AVALIAÇÃO ANTIFÚNGICA DO GOFRESH EU® APLICADO EM DIFERENTES SUBSTRATOS TÊXTEIS

Juliana Goulart De Paiva[1,2], Sônia Khouri Sibelino[3], Guilherme Rodrigues Teodoro[2], Anelise C. O. C. Doria[1]

[1] Universidade do Vale do Paraíba, Centro de Diagnóstico Laboratorial da Univap, São José dos Campos, Paiva2732@gmail.com

[2] Golden Technology Ltda, Centro de Estudos e Análises Microbiológicas, São José dos Campos, guilherme.teodoro@goldentecnologia.com

[3] Laboratório de Plasmas e Processos/Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, khouri@ita.br

Resumo

A contaminação fúngica de substratos têxteis representa um importante problema para áreas hospitalares e industriais, podendo favorecer a biodeterioração das fibras e a disseminação de microrganismos. Neste contexto, o estudo buscou avaliar a eficácia antifúngica do GoFresh EU® aplicado em diferentes substratos têxteis. Para isso, foram realizados ensaios (n=9) com *Aspergillus niger*, *Penicillium chrysogenum* e *Cladosporium sphaerospermum* utilizando a metodologia ASTM E2149-2025 (adaptada) e a norma AATCC TM30-2017. Os resultados demonstraram redução significativa da carga fúngica em todas as concentrações avaliadas quando comparadas ao controle ($p<0,05$), com maior suscetibilidade para *C. sphaerospermum* e *P. chrysogenum*. Nos ensaios em sarja e TNT, observou-se redução progressiva da colonização com o aumento da concentração do produto, sendo obtida proteção total para *P. chrysogenum* e *C. sphaerospermum* em 3,0%. Conclui-se que o GoFresh EU® apresenta potencial aplicação em substratos têxteis, contribuindo para a prevenção da colonização fúngica e dos riscos associados à contaminação em ambientes hospitalares e industriais.

Palavras-chave: Antifúngico. Têxteis. *Aspergillus niger*. *Penicillium chrysogenum*. *Cladosporium sphaerospermum*.

Área do Conhecimento: Biomedicina

Introdução

Os fungos são microrganismos amplamente reconhecidos pela capacidade de colonizar e degradar materiais têxteis. Esse processo afeta fibras naturais, como algodão, linho, lã e seda, bem como materiais sintéticos, incluindo o polipropileno utilizado na fabricação de tecidos não tecidos (TNT) (Ozdemir *et al*., 2026). Esses substratos podem servir como fonte de nutrientes para o metabolismo fúngico que, sob condições favoráveis de pH e temperatura, é potencializado pela produção de diversas enzimas extracelulares (Ahmed *et al*., 2025; Slim *et al*., 2026). Como consequência, ocorre descoloração, perda da integridade das fibras e formação de odores desagradáveis. Além dos danos materiais, esporos e fragmentos de micélio permanecem aderidos aos tecidos, transformando-os em potenciais fômites capazes de contribuir para a dispersão de patógenos no ambiente (Slim *et al*., 2026).

A persistência da contaminação fúngica em têxteis hospitalares, como enxovais e paramentos médicos, representa um fator crítico para a segurança do paciente. A manipulação desses materiais favorece a dispersão aérea de estruturas fúngicas e sua transferência para mãos, superfícies e equipamentos, ampliando o risco de transmissão indireta (Gassmann *et al*., 2025). Esse processo contribui para o aumento das Infecções Relacionadas à Assistência à Saúde (IRAS), especialmente em indivíduos vulneráveis, gerando impactos clínicos e econômicos importantes, como prolongamento da internação, ocupação de leitos e aumento dos custos hospitalares (Fisher *et al*., 2022; Balasubramanian *et al*., 2023; Bezerra *et al*., 2025). Além disso, a contaminação fúngica em substratos têxteis pode causar perdas econômicas significativas à indústria, em decorrência do descarte ou reprocessamento de materiais comprometidos (Hammad *et al*., 2025).

