor de cera (Filmes 3 e 7) apresentaram valores de opacidade de 14,74 e 13,62  $\text{mm}^{-1}$ , respectivamente, enquanto os filmes sem cera (Filmes 1 e 5) exibiram os menores valores de opacidade, de 2,34 e 2,82  $\text{mm}^{-1}$ .

**Figura 03** – Variação da opacidade em função das concentrações de cera de abelha e celulose microcristalina (CMC) nos filmes de quitosana



## Conclusões

A adição de cera de abelha nas formulações dos filmes compósitos de quitosana e celulose microcristalina aumenta significativamente a opacidade e a aparência dos filmes, tornando-os mais brancos. A celulose microcristalina, por sua vez, não teve um impacto significativo isoladamente sobre a cor e a opacidade dos filmes, mas sua interação com a cera de abelha mostrou ser importante para ajustar as propriedades dos filmes. Esses resultados são promissores para a formulação de materiais com características ópticas específicas e podem orientar futuros desenvolvimentos na produção de filmes compósitos para diversas aplicações.

## Agradecimentos

O autor Rivaldan da S. Ferreira agradece ao CNPq pela bolsa de iniciação científica que possibilitou a realização deste estudo.

## Referências

ACHACHLOUEI, B. F.; ZAHDI, Y. Fabrication and characterization of CMC-based nanocomposites reinforced with sodium montmorillonite and TiO<sub>2</sub> nanomaterials. *Carbohydrate Polymers*, v. 199, p. 415–425, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.07.031>.

ANTONIAZZI, C. Influência do uso de diferentes concentrações de agente reticulante na produção de filmes biodegradáveis à base de soro de leite e gelatina. 2023. 106 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Universidade de Caxias do Sul, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ucs.br/xmlui/handle/11338/12497?show=full>. Acesso em: 19 fev. 2024.

CRUZ, F. B. da. Investigação da atividade antioxidante da própolis de abelha *Apis mellifera*: uma revisão. 2021. 194 f., il. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Farmácia) — Universidade de Brasília, Brasília, 2021. Disponível em: <https://bdm.unb.br/handle/10483/37586>. Acesso em: 19 fev. 2024.

ESHETU, A. *et al.* Effect of beeswax and chitosan treatments on quality and shelf life of selected mango (*Mangifera indica* L.) cultivars. *Heliyon*, v. 5, e01116, 2019.

HELMES, R. J. K. *et al.* Environmental impacts of end-of-life options of biobased and fossil-based polyethylene terephthalate and high-density polyethylene packaging. *Sustainability*, v. 14, e11550, 2022.

LIM, L.-T.; AURAS, R.; RUBINO, M. Processing technologies for poly (lactic acid). *Progress in Polymer Science*, v. 33, n. 8, p. 820-852, 2008.

MAIA, L. H.; PORTE, A.; SOUZA, V. F. Filmes comestíveis: aspectos gerais, propriedades de barreira à umidade e oxigênio. *Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos*, v. 18, n. 1, 2000.

PHELAN, A. *et al.* Plastic pollution and packaging: Corporate commitments and actions from the food and beverage sector. *Journal of Cleaner Production*, v. 331, e129827, 2022.

SADEGHI-VARKANI, A.; EMAM-DJOMEH, Z.; ASKARI, G. Morphology and physicochemical properties of a novel *Lallemantia iberica* mucilage/titanium dioxide bio-nanocomposite. *Polymer Testing*, v. 67, p. 12–21, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2018.02.006>.

WANG, H.; QIAN, J.; DING, F. Emerging chitosan-based films for food packaging applications. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 66, p. 395-413, 2018.