

AVALIAÇÃO DO EFEITO BIOCIDA DE PRODUTOS QUÍMICOS EM *CANDIDA AURIS* COM APLICAÇÃO PARA FILTROS DE AR-CONDICIONADO.

Alícia Lara Santos¹, Milena Cristina de Oliveira Ribeiro Lima¹, Sônia Khouri Sibelino²,
Guilherme Rodrigues Teodoro², Anelise Cristina Osório Cesar Doria¹.

1 Universidade do Vale do Paraíba, Faculdade de Ciências da Saúde, São José dos Campos – SP,
susrodrigues2@gmail.com

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

Resumo

A *Candida auris* é uma levedura resistente a antifúngicos e com alto potencial de contaminação em ambientes hospitalares e já foi isolada de sistemas ares-condicionados. Este estudo avaliou a eficácia do GoFresh EU®(GOF) e do Air-Shield® (ARS) em relação ao controle tratado água destilada estéril (CON), aplicados em mantas de ar-condicionado, na inativação de *C. auris* utilizando a metodologia AATCC 100-2019 em diferentes períodos. A avaliação foi de forma imediata (TQ) e após 30 dias (30D), através do cálculo de percentual de redução e análise estatística. Tanto em TQ (97,2%) quanto 30D (80%), houve significativa redução microbiana em GOF comparado a CON, existindo, entretanto, significativo aumento ($p=0,0036$) nas contagens de UFC/mL em 30D dias em relação a TQ. Em ARS, tanto em TQ (4,5%) quanto em 30D (1,3%), não houve redução significativa em relação a CON em ambos os períodos ($p=0,4606$). Os resultados mostram satisfatório controle de *C. auris* de GOF em mantas de ar-condicionado em diferentes períodos, encorajando o uso deste produto para futura aplicação nestes substratos para promover o controle deste micro-organismo em climatizadores.

Palavras-chave: *Candida auris*; agentes antimicrobianos; ar-condicionado.

Área do Conhecimento: Biomedicina

Introdução

Candida auris (*C. auris*) é uma levedura apta em sobreviver a condições extremas, sendo capaz de produzir biofilme, aderir à pele humana e em objetos inanimados, causar surtos de difícil contenção em diversos ambiente, além de ter uma preocupante resistência a medicamentos (Lionakis & Chowdhary, 2024). Devido aos diversos riscos demonstrados pela *C. auris*, a Organização Mundial da Saúde (OMS) a colocou dentro de um grupo “crítico” de patógenos fúngicos humanos e levou, também, o Centros de Controle e Prevenção de Doenças (CDC) a classificá-la como uma ameaça no relatório de Ameaças de Resistência a Antibióticos de 2019 (Casadevall et al, 2019). A primeira identificação e isolamento da *C. auris*, foi em 2009, no canal auditivo de um paciente no Japão, e velozmente esta levedura se mostrou uma séria ameaça a saúde pública, tendo em vista sua dispersão em mais de 45 países em diferentes distribuições geográficas (SATO et al 2009; Lockhart et al, 2017). Algumas hipóteses sugerem que a *C. auris* pode ser o primeiro fungo patógeno a emergir em humanos devido a uma combinação de fatores, sendo as mudanças climáticas apontadas como um dos principais responsáveis por sua disseminação global (Casadevall et al, 2019).

Diversos estudos relatam que é nos ambientes de saúde, onde mais se destaca pela contaminação da *C. auris*, já tendo detectado em colchão, no piso, carrinhos, peitoris de janelas, monitores e até em uma amostra de ar, locais esse que possuem participação ativa para potencial contaminação ao paciente (Yadav et al, 2021; Cristina et al, 2023; Lionakis & howdhary, 2024). As contaminações por fungos se destacam como um sério desafio para a saúde pública, sobretudo em Unidades de Terapia Intensiva (UTIs). Nesses locais, sistemas de climatização e áreas próximas aos leitos podem funcionar como possíveis focos de disseminação, atingindo principalmente indivíduos com o sistema imunológico enfraquecido (Calumby et al, 2022). Apesar dos fungos filamentosos serem mais frequentemente isolados de filtros de ares-condicionados (Liu et al, 2025), inclusive em UTI de hospitais (Calumby et al, 2022), leveduras do gênero *Candida* já foram isoladas destes filtros (Liu et al, 2025). Além do mais, *C. auris* já foi isolada em sistemas de ar-condicionado em hospitais, tanto de correntes de ar oriundas de aparelhos condicionadores de ar (Yadav et al, 2021) quanto de grelhas de suprimento de ar do teto, que estavam a 2,4 m de altura e eram inacessíveis para os pacientes (Didik et al, 2023), sugerindo que

tais micro-organismos podem colonizar tais sistemas e consequentemente serem disseminados por via aérea.