Entre os fungos frequentemente associados a problemas em têxteis destacam-se os gêneros *Aspergillus*, *Penicillium* e *Cladosporium*, amplamente distribuídos no ambiente e capazes de colonizar diferentes substratos. O complexo *Aspergillus spp.* está relacionado às aspergiloses, cuja gravidade depende do estado imunológico do hospedeiro e pode envolver comprometimento sistêmico em casos disseminados (Bongomin *et al*., 2026; Castro-Fuentes *et al*., 2026). Espécies de *Penicillium*,

embora tradicionalmente consideradas colonizadoras ambientais, podem atuar como aeroalérgenos e produzir metabólitos capazes de agravar processos inflamatórios e respiratórios (Rick *et al*., 2016; Zhou *et al*., 2025). De forma semelhante, *Cladosporium* é reconhecido como importante aeroalérgeno, estando associado a manifestações respiratórias, infecções cutâneas e, mais raramente, quadros sistêmicos (Niyazi *et al*., 2026). Em comum, esses gêneros representam risco expressivo para pacientes imunocomprometidos e também são capazes de colonizar e promover a biodeterioração de substratos têxteis naturais e sintéticos (Hammad *et al*., 2025).

Diante desse cenário, a incorporação de agentes antimicrobianos em substratos têxteis surge como uma estratégia promissora para reduzir a colonização fúngica, prevenir infecções associadas à assistência à saúde e minimizar a deterioração das fibras. Entre esses agentes destaca-se o GoFresh EU®, um polímero sintético catiônico que atua por interação eletrostática com a membrana celular microbiana, comprometendo sua integridade. Assim, este estudo teve como objetivo avaliar a eficácia antifúngica de diferentes substratos têxteis tratados com GoFresh EU® em distintas concentrações e tempos de exposição.

Metodologia

O estudo foi conduzido em 3 ensaios distintos em triplicata (n = 9) para cada condição experimental e foi dividido em duas etapas. Na etapa I, utilizou-se o método ASTM E2149-2025 (adaptado) para avaliar a atividade antifúngica do GoFresh EU® sob condições dinâmicas, por contato direto com os esporos em diferentes tempos de exposição. Na etapa II, empregou-se a norma AATCC TM30-2017 para avaliar a resistência antifúngica de substratos têxteis tratados com o antimicrobiano ao longo do tempo. Para a produção dos inóculos, cepas de *Aspergillus niger* (ATCC 6275), *Penicillium chrysogenum* (ATCC 48905) e *Cladosporium sphaerospermum* (DSM 104846), fornecidas pela Golden Technology Ltda., foram repicadas em ágar Sabouraud Dextrose (SDA) e incubadas a 28 ± 2 °C por 7 dias. Após o crescimento, os esporos foram suspensos em água deionizada estéril, homogeneizados em *vórtex* e ajustados para 10^4 esporos/mL por contagem em câmara de Neubauer. A concentração foi confirmada por plaqueamento em SDA, seguido de incubação a 28 ± 2 °C por até 7 dias e contagem de UFC/mL.

Na etapa I, avaliou-se o GoFresh EU® (lote 002/26) nas concentrações de 0,5%, 1,0%, 2,0% e 3,0%. Foram preparados 300 mL de suspensão fúngica, distribuídos em seis frascos estéreis contendo 50 mL cada. Um frasco foi utilizado como “Tempo 0” (T0) e outro como controle positivo, enquanto os demais receberam o antimicrobiano nas concentrações testadas. Uma alíquota do T0 foi diluída até 10^{-2} em caldo neutralizante *Dey-Engley* (CDE) e plaqueada em ágar *Dey-Engley* suplementado com 4% de dextrose (ADE) para determinação da concentração inicial de esporos. Os demais frascos foram mantidos sob agitação a aproximadamente 400 rpm. Após 30, 60, 90 e 120 minutos de exposição, amostras puras e diluídas até 10^{-2} em CDE foram plaqueadas em ADE. As placas foram incubadas a 28 ± 2 °C por até 7 dias, seguido de contagem manual das colônias e expressão dos resultados em UFC/mL. As comparações intergrupos foram realizadas por ANOVA seguida do pós-teste de *Tukey*, enquanto as análises intragrupos foram conduzidas pelo *teste t de Student* pareado.

