



**TECIDO DE ALGODÃO FUNCIONALIZADO COM NANOPARTÍCULAS DE PRATA
SINTETIZADAS *IN SITU* UTILIZANDO *KAPPA*-CARRAGENA COMO RECOBRIMENTO E
SUPORTE PARA APLICAÇÃO BACTERICIDA**

*Cotton fabric functionalized with in situ synthesized silver nanoparticles analyzing
the effectiveness of using kappa-carrageenan as a coating and support for
bactericidal application*

Luana Dumas, UFPR, luana@fisica.utfpr.br¹,
Johny Paulo Monteiro, UTFPR, johnymonteiro@utfpr.edu.br²,
Thiago Gomes da Silva, UFPR, thiagog@fisica.ufpr.br³,
Ney Pereira Mattoso Filho, UFPR, mattoso@fisica.ufpr.br⁴

RESUMO: O estudo investigou a funcionalização de tecidos de algodão com propriedades antibacterianas por meio da aplicação de um revestimento à base de um composto de nanopartículas de prata (AgNPs) e *kappa*-carragena (*k*-CA), obtido por síntese verde. As AgNPs foram sintetizadas e estabilizadas *in situ* em solução de *k*-CA. A abordagem foi comparada à incorporação direta de AgNPs no tecido. Os resultados indicaram que o revestimento com o composto *k*-CA/AgNPs promoveu maior deposição de prata na superfície têxtil e maior liberação de íons Ag⁺ em meio aquoso. Ensaio antibacterianos revelaram halos de inibição o que demonstra atividade antibacteriana.

Palavras-chave: tecido antibacteriano; *kappa*-carragena; nanopartículas de prata.

ABSTRACT: The study evaluated the functionalization of cotton fabrics with antibacterial properties through a coating composed of silver nanoparticles (AgNPs) and *kappa*-carrageenan (*k*-CA), obtained via green synthesis. The AgNPs were synthesized and stabilized *in situ* in a *k*-CA solution, and the performance was compared to the direct incorporation of nanoparticles into the fabric. The results showed that the *k*-CA/AgNPs composite coating provided greater silver deposition on the textile surface and higher Ag⁺ ion release in aqueous medium. Antibacterial tests exhibited inhibition halos, confirming the antimicrobial activity of the material.

Keywords: antibacterial fabric; *kappa*-carrageenan; silver nanoparticles.

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por têxteis com propriedades biofuncionais tem impulsionado a integração entre a engenharia têxtil e áreas como nanociência, biotecnologia e ciência dos materiais. Dentre as estratégias adotadas, a incorporação de nanopartículas de prata (AgNPs) (Zhang *et al.*, 2020) em tecidos de algodão tem se

¹M.Sc. Ciência e Engenharia de Materiais;

²D.Sc. Química;

³D.Sc Física;

⁴D.Sc Física;



destacado por sua intensa atividade antimicrobiana, inclusive frente a microrganismos resistentes (Zepon *et al.*, 2018).

Entretanto, os métodos convencionais de síntese de AgNPs apresentam desafios relacionados à toxicidade de reagentes, baixa estabilidade coloidal e lixiviação da prata (Wan *et al.*, 2021). Para contornar essas limitações, tem ganhado destaque o uso de biopolímeros naturais como a *kappa*-carragena (*k*-CA), um polissacarídeo sulfatado que se destaca pela formação de hidrogéis biocompatíveis e pela atuação na síntese controlada de AgNPs (Almeida, 2022).

Apesar disso, a literatura ainda é muito escassa sobre este tema, principalmente no quesito de produção sustentável deste nanocompósito de *k*-CA/AgNPs (DUMAS *et al.*, 2024). Neste trabalho propõe-se uma abordagem sustentável baseada na síntese *in situ* de AgNPs em tecidos de algodão, utilizando *k*-CA como matriz hidrogelificada. A proposta visa aliar eficácia antimicrobiana prolongada, biossegurança e viabilidade para aplicação em curativos inteligentes.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Utilizou-se *kappa*-carragena (*k*-CA) (BERTON *et al.*, 2020) da CP Kelco (Limeira-SP, Brasil). Nitrato de prata (AgNO_3) P.A. (99,0%) da Sigma-Aldrich (Brasil). Ácido nítrico (HNO_3) 65% e o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) 30% da Anidrol (Brasil). Tecido plano, com composição 100% algodão com ligação de tela, e gramatura de 120 g/m^2 , adquirido no mercado local (Apucarana-PR, Brasil).