Levando em conta que *C. auris* demonstra uma resposta limitada aos produtos utilizados na desinfecção de ambientes hospitalares (Fu et al, 2020), o uso de agentes antimicrobianos eficazes contra a *Candida auris* e outros micro-organismos patogênicos, em filtros de sistemas condicionadores de ar, pode representar uma estratégia eficaz para prevenir a colonização e eventual infecção de pacientes internados em hospitais. Essa abordagem visa eliminar ou inativar os micro-organismos após o contato, elevando o nível de proteção e contribuindo para a interrupção da cadeia de transmissão. Entre os antimicrobianos utilizados, destaca-se o GoFresh EU®, um polímero sintético com carga positiva (catiônico), cuja ação ocorre por meio da destruição da membrana celular, após o contato direto. Esse efeito se dá pela interação eletrostática entre o polímero carregado positivamente e a membrana, que possui carga negativa. Assim sendo, este estudo tem como objetivo avaliar a eficácia antimicrobiana em manta filtradora de ar-condicionado tratada com GoFresh EU® em comparação com o Air-Shield®, um produto comercial voltado para desinfecção de ares-condicionados contra a *Candida auris*, comparando o efeito antimicrobiano em aplicação imediata e após 30 dias, visando um método de controle de transmissão a longo prazo.

Metodologia

A pesquisa utilizou a metodologia da *American Association of Textile Chemists and Colorists* (AATCC) 100-2019, a qual proporciona avaliação antimicrobiana quantitativa em substratos têxteis com acabamentos antimicrobianos. O ensaio foi conduzido em dois períodos experimentais para avaliar efeito imediato e persistente: Período I, com aplicação dos produtos na manta até completa secagem seguido de avaliação antimicrobiana; Período II, com aplicação dos produtos na manta e avaliação antimicrobiana após 30 dias. Em cada metodologia utilizou-se três grupos: Água deionizada estéril (controle), GoFresh EU® 1% (GOF) e Air-Shield® tal qual (ARS).

A manta filtrante de ar-condicionado utilizada é composta de 100 % poliéster. Para o preparo dos corpos de prova, a manta foi cortada em quadrados de cerca de 5,0 cm até atingirem cerca de 1,0 grama ($\pm 0,1$), totalizando um conjunto de cerca de 8 pedaços. Os produtos citados em cada um dos três grupos experimentais foram aplicados em seus respectivos corpos de prova e, para tal, cada conjunto de corpos de prova foi individualmente mergulhado em béqueres contendo 10 mL das substâncias até completa absorção do líquido, sendo necessário para tal, movimentos de rotação com auxílio de uma pinça estéril. Depois, com auxílio de pinças estéreis, as amostras foram transferidas para frascos estéreis com capacidade de 200 mL e deixadas com a tampa aberta em fluxo laminar para completa secagem por 72 horas, sendo as amostras do período imediatamente avaliadas e as amostras do período II avaliadas após 30 dias.

Para a produção dos inóculos, realizou-se o repique da cepa de *Candida auris* CDC B11903 fornecida pela empresa Golden Technology Ltda, em Sabouraud Dextrose Agar (SDA), com incubação a $37(\pm 2)^\circ\text{C}$ por 48 horas. Sequencialmente, duas colônias isoladas foram inoculadas em 10 mL do caldo Trípico de Soja (TSB), sendo esta suspensão mantida *overnight* (18 horas) em agitador *shaker* com rotação de 200 r.p.m., a $37(\pm 2)^\circ\text{C}$. Em seguida, procedeu-se o preparo de um inóculo inicial, onde a cultura *overnight* foi diluída em TSB até apresentar absorbância entre 0,635 e 0,645 em espectrofotômetro ajustado em comprimento de onda de 520 nm. Para obtenção do inóculo final ($1,0 \cdot 10^5$ a $3,0 \cdot 10^5$ células/mL), 1 mL do inóculo inicial foi adicionado em 50 mL de uma solução TSB/Triton® X-100 (1:20/0,05%).