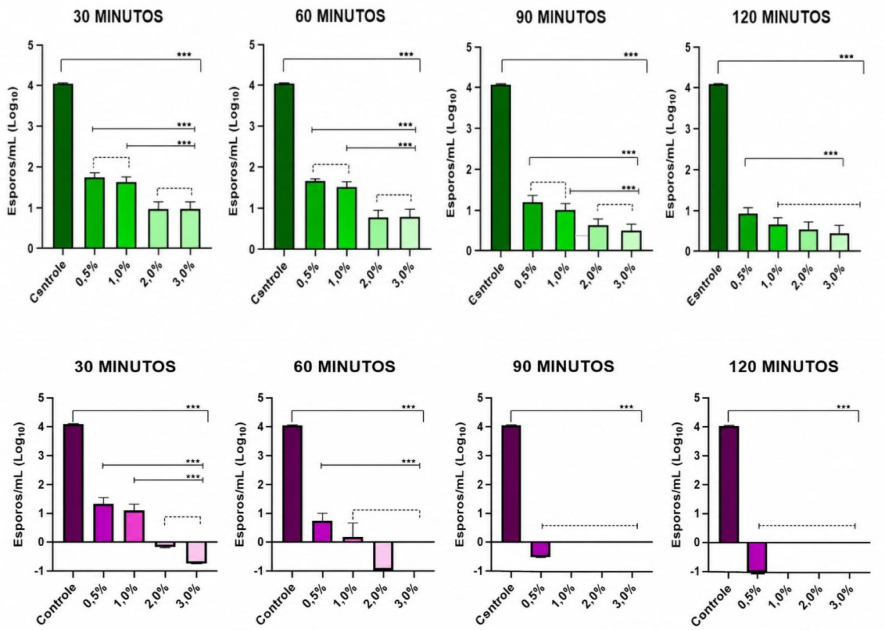
Na etapa II, foram avaliados dois substratos têxteis: tecido sarja 100% algodão (Sarja) e tecido não tecido 100% polipropileno (TNT), tratados com GoFresh EU® nas concentrações de 0,5%, 1,0%, 2,0% e 3,0%. Como controle positivo, utilizou-se o respectivo substrato tratado apenas com água. A aplicação do produto em CO foi realizada pelo método de esgotamento, que consiste em imersão total do substrato em banhos com as devidas concentrações do antimicrobiano com pH ajustado entre 6,0-7,0 aquecimento gradual até 50 °C por cerca de 30 minutos. Para o TNT, empregou-se o processo de foulardagem, que consiste na impregnação do tecido por imersão no composto antimicrobiano e de 50g/L de uma resina para melhorar a aderência com ajuste de pH entre 6,0 e 7,0. Após a impregnação, o tecido foi submetido à passagem por cilindros para remoção do excesso de banho e distribuição homogênea do produto, sendo controlado o *pick-up* (percentual de absorção) em aproximadamente 80 %. Na sequência, o substrato foi submetido à secagem em rama a 130 °C por 2 minutos. Para o ensaio antifúngico, 500 µL de cada suspensão fúngica foram espalhados sobre placas contendo *AATCC Mineral Salts Agar* (MSA). Os substratos foram cortados em discos de aproximadamente 3,8 cm de diâmetro e posicionados sobre a superfície do meio, recebendo posteriormente 200 µL da suspensão fúngica correspondente. As placas foram incubadas a 28 ± 2 °C e avaliadas após 21 dias. Ao final do período de incubação, foi realizada análise qualitativa do crescimento fúngico sobre os corpos de prova.