AgNPs foram sintetizadas diretamente em tecido de algodão por imersão em AgNO_3 (1,0% m/v) a 80°C por 120 minutos (amostras Ag1). Os revestimentos de tecido com *k*-CA e do compósito de tecido com *k*-CA e AgNPs (amostra Ag1C1) foram obtidos a partir de suspensões aquosas de *k*-CA (1,0% m/v), também sob aquecimento e refluxo, seguidas de impregnação do tecido, sendo posteriormente resfriadas, congeladas e liofilizadas.

A liberação de íons Ag^+ foi avaliada após imersão do material em água ultrapura (24 h, 25°C , 100 rpm). A atividade antibacteriana por difusão em disco de ágar contra bactérias Gram-positivas *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923) (*SA*) e Gram-negativas *Escherichia coli* (ATCC 25922) (*EC*). Dimetilsulfóxido (DMSO) (Sigma-Aldrich), ágar



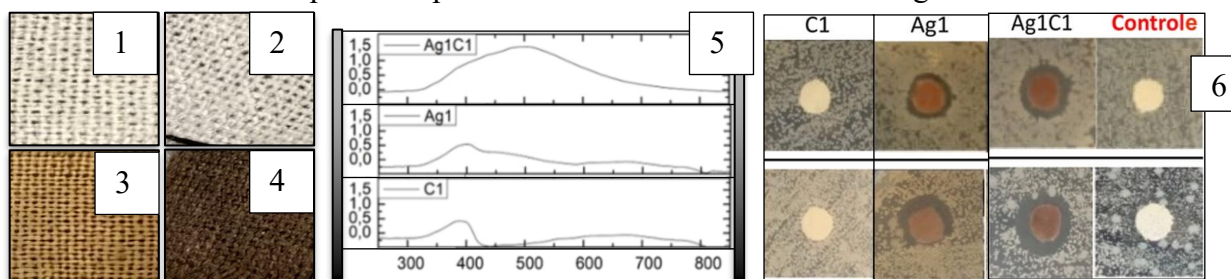
Mueller Hinton BBL e suspensão de *Helicobacter pylori* (*H. pylori*) com densidade celular de 1×10^8 UFC \cdot mL⁻¹ (unidades formadoras de colônias) foram usados para a análise de halo de inibição. Para as propriedades antiadesivas, glicerol, caldo Luria-Bertani, solução salina tamponada com fosfato (PBS) (pH 7,4), glutaraldeído (Sigma-Aldrich), cacodilato de sódio (Sigma-Aldrich), sacarose (Sigma-Aldrich) e etanol absoluto 99,5% (Anidrol, Brasil). Ensaio de adesão e proliferação bacteriana foram realizados em placas de 48 poços e analisados por MEV após fixação com glutaraldeído e secagem gradual em etanol.

Análises estatísticas empregaram ANOVA unidirecional e teste de Tukey ($p < 0,05$). Foram realizadas medidas de refletância de UV-Vis-IR (UBS4000, Ocean Optics). Micrografias das amostras e análise química elementar foram realizadas em um microscópio eletrônico de varredura (MEV) tipo FEG modelo Mira3 (Tescan, República Tcheca) com equipamento de espectroscopia por dispersão em energia (EDS), modelo Aztec (Oxford Inst., UK) acoplado ao microscópio.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A síntese das AgNPs em tecido de algodão foi confirmada pela coloração alaranjada (Figura 1) característica da formação de AgNPs e os grupos hidroxila da estrutura química da celulose (algodão), foram possivelmente, responsáveis pela redução dos íons de prata (Ag^+) para prata metálica (Ag^0). A aplicação da *k*-CA ao tecido gerou um filme de hidrogel transparente aderido à superfície das fibras de algodão devido à boa interação entre os grupos hidroxila das matrizes poliméricas de *k*-CA e grupos hidrofílicos na celulose (DUMAS et al., 2024).

