



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

MARIA EMÍLIA NASCIMENTO

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR EM SALAS CLIMATIZADAS POR MEIO DA
QUANTIFICAÇÃO DE FUNGOS FILAMENTOSOS**

Recife

2026

MARIA EMÍLIA NASCIMENTO

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR EM SALAS CLIMATIZADAS POR MEIO DA
QUANTIFICAÇÃO DE FUNGOS FILAMENTOSOS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Bacharelado em
Ciências Biológicas da Universidade
Federal Rural de Pernambuco, como
requisito parcial para obtenção do título de
Bacharel em Ciências Biológicas.

Orientador (a): Virginia Medeiros de
Siqueira

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Bibliotecário(a): Auxiliadora Cunha – CRB-4 1134

N244a Nascimento, Maria Emília.
Avaliação da qualidade do ar em salas climatizadas por
meio da quantificação de fungos filamentosos / Maria
Emília Nascimento. – Recife, 2026.
44 f.; il.

Orientador(a): Virginia Medeiros de Siqueira.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) –
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Bacharelado
em Ciências Biológicas, Recife, BR-PE, 2026.

Inclui referências.

1. Qualidade do ar de interiores. 2. Fungos anemófilos.
3. Habitação - Ar condicionado. I. Siqueira, Virginia
Medeiros de, orient. II. Título

CDD 574

MARIA EMÍLIA NASCIMENTO

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR EM SALAS CLIMATIZADAS POR MEIO DA
QUANTIFICAÇÃO DE FUNGOS FILAMENTOSOS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Bacharelado em
Ciências Biológicas da Universidade
Federal Rural de Pernambuco, como
requisito parcial para obtenção do título de
Bacharel em Ciências Biológicas.

Aprovado em: 11/02/2026

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Virginia Medeiros de Siqueira (Orientadora)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof. Me. Douglas Moreira de Oliveira (Examinador Interno)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof. Dr. Raphael Fonseca do Nascimento (Examinador Externo)
Universidade Católica de Pernambuco

Dedico este trabalho à minha versão de 2020, que ingressou na universidade e mal conseguia imaginar este momento, tão carregada de dúvidas e medos. Você conseguiu, Mila!

Dedico, com todo o meu amor, à minha mãe, a melhor mãe do mundo, meu maior exemplo de força e apoio. Não consigo imaginar uma vida em que eu não seja sua filha. Te amo, mãe.

Dedico à minha vó Cema (*in memoriam*), que certamente estaria muito orgulhosa e feliz por mim. Te amo pra sempre, vó.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que me ajudou a chegar até aqui, mesmo diante de tantos desafios e medos.

Agradeço à minha mãe, que não soltou a minha mão nem por um segundo, estando ao meu lado em todos os momentos dessa jornada.

Agradeço a João, meu amor, que me apoia e faz tudo para me ver feliz.

Agradeço à minha orientadora, Virginia, que me guiou durante todo esse processo e confiou em mim para a realização deste trabalho. Agradeço também ao LAMAA (Laboratório de Microbiologia Agrícola e Ambiental) por ter me proporcionado tantos aprendizados e à Manu por toda a força e apoio que me deu nos primeiros passos dessa pesquisa.

Agradeço às minhas fadinhas perfeitas, Vitória, Suellen, Yas e Bruna, por serem minha motivação para continuar na graduação mesmo diante de todos os percalços e por tornarem meus dias mais alegres, mesmo nos momentos difíceis.

Agradeço aos meus melhores amigos, Diego e Isabela, por me apoiarem mesmo à distância, sendo essenciais na minha vida.

Agradeço ao meu cãozinho Baloo, que, mesmo sem poder entender estas palavras, permaneceu ao meu lado em tantos momentos difíceis, me dando o apoio necessário com seu olhar e seus lambeijos.

Agradeço à UFRPE que, mesmo tendo me enlouquecido nesses cinco anos, me ajudou a amadurecer e a ser mais confiante, acreditando que sou capaz de chegar onde eu quiser.

“Concluí, portanto, que a melhor coisa a se fazer é ser feliz e desfrutar a vida enquanto é possível.” (Eclesiastes 3:12)