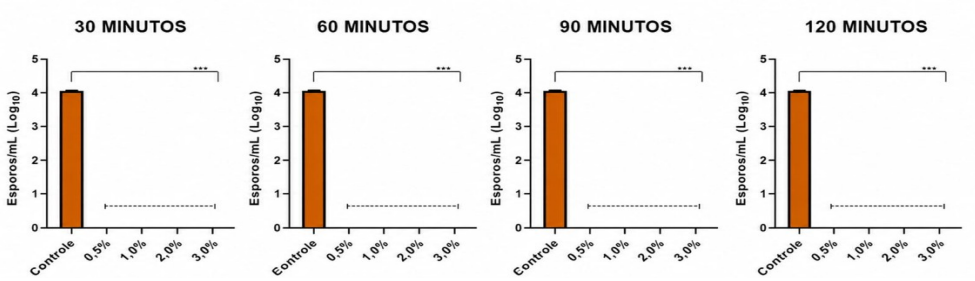
Resultados

Os resultados da etapa I, obtidos por ANOVA seguida do pós-teste de *Tukey* na metodologia ASTM E2149-2025, demonstraram redução significativa ($p<0,05$) do número de esporos/mL em todos os grupos tratados com GoFresh EU® quando comparados ao controle. Nas análises pareadas intragrupo pelo teste *t de Student*, para *A. niger*, nos tempos de 30 e 60 minutos, não houve diferença entre as concentrações de 0,5% e 1,0%, ambas superiores a 2,0% e 3,0% ($p>0,05$). Aos 90 minutos, também não foram observadas diferenças entre concentrações adjacentes (0,5%-1,0%; 1,0%-2,0%; 2,0%-3,0%), embora 0,5% tenham apresentado contagens superiores a 2,0% e 3,0%, e 1,0% superiores a 3,0% ($p<0,05$). Após 120 minutos, a concentração de 0,5% apresentou maior número de UFC/mL que as demais ($p<0,05$), não havendo. Para *P. chrysogenum*, aos 30 minutos, 0,5% apresentaram contagens superiores às demais concentrações e 1,0% valores superiores a 2,0% e 3,0% ($p<0,05$). Aos 60 minutos, apenas 0,5% diferiram das demais, enquanto não foram observadas diferenças nos tempos subsequentes ($p>0,05$). Observou-se ausência de esporos em 1,0%, 2,0% e 3,0% a partir de 90 minutos de exposição. Para *C. sphaerospermum*, não foram identificadas diferenças estatísticas entre concentrações ou tempos de exposição e houve ausência de esporos em todas as etapas. Os resultados da etapa I estão apresentados na Figura 1.

Na etapa II, conduzida segundo a metodologia AATCC 30, observou-se comportamento semelhante para os substratos TNT e sarja em todas as concentrações avaliadas. As amostras não tratadas apresentaram intensa colonização fúngica, enquanto a invasão fúngica reduziu progressivamente com o aumento da concentração de GoFresh EU®. A proteção total dos substratos foi caracterizada por halo de inibição e ausência de crescimento visível, foi observada apenas para *P. chrysogenum* e *C. sphaerospermum* na concentração de 3,0%. Para *A. niger*, apesar da redução da colonização, não houve proteção completa em nenhuma concentração. Os resultados estão ilustrados na Figura 2.

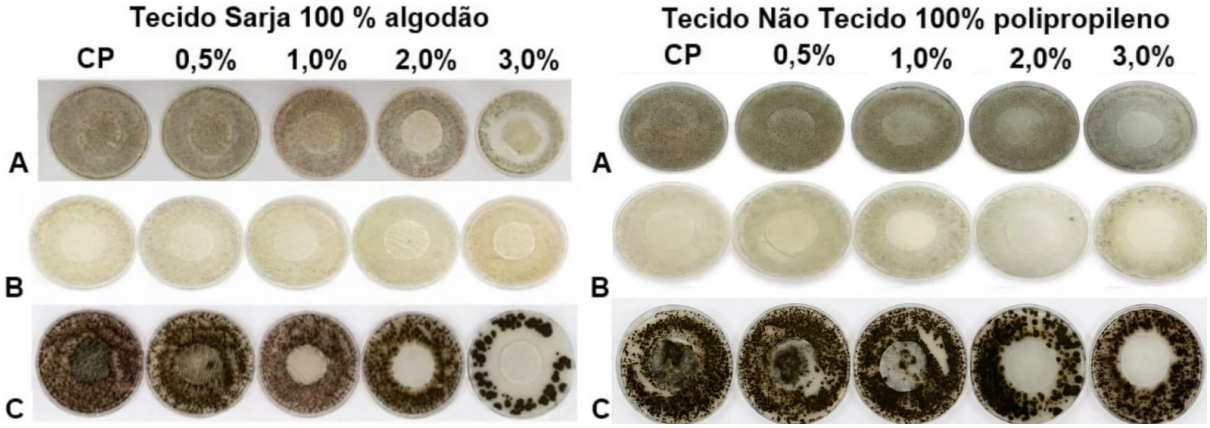
Figura 1- Análise estatística dos ensaios da etapa I de GoFresh EU® contra *Aspergillus niger* ATCC 6275 (A), *Penicillium chrysogenum* ATCC 48905 (B) e *Cladosporium sphaerospermum* DSM 104846 (C).





