



## **Síntese e caracterização de filmes de metilcelulose reticulada contendo nanopartículas de prata biorreduzidas**

Erica Gabrieli dos Santos da Silva | [ericagabrieli31@gmail.com](mailto:ericagabrieli31@gmail.com)<sup>1</sup>

Michael Ramos Nunes | [michael.nunes@ifsc.edu.br](mailto:michael.nunes@ifsc.edu.br)<sup>2</sup>

Jaqueline Suave | [jaqueline.suave@ifsc.edu.br](mailto:jaqueline.suave@ifsc.edu.br)<sup>3</sup>

Trabalho de Pesquisa  
DT 2 - Meio Ambiente, Agroindústrias, Territórios e Sustentabilidade Socioambiental

### **Resumo:**

O desenvolvimento de filmes biodegradáveis à base de metilcelulose (MC) tem ganhado destaque como alternativa sustentável para embalagens de alimentos, especialmente quando funcionalizados com nanopartículas de prata (AgNPs). Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo sintetizar filmes de MC reticulada contendo AgNPs e avaliar suas propriedades físicas. As nanopartículas foram obtidas por biorredução com óleo essencial de eucalipto, enquanto os filmes foram preparados por solubilização em solução de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e reticulados com 30% (m/m) de ácido adípico, com auxílio de tratamento térmico. Os resultados mostraram que a reticulação aumentou a rigidez, a estabilidade térmica global e a opacidade, além de reduzir o grau de intumescimento. Por outro lado, a incorporação de AgNPs elevou o grau de intumescimento e restabeleceu as propriedades mecânicas a níveis próximos aos dos filmes de MC pura.

**Palavras-chave:** metilcelulose; nanopartículas de prata; reticulação; embalagens para alimentos.

### **Introdução**

O desenvolvimento de filmes à base de metilcelulose (MC) funcionalizados com nanopartículas de prata (AgNPs) representa uma estratégia promissora para a obtenção de materiais sustentáveis com propriedades aprimoradas. Por ser um polímero biodegradável, a MC, apresenta grande potencial para diversas aplicações. Nesse contexto, a incorporação de AgNPs pode conferir propriedades adicionais aos filmes, como atividade antimicrobiana, além de modificar as características mecânicas e térmicas da matriz polimérica.

---

<sup>1</sup> Estudante do curso de Engenharia Química do Instituto Federal de Santa Catarina – Câmpus Lages

<sup>2</sup> Professor da área de Ambiente e Saúde do Instituto Federal de Santa Catarina – Câmpus Lages

<sup>3</sup> Professor da área de Ambiente e Saúde do Instituto Federal de Santa Catarina – Câmpus Lages

Entretanto, devido à sua solubilidade em água, a reticulação da MC torna-se uma abordagem necessária para modificar a estrutura e o desempenho dos filmes, especialmente quando aplicados em embalagens para alimentos. Assim, a compreensão dos efeitos combinados da reticulação e da incorporação de AgNPs sobre as propriedades dos filmes é essencial para o desenvolvimento de materiais mais eficientes.

Dessa forma, visando à aplicação em embalagens para alimentos, o presente trabalho apresenta a síntese e a caracterização física de filmes de MC reticulados com ácido adípico, contendo AgNPs obtidas por biorredução.

## **Fundamentação teórica**

Filmes de metilcelulose vem sendo estudados para uso em embalagens biodegradáveis para alimentos. Este biopolímero derivado da celulose apresenta grupamentos metilas em substituição às hidroxilas e, com isso, as ligações de hidrogênio entre as cadeias são enfraquecidas, tornando a MC solúvel em água (Park; Ruckenstein, 2001).

Para evitar a solubilização da MC, é possível recorrer à reticulação de suas cadeias poliméricas, o que auxilia no melhoramento da estabilidade dimensional dos filmes (Capanema; Mansur; Mansur, 2016). A reticulação pode ser realizada por meio de esterificação dos grupamentos hidroxila da MC na presença de um ácido carboxílico, como o ácido adípico (AD) (Park; Ruckenstein, 2001).

Atualmente, as nanopartículas de prata têm sido utilizadas como uma alternativa inovadora na conservação de alimentos, devido à sua alta atividade antimicrobiana, além de atuarem como carga em filmes poliméricos (Nunes et al., 2018). A síntese das AgNPs pode ser realizada por biorredução, utilizando extratos vegetais ou óleos essenciais de diversas plantas, constituindo um método alternativo de química verde que contribui para a redução do uso de reagentes químicos (Maciel et al., 2020).