Figura 1 – Imagens dos materiais (1-Controle / 2- C1 / 3- Ag1 / 4- Ag1C1) / 5- Gráficos de espectroscopia UV-vis / 6- Teste de difusão em ágar.



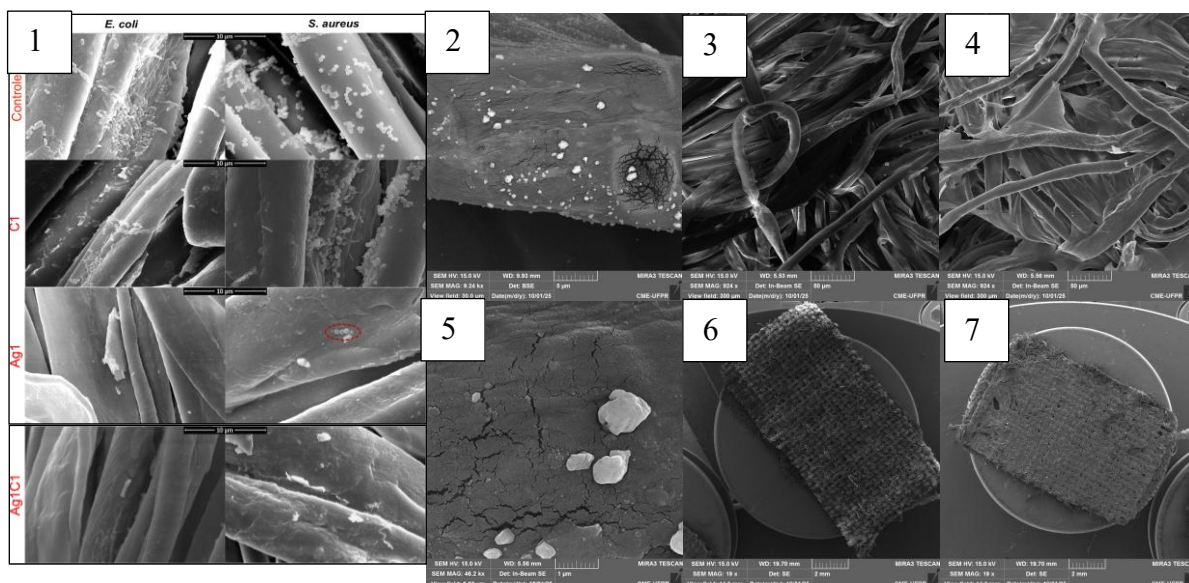
Fonte: Autores (2025).



A análise de espectroscopia UV-vis (Figura 1) da amostra C1 apresentou absorção característica do hidrogel de *k*-CA; Ag1 mostrou uma banda em 410 nm, atribuída à ressonância plasmônica (LSPR) das AgNPs, além de um sinal mais fraco e amplo em torno de 450 nm, indicando a presença de AgNPs mais agregadas e menos homogêneas. Ag1C1 apresentou uma banda larga que combinou as absorções de *k*-CA (antes de 400 nm) e AgNPs (em torno de 500 nm).

Imagens de MEV na Figura 2, imagens 4 e 7, mostraram filmes lisos e descontínuos nas superfícies das amostras com *k*-CA, evidenciando a formação do hidrogel, ao contrário do observado nas amostras de controle, imagens 3 e 6. A presença de AgNPs também foi observada na imagem 2, com cor contrastante, devido ao uso do sensor de elétrons retroespalhados, e na imagem 5 utilizou-se sensor de elétrons secundários.

Figura 2 –Imagens de MEV: (1) após o ensaio antiadesivo contra bactérias *EC* e *SA* / (2) (4) (5) (7) Ag1C1 / (3) (6) amostra controle.



Fonte: Autores (2025).