Legenda: linha tracejada: estatisticamente não significante; *** estatisticamente significante.
Fonte: elaborada pelos autores.

Figura 2 - Imagem dos resultados da etapa II, evidenciando a diminuição progressiva de colonização fúngica dos substratos com o aumento da concentração de GoFresh EU® em comparação ao Controle Positivo (sem tratamento) em Tecido Sarja 100 % algodão (lado esquerdo) e Tecido Não Tecido 100% polipropileno (lado direito) após 21 dias de incubação em *AATCC Mineral Salts Agar* a 28 ± 2 °C.



Legenda. *Aspergillus niger* ATCC 6275 (A), *Penicillium chrysogenum* ATCC 48905 (B) e *Cladosporium sphaerosperum* DSM 104846 (C); CP (Controle positivo).
Fonte: elaborado pelo próprio autor.

Discussão

Os resultados obtidos pela adaptação da metodologia ASTM E2149-2025 demonstraram atividade antifúngica evidenciada pela redução da recuperação de unidades formadoras de colônias dos fungos subsmetidos ao contato com GoFresh EU® ($p<0,05$) em todas as concentrações e tempos avaliados quando comparados ao controle. Conforme descrito por Jain *et al.* (2026), essa atividade está relacionada à natureza polimérica catiônica do composto, cujas cargas positivas interagem com componentes aniônicos da parede e membrana celular dos fungos, promovendo desestabilização osmótica e morte celular. Entre os microrganismos avaliados, *Cladosporium sphaerospermum* apresentou maior suscetibilidade, com inativação total a partir de 30 minutos na concentração de 0,5%, enquanto *Penicillium chrysogenum* atingiu eliminação total após 90 minutos em 1,0%. Em contrapartida, *Aspergillus niger* apresentou maior refratariedade, mantendo contagens residuais mesmo após 120 minutos a 3,0%, resultado compatível com a presença de melanina e hidrofobinas em sua parede conidial, que reduzem a permeabilidade a agentes catiônicos (Whitehead *et al*., 2023; Wang *et al*., 2026).

Outro aspecto relevante foi a elevada carga fúngica empregada (10^4 esporos/mL). Hammad *et al*. (2025) demonstraram que o crescimento visível em tecidos de algodão pode ocorrer a partir de 10^2 esporos/mL. Dessa forma, o GoFresh EU® mostrou capacidade de inativar populações fúngicas até 100 vezes superiores a esse limiar, reforçando seu potencial como barreira de biossegurança para aplicações têxteis.

Nos ensaios conduzidos segundo a AATCC TM30-2017, observou-se redução progressiva da colonização fúngica em sarja e TNT com o aumento da concentração do produto. A maior

suscetibilidade das fibras de algodão pode ser atribuída à sua porosidade e higroscopia, favorecendo a adesão e o crescimento fúngico, enquanto o TNT apresenta menor molhabilidade inicial. Ainda assim, estudos demonstram que fungos como *A. niger* e *C. sphaerospermum* são capazes de colonizar tanto fibras naturais quanto sintéticas em condições favoráveis (Hammad *et al*., 2025; Tokuda *et al.,* 1997; Sathiyabama *et al.,* 2024).

Outrossim, o efeito antifúngico mostrou-se dependente da dose, evidenciado pela redução da esporulação e pela formação de zonas de inibição nas maiores concentrações. Esse comportamento sugere que, além do contato direto entre o polímero e os esporos, ocorre a formação de um microambiente inibitório ao redor do substrato tratado. Resultados semelhantes foram observados por Niu *et al*. (2026), que demonstraram a persistência da atividade antifúngica de agentes catiônicos ancorados em tecidos, e por Kim e Joung (2026), que relataram proteção prolongada contra *Cladosporium* em TNT tratado com compostos antimicrobianos. Assim, os resultados demonstram o potencial do GoFresh EU® para reduzir a colonização fúngica e a biodeterioração de diferentes substratos têxteis. Os achados do presente estudo sugerem novos testes para verificar o grau de ancoragem do ativo nas fibras bem como o efeito microscópico na fibra tal qual, invadida pelo fungo e protegida pelo antimicrobiano.