## **Procedimentos metodológicos**

As AgNPs foram sintetizadas por biorredução utilizando óleo essencial de eucalipto (*Eucalyptus saligna*), extraído das folhas por hidrodestilação em aparelho de Clevenger, a

100 °C, por um período de 3 horas. Para a formação das AgNPs, 2 mL do óleo essencial previamente diluído em acetona (1:170 v/v) foram adicionados, gota a gota, a 30 mL de solução de  $\text{AgNO}_3$  0,3 mmol·L<sup>-1</sup>, com pH ajustado para 9, mantendo-se o sistema a 100 °C sob agitação constante.

Os filmes de MC foram preparados pela dissolução de 1 g da mistura MC:AD (70:30, m/m) em 50 mL de solução de sulfato de sódio 0,05 M a 55 °C, com base em adaptações do método proposto por Bonetti, De Nardo e Farè (2021). Após agitação magnética por 30 min, a solução foi homogeneizada em ultra-Turrax a 4000 rpm por 2 min e, em seguida, vertida em placas de Petri de 145 mm de diâmetro, sendo posteriormente seca em estufa a 35 °C. Na sequência, procedeu-se à conclusão da reticulação dos filmes por tratamento térmico a 190 °C por 15 min. Para a obtenção dos filmes contendo AgNPs, 30 mL da solução de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  foram substituídos pela solução de síntese das nanopartículas, mantendo-se as demais etapas conforme descrito anteriormente.

As caracterizações físicas realizadas para os filmes de MC, contendo ou não AgNPs, incluíram grau de intumescimento (GI), opacidade, resistência mecânica e análise termogravimétrica (TGA). Para o teste de intumescimento, seções de 2×2 cm de cada filme foram pesadas ( $m_0$ ) e, em seguida, imersas em 40 mL de água deionizada por até 60 min, sendo novamente pesadas em intervalos de tempo predeterminados ( $m_i$ ). O grau de intumescimento foi calculado conforme a Equação 1:

$$GI(\%) = \frac{m_i - m_0}{m_0} \times 100 \quad (\text{Eq. 1})$$

Para o ensaio de opacidade, os filmes foram analisados em um espectrofotômetro UV-Vis (Bel SPECTRO LGS53), medindo-se a absorvância (ABS) nos comprimentos de onda de 200 e 550 nm. A opacidade foi então calculada por meio da Equação 2:

$$\text{Opacidade} = \frac{ABS_{200 \text{ ou } 550 \text{ nm}}}{\text{espessura (mm)}} \quad (\text{Eq. 2})$$

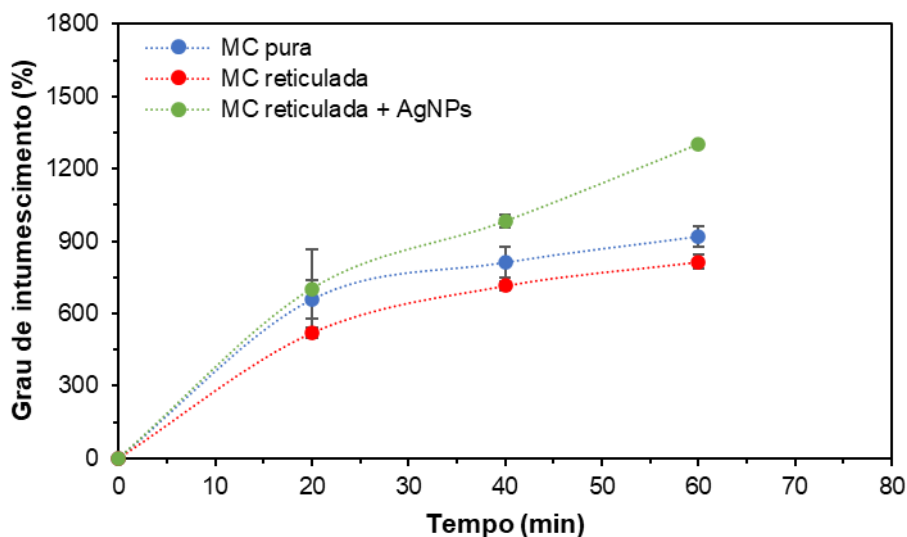
Os ensaios de resistência à tração foram realizados em uma máquina universal de ensaios (Impac IP-90COM), equipada com célula de carga de 100 kgf. Para cada amostra, foram analisadas dez seções de 7×2,5 cm, obtendo-se valores de módulo de Young,