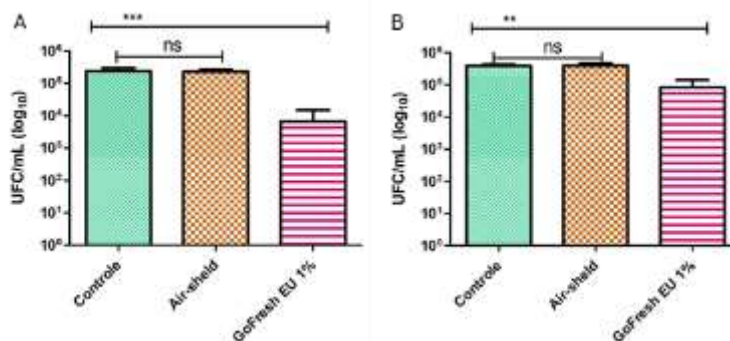
Em cada um dos conjuntos de corpos de prova, foi adicionado 1 mL do inóculo final, através de gotejamento em diferentes pontos, para garantir contato do inóculo com todos os pedaços da manta. Foi determinado o tempo de 20 minutos de contato, baseando-se no tempo sugerido pelo fabricante do Air-Shield®. Decorrido o tempo de contato, adicionou-se 100 mL de Caldo Neutralizante Dey-Engley (D/E) para cessar a atividade antimicrobiana, sendo então os frascos agitados a 400 r.p.m. por 1 minuto, seguido de sucessivas diluições base 10, adição de 1 mL das diferentes diluições em placas de Petri 90 x 15 mm estéreis, adição de cerca de 15 mL de SDA a 45°C e completa homogeneização através de movimentos rotacionais, caracterizando o método *Pour Plate* de plaqueamento. Após completa solidificação, as placas foram incubadas a $37(\pm 2)^\circ\text{C}$ por 48 horas, seguida da determinação de Unidades Formadoras de Colônia por mililitro (UFC/mL). A avaliação dos dados foi realizada por meio do cálculo do percentual de redução, utilizando as médias das quantidades de unidades formadoras de

colônia (UFC) dos micro-organismos detectados nos grupos experimentais contendo as mantas tratadas com GOF e ARS em comparação com os valores obtidos da amostra do controle. A fórmula empregada foi: Média UFC/mL controle – Média UFC/mL grupos experimentais ÷ Média UFC/mL controle × 100. Adicionalmente, foi aplicada uma análise estatística entre os grupos utilizando o programa GraphPad Prism® 5, onde os dados passaram pelo teste de normalidade de Shapiro-Wilk, seguido de teste Anova e pós-teste de Tukey, com nível de significância de 95%, sendo estatisticamente significativa quando $p \leq 0,05$. Os grupos GOF e ARS de ambos os períodos de análise foram comparados estatisticamente pelo teste t de Student.

Resultados

As análises estatísticas intergrupos estão representadas na figura 1. No período I de análises, observou-se uma redução microbiana de 4,5% do grupo ASR em relação ao controle, sendo tal percentual não significativo ($p \geq 0,05$). Por outro lado, no grupo GOF, observou-se uma redução fúngica de 97,2 %, em comparação ao controle, sendo tal achado estatisticamente significativo ($p \leq 0,05$). Já no período II, observou-se uma redução microbiana de 1,3% do grupo ASR em relação ao controle, sendo tal percentual também não significativo ($p \geq 0,05$). Além do mais, no grupo GOF, obteve-se 80% de redução de UFC/mL de *C. auris* em comparação ao controle, sendo tal achado estatisticamente significativo ($p \leq 0,05$).

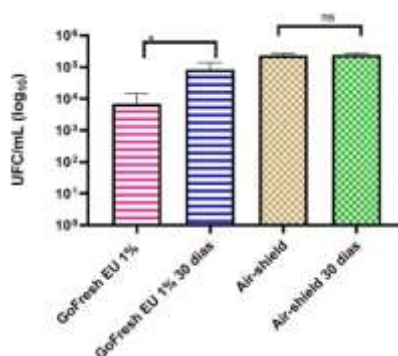
Figura 1 – Análise estatística intergrupos demonstrando numericamente, em $\log_{10}$, as Unidades Formadoras de Colônias por mililitro (UFC/mL) de *Candida auris* CDC B11903 nos dois períodos experimentais.