Conclusão

Os resultados demonstraram que o GoFresh EU® apresentou atividade antifúngica significativa contra *Aspergillus niger*, *Penicillium chrysogenum* e *Cladosporium sphaerospermum*, promovendo redução da carga fúngica em todas as concentrações avaliadas. Os ensaios realizados pela metodologia ASTM E2149-2025 evidenciaram maior suscetibilidade de *C. sphaerospermum* e *P. chrysogenum*, enquanto *A. niger* apresentou maior resistência ao tratamento. Nos testes em substratos têxteis conduzidos pela AATCC TM30-2017, observou-se redução progressiva da colonização fúngica com o aumento da concentração do produto, sendo a proteção total alcançada para *P. chrysogenum* e *C. sphaerospermum* na concentração de 3,0%. Assim, o GoFresh EU® , por meio das análises *in vitro*, mostrou potencial para aplicação em têxteis com o objetivo de minimizar a biodeterioração das fibras e reduzir riscos associados à contaminação fúngica em ambientes hospitalares e industriais. Estudos adicionais de durabilidade e ancoragem do ativo às fibras poderão ampliar a compreensão de sua eficácia em condições reais de uso.

Referências

AATCC. *AATCC TM30-2017: Antifungal Activity, Assessment on Textile Materials: Mildew and Rot Resistance of Textile Materials*. Research Triangle Park, NC: American Association of Textile Chemists and Colorists, 2017.

AHMED, M.; IRAM, S.; TABASSUM, N.; SAJID, M.; PASEUTSAKOUN, K.; ALEKSZA, L.; SZÉKÁCS, B. Biodegradation efficacy of Aspergillus niger and Trichoderma harzianum on low-density polyethylene. **Polímeros**, v. 17, n. 10, p. 1303, 2025. DOI: https://doi.org/10.3390/polym17101303.

ASTM INTERNATIONAL. *ASTM E2149-25: Standard Test Method for Determining the Antimicrobial Activity of Antimicrobial Agents Under Dynamic Contact Conditions*. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2025.

BALASUBRAMANIAN, Ruchita; VAN BOECKEL, Thomas P.; CARMELI, Yehuda; COSGROVE, Sara; LAXMINARAYAN, Ramanan. Global incidence in hospital-associated infections resistant to antibiotics: an analysis of point prevalence surveys from 99 countries. **PLOS Medicine**, v. 20, n. 6, e1004178, 2023. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1004178.

BEZERRA, Isabella Lott; NASSAR, Antonio Paulo; MENDONÇA DOS SANTOS, Tiago *et al*. Patient-level cost analysis of intensive care unit-acquired infections: a prospective cohort study**. Journal of Hospital Infection**, v. 159, p. 106-114, 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jhin.2024.07.002.

BONGOMIN, Felix; PUNT, Maarten; DE JONG, Auke; VERWEIJ, Paul E.; VAN RHIJN, Norman; DENNING, David W. The black aspergilli (Aspergillus niger complex) and their role in human, animal,

and plant diseases. **Clinical Microbiology Reviews**, e00158-25, 2026. DOI: https://doi.org/10.1128/cmr.00158-25.

CASTRO-FUENTES, Carlos Alberto et al. Aspergillosis: An update on epidemiology, risk factors, diagnosis, susceptibility, and treatment. **Journal of Fungi**, v. 12, n. 3, p. 229, 2026. DOI: https://doi.org/10.3390/jof12030229.

FISHER, Matthew C. et al. Tackling the emerging threat of antifungal resistance to human health. **Nature Reviews Microbiology**, v. 20, n. 9, p. 557-571, 2022. DOI: https://doi.org/10.1038/s41579-022-00720-1.

GASSMANN, Natalie; VELA, Visar; ZINGG, Walter; WOLFENSBERGER, Aline. Transfer of microorganisms to and from textiles in healthcare settings: a systematic review. **Infection Control & Hospital Epidemiology**, v. 46, n. 12, p. 1243-1252, 2025. DOI: https://doi.org/10.1017/ice.2025.10299.