resistência à tração e alongamento na ruptura. A análise termogravimétrica foi realizada em equipamento DTG-60 (Shimadzu), sob atmosfera de  $N_2$ , com aquecimento da temperatura ambiente até  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ , à taxa de  $10\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ .

## Resultados e discussões

Na Figura 1, é possível observar o aumento do grau de intumescimento dos filmes ao longo do tempo. Verifica-se que o filme de MC reticulada apresentou menores valores de GI em comparação ao filme de MC pura, indicando a ocorrência de reticulação e, conseqüentemente, uma rede polimérica mais restrita à absorção de água. Por outro lado, os filmes com AgNPs apresentaram valores de GI maiores, sugerindo que as AgNPs podem promover modificações estruturais na matriz polimérica, favorecendo a absorção de água.

Figura 1 – Grau de intumescimento para os diferentes filmes



Fonte: elaborada pelos autores (2026).

Os valores de opacidade dos filmes são apresentados na Tabela 1. Os resultados mostram que a absorção na região do UV (200 nm) não apresentou variações significativas entre os diferentes filmes. Em contrapartida, na região do visível (550 nm), observou-se um aumento da opacidade nos filmes reticulados, sugerindo maior dispersão da luz devido às alterações morfológicas da matriz polimérica. Por outro lado, a presença de AgNPs resultou

em um comportamento intermediário, possivelmente associado às interações ópticas das nanopartículas com a matriz de MC (Nunes et al., 2018; Maity et al., 2012).

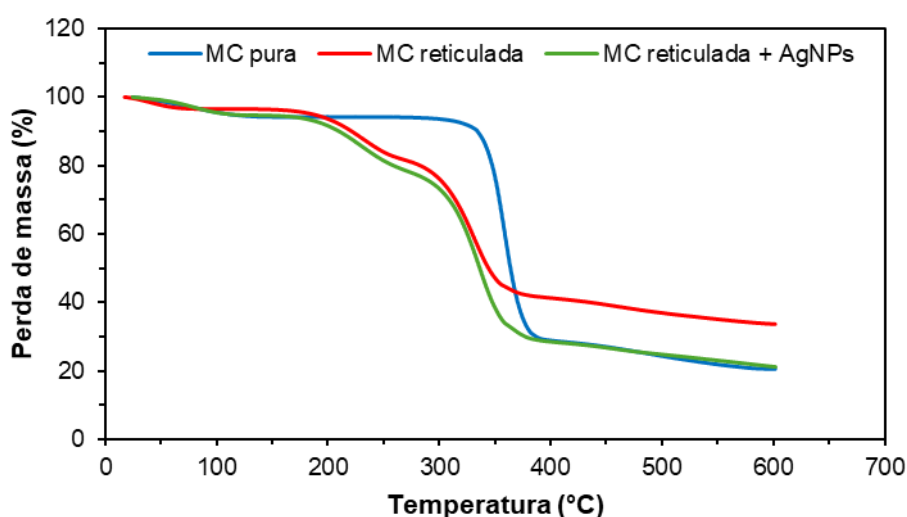
Tabela 1 – Opacidade (ABS/mm) para os diferentes filmes

| Filme                 | ABS <sub>200nm</sub> | ABS <sub>550nm</sub> |
|-----------------------|----------------------|----------------------|
| MC pura               | 7,4 ± 0,5            | 4,4 ± 1,1            |
| MC reticulada         | 7,3 ± 1,6            | 9,2 ± 2,4            |
| MC reticulada + AgNPs | 7,7 ± 2,7            | 7,8 ± 2,4            |

Fonte: elaborada pelos autores (2026).

Os resultados da análise termogravimétrica dos filmes são apresentados na Figura 2, evidenciando até três etapas principais de perda de massa. A primeira, abaixo de 150 °C, está associada à evaporação de água adsorvida. A segunda, entre 150 e 300 °C, ocorre apenas nos filmes que contêm ácido adípico e pode estar relacionada à decomposição térmica de AD livre. A terceira etapa, acima de 300 °C, corresponde à decomposição térmica da MC.