Fonte: o autor; ns: não significativo ($p \geq 0,05$); *: significativo ($p \leq 0,05$). A: período I; B: período II.

Todavia, na análise pareada entre os grupos GOF dos 2 períodos, houve um significativo aumento das contagens de UFC/mL no período II em comparação ao período I ($p = 0,0036$), o que não foi observado nas mesmas condições do grupo ASR ($p = 0,4606$). As análises pareadas dos grupos GOF e ARS estão graficamente representadas na figura 2.

Figura 2 -Análise estatística pareada dos grupos GoFresh EU 1% e Air-Shield® demonstrando numericamente, em $\log_{10}$, as Unidades Formadoras de Colônias por mililitro (UFC/mL) de *Candida auris* CDC B11903 nos dois períodos experimentais.



Fonte: o autor; ns: não significativo ($p \geq 0,05$); *: significativo ($p \leq 0,05$).

Discussão

O controle de fungos em filtros de ares-condicionados, como proposto no presente estudo, vem ao encontro do trabalho de Liu *et al* (2025), que aborda que a presença de fungos potencialmente patogênicos, incluindo *Aspergillus*, *Cladosporium* e *Candida* spp., em filtros de sistemas de ventilação e ar-condicionado configura uma problemática relevante em diversos ambientes, visto que esses dispositivos oferecem condições favoráveis para a colonização e dispersão de microrganismos. Ademais, o presente estudo aborda a importância do controle de *Candida auris*, um fungo multirresistente emergente, em filtros de sistemas condicionadores de ar, o que corrobora com achados na literatura que relataram que este fungo é capaz de colonizar sistemas de ventilação de hospitais e dispersar-se tanto em curta quanto em longa distância pelo ar (Yadav *et al.*, 2021; Didik *et al.*, 2023).

A proposta de impregnação de compostos microbicidas em filtros para eventual controle de micro-organismos explorada neste estudo, corrobora com outros trabalhos que conduziram seus estudos de maneira semelhante e verificam ser possível a redução de micro-organismos multirresistentes e de levedura do gênero *Candida*, quando em contato com estes tipos de materiais protegidos por um agente antimicrobiano (Watson *et al.*, 2022; Verdenelli *et al.*, 2003). Apesar dos trabalhos de Gupta *et al.* (2024) e Bujdaková *et al.* (2021) realizarem impregnação de agentes antimicrobianos em outros materiais plásticos e polímeros, e que de maneira interessante, terem obtido percentuais de redução em *C. auris* semelhantes aos relatados neste trabalho, ainda são escassos na literatura estudos que abordem o controle de *C. auris* em filtros voltados para sistemas condicionadores de ar, sendo tal fato relevante para aumentar a relevância do presente estudo.

De acordo com os resultados apresentados, o GOF apresentou considerável eficácia antimicrobiana em ambos os períodos experimentos contra *C. auris*, um micro-organismo multirresistente aos antifúngicos convencionais. Entretanto, o estudo de Watson *et al.* (2022) apresentou percentuais de redução maiores, tanto em 20 minutos de contato, idêntico ao do presente estudo, como em tempos de contato maiores, inclusive com micro-organismos multirresistentes. Por outro lado, apesar do estudo ter avaliado a eficiência antimicrobiana ao longo do tempo, o máximo avaliado foi 10 dias, e não 30 dias, conforme apresentado neste trabalho. Ademais, as diferentes características químicas do GoFresh EU®, um polímero quartenário de amônio, em comparação com o digluconato de clorexidina utilizado por Watson *et al.* (2022) podem explicar os diferentes resultados.

A baixa eficiência antimicrobiana do *Air-Shield*®, um surfactante comercialmente utilizado na desinfecção de ares-condicionados, discorda de Majchrzycka *et al.* (2017), que obtiveram promissores resultados contra bactérias e fungos ao contaminarem não-tecidos de polipropileno tratados com diferentes surfactantes. As contradições dos resultados podem ser elucidadas por eventuais diferenças na formulação dos antimicrobianos, bem como no tempo de exposição, já que o estudo de Majchrzycka *et al.* (2017) minimamente expôs os micro-organismos por 8 horas em contato com os substratos tratados, muito diferente deste trabalho, o qual o tempo de exposição foi de 20 minutos. Além do mais, a formulação do produto pode não ter se fixado adequadamente ao material, reduzindo sua atividade, vindo ao encontro do que foi observado por Cadnum *et al.* (2020) e Rutala & Weber (2019), que destacam que pequenas alterações na forma de aplicação impactam diretamente a eficácia de agentes antimicrobianos. Além disso, pequenas diferenças decorrentes da replicação mecânica podem ter contribuído para a variabilidade nos resultados, fato também apontado por estudos sobre reprodutibilidade de testes microbiológicos (ISO 13697:2019; Piedrahita *et al.*, 2017).