No EDS, os picos de carbono (C) e oxigênio (O) correspondem às cadeias poliméricas do algodão e da *k*-CA; detectou-se a presença de teores de enxofre e potássio, característicos do polissacarídeo sulfatado *k*-CA. Por fim, os picos de Ag confirmam a presença de metal prata em formas nanoparticuladas ou pequenos aglomerados.



Os testes de difusão em ágar revelaram que todos os materiais contendo AgNPs exibiram halos de inibição (Figura 1), indicando efetiva ação bactericida contra *EC* e *SA*. As imagens de MEV obtidas após os ensaios antiadesivos (Figura 2) confirmaram que bactérias aderiram apenas às superfícies do algodão controle e dos tecidos recobertos exclusivamente com *k*-CA.

O ensaio de liberação de íons de prata (Ag^+) avaliou a quantidade liberada pelos tecidos contendo AgNPs. A análise por FAAS mostrou que o material Ag1C1 apresentou a maior concentração liberada ($0,38 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}$), indicando que o hidrogel de *k*-CA não atua como barreira, mas facilita a difusão dos íons Ag^+ . As quantidades liberadas estão abaixo dos níveis tóxicos e não causam irritação cutânea.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo desenvolveu um revestimento antibacteriano à base de hidrogel de *k*-CA AgNPs aplicado a tecidos de algodão. Os materiais revestidos com *k*-CA/AgNPs demonstraram propriedades antiadesivas e desempenho antibacteriano superior, especialmente contra *SA*, quando comparados aos tecidos tratados apenas com AgNPs.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, D. A.; DE OLIVEIRA, A. C.; KLEIN, R. S.; BONAFE, E. G.; KIPPER, M. J.; MARTINS, A. F.; MONTEIRO, J. P. **κ -Carrageenan-Capped Core-Shell Gold@silver Nanoparticles: Optical Device for Hydrogen Peroxide Detection.** Nano-Struct. Nano-Objects, v. 30, p.100861, 2022.

BERTON, S. B. R.; DE JESUS, G. A. M.; SABINO, R. M.; MONTEIRO, J. P.; VENTER, S. A. S.; BRUSCHI, M. L.; POPAT, K. C.; MATSUSHITA, M.; MARTINS, A. F.; BONAFE, E. G. **Properties of a Commercial κ -Carrageenan Food Ingredient and Its Durable Superabsorbent Hydrogels.** Carbohydr. Res., v. 487, p. 107883, 2020.

DUMAS, L.; SOUZA, M. C.; BONAFE, E. G.; MARTINS, A. F.; MONTEIRO, J. P. **Optimized Incorporation of Silver Nanoparticles onto Cotton Fabric Using κ -Carrageenan Coatings for Enhanced Antimicrobial Properties.** ACS Appl. Bio Mater. V. 7, p. 6908–6918, 2024.

ZEPON, K. M.; MARQUES, M. S.; DA SILVA PAULA, M. M.; MORISSO, F. D. P.; KANIS, L. A. **Facile, Green and Scalable Method to Produce Carrageenan-Based Hydrogel Containing *in Situ* Synthesized AgNPs for Application as Wound Dressing.** Int. J. Biol. Macromol., v. 113, p. 51–58, 2018.



COPIMAT

CONFERÊNCIA DE PESQUISA INTEGRADA
EM MATERIAIS DO PPGCEM

*Construindo pontes entre
ciência, engenharia e inovação.*

04 e 05 de novembro de 2025
Apucarana, Paraná

REALIZAÇÃO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS DA UTFPR - Campus Apucarana e Londrina

ZHANG, S.; KAI, C.; LIU, B.; ZHANG, S.; WEI, W.; XU, X.; ZHOU, Z. **Facile Fabrication of Cellulose Membrane Containing Polyiodides and Its Antibacterial Properties.** Appl. Surf. Sci., v. 500, p. 144046, 2020.

WAN, H.; LI, C.; MAHMUD, S.; LIU, H. ***Kappa* Carrageenan Reduced Stabilized Colloidal Silver Nanoparticles for the Degradation of Toxic Azo Compounds.** Colloids Surf., v. 616, p. 126325, 2021.