Figura 2 – Análise termogravimétrica para os diferentes filmes



Fonte: elaborada pelos autores (2026).

Nota-se que os filmes contendo agente reticulante apresentaram redução na temperatura de início da decomposição da MC. No entanto, o filme reticulado, sem AgNPs, exibiu maior teor de resíduo final, indicando que a reticulação também favorece a formação

de estruturas mais resistentes ao aquecimento. Já o filme contendo AgNPs apresentou quantidade de resíduo semelhante ao de MC pura, sugerindo um possível efeito catalítico das nanopartículas no processo de decomposição. Adicionalmente, a presença de sulfato de sódio em todas as formulações contribui para o resíduo final devido à sua estabilidade térmica.

Na Tabela 2 são apresentadas as propriedades mecânicas dos filmes. Observa-se que a reticulação promoveu o aumento no módulo de Young, indicando maior rigidez do material, porém com diminuição da resistência à tração e do alongamento na ruptura, caracterizando um material mais frágil. Por outro lado, os filmes contendo AgNPs mostraram aumento da resistência à tração e do alongamento na ruptura, sugerindo maior ductilidade. De acordo com Maity et al. (2012) e Nunes et al. (2018), esse comportamento pode ser atribuído às interações entre as AgNPs e as cadeias de MC, que modificam a resposta mecânica dos filmes.

Tabela 2 – Propriedades mecânicas para os diferentes filmes

| Filme                 | Módulo de Young (MPa) | Resistência à tração (MPa) | Alongamento na ruptura (%) |
|-----------------------|-----------------------|----------------------------|----------------------------|
| MC pura               | 491,0 ± 107,0         | 28,8 ± 8,0                 | 9,0 ± 3,3                  |
| MC reticulada         | 709,7 ± 228,6         | 18,3 ± 9,6                 | 3,0 ± 0,8                  |
| MC reticulada + AgNPs | 546,6 ± 173,8         | 30,4 ± 11,1                | 13,9 ± 6,7                 |

Fonte: elaborada pelos autores (2026).

## Considerações finais

Os resultados obtidos demonstram que a reticulação e a incorporação de AgNPs influenciam as propriedades dos filmes. A reticulação promoveu maior rigidez e estabilidade térmica global, além de reduzir o grau de intumescimento. Por sua vez, a adição de AgNPs restabelece as propriedades mecânicas dos filmes a valores semelhantes aos de MC pura e eleva de forma expressiva o grau de intumescimento, o que pode comprometer sua aplicação em embalagens para alimentos. Em contrapartida, o aumento da opacidade na região do visível, observado nos filmes reticulados, favorece sua utilização como material de embalagem, ao contribuir para a proteção do alimento contra processos de deterioração induzidos pela luz.



## Referências

BONETTI, L.; DE NARDO, L.; FARÈ, S. Chemically crosslinked methylcellulose substrates for cell sheet engineering. **Gels**, v. 7, art. 141, 2021.

CAPANEMA, N. S. V.; MANSUR, A. A. P.; MANSUR, H. S. Reticulação de hidrogéis de carboximetilcelulose com ácido cítrico para aplicações biomédicas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIAS DOS MATERIAIS. 22., 2016, Natal. **Anais [...]** Natal: [s.n.], 2016. p. 1609-1620.

MACIEL, M. V. O. B. et al. Green synthesis, characteristics and antimicrobial activity of silver nanoparticles mediated by essential oils as reducing agents. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 28, art. 101746, 2020.

MAITY, D. et al. Synthesis of methylcellulose-silver nanocomposite and investigation of mechanical and antimicrobial properties. **Carbohydrate Polymers**, v. 90, p. 1818-1825, 2012.

NUNES, M. R. et al. Antioxidant and antimicrobial methylcellulose films containing *Lippia alba* extract and silver nanoparticles. **Carbohydrate Polymers**, v. 192, p. 37-43, 2018.

PARK, J.-S.; RUCKENSTEIN, E. Viscoelastic properties of plasticized methylcellulose and chemically crosslinked methylcellulose. **Carbohydrate Polymers**, v. 46, p. 373-381, 2001.