A adoção do método AATCC 100 no presente estudo mostrou-se adequada para a avaliação da atividade antimicrobiana em substratos poliméricos, incluindo poliéster, uma vez que esse protocolo é amplamente utilizado para mensurar a redução microbiana em superfícies têxteis e materiais filtrantes. Diversos trabalhos já validaram sua aplicabilidade em poliéster e em tecidos modificados com agentes antimicrobianos, como biocidas, ceras naturais e polímeros funcionais, demonstrando sua eficiência em quantificar a sobrevivência de fungos, como *Candida albicans*, e bactérias em condições controladas (Majchrzycka *et al.*, 2019; Szulc *et al.*, 2020). Além disso, a adaptação do método para diferentes materiais e contextos, como dispositivos médicos e bioenvolopes com liberação controlada de antibióticos, reforça sua versatilidade e confiabilidade como ferramenta experimental (Garrigos *et al.*, 2025). Assim, considerar o AATCC 100-2019 como metodologia válida para este trabalho, inclusive na análise de filtros de poliéster, garante comparabilidade com estudos prévios e fortalece a robustez dos achados.

As limitações encontradas no presente estudo, tais como a influência das condições experimentais e a ausência de testes em cenários reais prospectam algumas perspectivas futuras, como uma melhor padronização da incorporação dos bioativos no substrato e avaliação em condições reais de uso.

Conclusão

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que o produto GoFresh EU® apresentou satisfatório desempenho *in vitro* no controle de *Candida auris* em filtros de poliéster utilizados em sistemas de ar-condicionado em diferentes períodos de avaliação, diferente do Air-Shield®, cujo achados apontaram ineficiente ação antimicrobiana contra *C. auris* nas condições experimentais apresentadas. Ademais, a metodologia AATCC 100-2019 mostrou-se eficaz para uma avaliação antimicrobiana quantitativa *in vitro*. Acertos metodológicos na adsorção dos bioativos nos substratos bem como uma checagem da eficiência antimicrobiana após aplicação real de filtros em sistemas condicionadores de ar são fundamentais para validar o potencial de uso desses produtos em ambientes climatizados, garantindo não apenas eficácia antimicrobiana, mas também maior segurança e qualidade do ar.

Referências

AMERICAN ASSOCIATION OF TEXTILE CHEMISTS AND COLORISTS. AATCC TM100-2019: Test Method for Antibacterial Finished on Textile Materials: Assessment of. *AATCC Technical Manual*, p. 172-173, 2020.

BUJDÁKOVÁ, H. et al. Covalently bound caspofungin on plastic surfaces exhibits long-term antifungal activity against *Candida auris*. *International Journal of Antimicrobial Agents*, v. 58, n. 2, p. 106368, 2021.

CADNUM, J. L. et al. Effect of variation in test methods on assessment of antimicrobial surface coatings. *Antimicrobial Resistance & Infection Control*, v. 9, n. 1, p. 1-7, 2020.

CALUMBY, R. J. N.; SUÁREZ, J. A. G.; MOREIRA, R. T. F.; ALMEIDA, L. M.; GRILLO, L. A. M.; ALVINO, V. Microbiota fúngica dos filtros do condicionador de ar e de superfícies em uma Unidade de Terapia Intensiva. *Revista Principia*, v. 59, n. 1, p. 10-19, 2022.

CASADEVALL, A.; KONTOYIANNIS, D. P.; ROBERT, V. On the emergence of *Candida auris*: climate change, azoles, swamps, and birds. *mBio*, v. 10, n. 4, e01397-19, 2019.

CRISTINA, M. L. et al. Environmental sampling for *Candida auris* in healthcare facilities: first evidence from air samples. *Pathogens*, v. 12, n. 3, p. 445, 2023.

DIDIK, T. et al. Long-range air dispersion of *Candida auris* in a cardiothoracic unit outbreak in Hong Kong. *Journal of Hospital Infection*, v. 142, p. 105-114, 2023.