HAMMAD, A.; BEAUGRAND, K.; ROSS, J. A.; ALLAN, N.; BERMAN, M. Assessing mold growth severity on various textiles: comparative analysis of inoculum densities and fungal strains. **Sustainable Microbiology**, v. 2, n. 1, qvae035, 2025. DOI: https://doi.org/10.1093/sumbio/qvae035.

Jain, N.; Kaul, S.; Verma, R.; Triveni; Jangde, KK; Garg, U.; Mishra, DK; Nagaich, U.; Abu Elella, MH. Quaternary ammonium-functionalized chitosan as a next-generation antifungal platform: chemistry, mechanisms, and therapeutic applications. *Marine Drugs* 2026 , *24* , 249. https://doi.org/10.3390/md24070249.

KIM, Yu Jeong; JOUNG, Young Soo. Enhancing antifungal properties of textiles through hydrogel composite layers incorporating copper nanoparticles. **Journal of Engineered Fibers and Fabrics**, v. 21, p. 1-15, 2026. DOI: https://doi.org/10.1177/15589250261465368.

.

NIU, W.; WANG, S.; LIU, Y. *et al.* Organosilicon Borneol Ester/Quaternary Ammonium Salt Based Attack-Defense Coatings for Durable Antibacterial and Antifungal Cotton Textiles. **Chemical Research in Chinese Universities**, v. 42, p. 1282–1287, 2026. DOI: https://doi.org/10.1007/s40242-026-6123-z.

NIYAZI, D.; DASKALOVA, N.; MICHEVA, I.; STOEVA, T. Cladosporium cladosporioides fungemia in a patient with Non-Hodgkin lymphoma: an extremely rare case and review of the literature. **Reports**, v. 9, n. 1, e60, 2026. DOI: https://doi.org/10.3390/reports9010060.

OZDEMIR, Guven; HALIKI, Alev; ÇELEBI, Melike. Assessment of microfungal contamination and enzymatic activity in ethnographic textile artifacts and museum environment. **Plos One**, v. 21, n. 1, e0339319, 2026. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0339319.

RICK, E. M.; WOOLNOUGH, K.; PASHLEY, C. H.; WARDLAW, A. J. Allergic fungal airway disease. **Journal of Investigational Allergology and Clinical Immunology**, v. 26, n. 6, p. 344-354, 2016. DOI: https://doi.org/10.18176/jiaci.0122.

SATHIYABAMA, M.; BOOMIJA, R. V.; SATHIYAMOORTHY, T.; MATHIVANAN, N.; BALAJI, R. Mycodegradation of low-density polyethylene by Cladosporium sphaerospermum, isolated from platisphere. **Scientific Reports**, v. 14, e8351, 2024. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-024-59032-4.

SILM, Maidu; JIANG, Qixiang; KISAND, Anu; BISMARCK, Alexander; JONES, Mitchell P. Transforming textile waste into materials using fungi. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 228, 108812, 2026. DOI: https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2026.108812.

TOKUDA, Hiroharu; URATA, Takashi; NAKANISHI, Kotoyoshi. Hydrolysis of xylan by Aspergillus niger immobilized on non-woven fabrics. **Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry**, v. 61, n. 4, p.

583-587, 1997. DOI: https://doi.org/10.1271/bbb.61.583.

WANG, J. et al. Synergistic inactivation of *Aspergillus niger* spores by low-dose ClO_2 and photocatalysis via interfacial electron transfer. **Chemical Engineering Journal**, v. 504, p. 158421, 2026. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.cej.2025.158421.

WHITEHEAD, K. A.; LYNCH, S.; AMIN, M.; DEISENROTH, T.; LIAUW, C. M.; VERRAN, J. Effects of cationic and anionic surfaces on the perpendicular and lateral forces and binding of Aspergillus niger conidia. **Nanomaterials**, v. 13, n. 22, 2932, 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/nano13222932.

ZHOU, Ya Bin et al. Penicillium and Talaromyces diversity in cystic fibrosis patient sample and the description of a new species, Penicillium subluteum sp. nov. (Eurotiales, Aspergillaceae). **MycoKeys**, v. 125, p. 263-278, 2025. DOI: https://doi.org/10.3897/mycokeys.125.168897.