FU, L. et al. Different efficacies of common disinfection methods against *Candida auris* and other *Candida* species. *Journal of Infection and Public Health*, v. 13, n. 5, p. 730-736, 2020.

GARRIGOS, Z. E. et al. Antimicrobial performance of a novel drug-eluting bioenvelope. *Antibiotics*, v. 14, n. 330, p. 1-13, 2025.

GUPTA, N. et al. The antimicrobial effectiveness of chlorhexidine and chlorhexidine-silver sulfadiazine-impregnated central venous catheters against the emerging fungal pathogen *Candida auris*. *American Journal of Infection Control*, v. 52, p. 1283-1288, 2024.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 13697:2019 - Chemical disinfectants and antiseptics — Quantitative non-porous surface test for the evaluation of bactericidal and/or fungicidal activity of chemical disinfectants used in food, industrial, domestic and institutional areas — Test method without mechanical action and with mechanical action. Geneva: ISO, 2019.

LIONAKIS, M. S.; CHOWDHARY, A. *Candida auris* infections. *New England Journal of Medicine*, v. 391, n. 20, p. 1924-1935, 2024.

LIU, Y. et al. Fungal communities in split air conditioners and associated health risks. *Building and Environment*, v. 285, p. 113557, 2025.

LOCKHART, S. R. et al. Simultaneous emergence of multidrug-resistant *Candida auris* on 3 continents confirmed by whole-genome sequencing and epidemiological analyses. *Clinical Infectious Diseases*, v. 64, n. 2, p. 134-140, 2017.

LOCKHART, S. R.; ETIENNE, K. A.; VALLABHANENI, S. et al. Surgimento simultâneo de *Candida auris* low-level resistance to disinfectant. *Journal of Hospital Infection*, v. 137, p. 17-23, 2023.

MAJCHRZYCKA, K.; OKRASA, M.; SZULC, J.; BRYCKI, B.; GUTAROWSKA, B. Time-dependent antimicrobial activity of filtering nonwovens with Gemini surfactant-based biocides. *Molecules*, v. 22, n. 10, p. 1620, 2017.

MAJCHRZYCKA, K. et al. Application of biocides and super-absorbing polymers to enhance the efficiency of filtering materials. *Molecules*, v. 24, n. 18, p. 3339, 2019.

PIEDRAHITA, C. T. et al. The role of ultraviolet radiation in hospital-acquired infections and environmental cleaning. *Current Infectious Disease Reports*, v. 19, n. 6, p. 23, 2017.

RUTALA, W. A.; WEBER, D. J. Best practices for disinfection of noncritical environmental surfaces and equipment in health care facilities: a bundle approach. *American Journal of Infection Control*, v. 47, p. A96-A105, 2019.

SATOH, K. et al. *Candida auris* sp. nov., a novel ascomycetous yeast isolated from the external ear canal of an inpatient in a Japanese hospital. *Microbiology and Immunology*, v. 53, n. 1, p. 41-44, 2009.

SZULC, J. et al. Beeswax-modified textiles: method of preparation and assessment of antimicrobial properties. *Polymers*, v. 12, n. 2, p. 344, 2020.

VERDENELLI, M. C. et al. Efficacy of antimicrobial filter treatments on microbial colonization of air panel filters. *Journal of Applied Microbiology*, v. 94, n. 1, p. 9-15, 2003.

WATSON, R. et al. Efficacy of antimicrobial and anti-viral coated air filters to prevent the spread of airborne pathogens. *Scientific Reports*, v. 12, p. 2803, 2022.

YADAV, A. et al. Colonisation and transmission dynamics of *Candida auris* among chronic respiratory diseases patients hospitalised in a chest hospital, Delhi, India: a comparative analysis of whole genome sequencing and microsatellite typing. *Journal of Fungi*, v. 7, n. 2, p. 81, 2021.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado na Universidade do Vale do Paraíba, com agradecimentos especiais ao CDLAB (Centro de Diagnósticos Laboratoriais) da Faculdade de Ciências da Saúde da Universidade do Vale do Paraíba e à empresa Golden Technology Ltda pelo suporte logístico e financeiro para a realização dos estudos. Agradeço também ao meu coorientador, pelo apoio, incentivo e contribuição técnica durante todas as etapas da pesquisa, cujo acompanhamento foi essencial para o desenvolvimento e conclusão deste trabalho.