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade microbiológica do ar em salas de aula climatizadas do Departamento de Biologia da Universidade Federal Rural de Pernambuco, por meio da quantificação e identificação de fungos anemófilos, considerando sua relevância para a saúde dos ocupantes desses ambientes. A amostragem do ar foi realizada pela técnica de sedimentação espontânea, utilizando placas de Petri contendo Ágar Batata Dextrose, expostas por diferentes tempos durante o período regular de funcionamento das salas. Após a incubação, procedeu-se à quantificação das Unidades Formadoras de Colônias e à conversão dos valores para concentração fúngica no ar, bem como à identificação morfológica dos fungos em nível de gênero, com auxílio de microscopia óptica. Os resultados demonstraram que as concentrações fúngicas nas salas avaliadas estavam dentro do limite máximo estabelecido pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária para ambientes climatizados de uso coletivo. A identificação revelou a presença de diferentes gêneros fúngicos comumente associados a ambientes internos, com predominância de *Aspergillus* e *Aureobasidium*, seguidos por *Penicillium*, *Alternaria*, *Cladosporium*, *Curvularia* e *Fusarium*. De modo geral, os resultados indicam que as salas de aula climatizadas avaliadas apresentaram condições satisfatórias de qualidade microbiológica do ar, possivelmente associadas à adequada manutenção dos sistemas de climatização, às práticas de higienização e às características estruturais do edifício. O estudo reforça a importância do monitoramento periódico da qualidade do ar interior como medida preventiva para a promoção de ambientes internos mais saudáveis e seguros.

Palavras-chave: qualidade do ar interior; fungos anemófilos; ambientes climatizados.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the microbiological quality of the air in air-conditioned classrooms of the Department of Biology at the Federal Rural University of Pernambuco, through the quantification and identification of airborne fungi, considering their relevance to the health of occupants in these environments. Air sampling was carried out using the passive sedimentation technique, with Petri dishes containing Potato Dextrose Agar exposed for different periods during the regular operation of the classrooms. After incubation, colony-forming units were quantified and converted into fungal concentration in the air, and morphological identification of fungi was performed at the genus level using optical microscopy. The results demonstrated that fungal concentrations in the evaluated classrooms were within the maximum limit established by the Brazilian Health Surveillance Agency for air-conditioned collective-use environments. The identification revealed the presence of different fungal genera commonly associated with indoor environments, with predominance of *Aspergillus* and *Aureobasidium*, followed by *Penicillium*, *Alternaria*, *Cladosporium*, *Curvularia* and *Fusarium*. Overall, the results indicate that the evaluated air-conditioned classrooms presented satisfactory microbiological air quality conditions, possibly associated with adequate maintenance of air-conditioning systems, hygiene practices, and structural characteristics of the building. This study reinforces the importance of periodic monitoring of indoor air quality as a preventive measure to promote healthier and safer indoor environments.

Keywords: indoor air quality; airborne fungi; air-conditioned environments.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema ilustrativo das fontes internas e externas de fungos	18
Figura 2 – Exposição das placas de Petri durante a amostragem nas salas de aula	23
Figura 3 – Carga fúngica do ar em salas climatizadas	27
Figura 4 – Frequência de ocorrência (%) dos gêneros fúngicos	29
Figura 5 – Fungos filamentosos isolados de ambientes internos climatizados	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Informações sobre os ambientes amostrados	25
Tabela 2 –	Valores médios de Unidades Formadoras de Colônias (UFC/placa)	26
Tabela 3 –	Gêneros fúngicos identificados nos ambientes amostrados	29

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	14
2.1 Sistemas de ar-condicionado como reservatórios de microrganismos em ambientes internos.....	14
2.2 Parâmetros legais e normativos para qualidade do ar em ambientes climatizados.....	16
2.3 Características gerais dos fungos e sua dispersão aérea.....	17
2.4 Fungos potencialmente patogênicos e risco à saúde humana.....	19
2.5 Métodos de amostragem microbiológica do ar em ambientes internos.....	20
3 OBJETIVOS.....	21
3.1 Objetivos Gerais.....	21
3.2 Objetivos Específicos.....	21
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	22
4.1 Caracterização do ambiente de estudo.....	22
4.2 Coleta de amostras.....	22
4.3 Quantificação e identificação dos fungos.....	24
5 RESULTADOS.....	25
5.1 Caracterização das coletas.....	25
5.2 Quantificação de fungos e comparação com os padrões da anvisa.....	26
5.3 Identificação dos fungos filamentosos.....	38
6 DISCUSSÃO.....	31
7 CONCLUSÃO.....	37
REFERÊNCIAS.....	39

1 INTRODUÇÃO

Desde a Antiguidade, o ser humano busca maneiras de tornar o ambiente interno mais confortável. No Egito antigo, por exemplo, empregavam-se juncos de papiro (*Cyperus papyrus*) umedecidos como cortinas, capazes de reduzir a temperatura do ar por meio da evaporação da água, como também construções inteligentes que permitissem uma melhor circulação do ar. No entanto, somente em 1902 o engenheiro norte americano Willis H. Carrier projetou o primeiro sistema de ar condicionado moderno, abrindo caminho para a climatização mecânica de ambientes fechados (Lobo, 2023).

Com o aumento progressivo das temperaturas globais e o fato de que, em países industrializados, indivíduos passam em média 90% do tempo em ambientes internos, o uso de aparelhos de ar condicionado se tornou cada vez mais necessário. Contudo, ao mesmo tempo em que promovem conforto térmico, esses sistemas podem agravar a poluição do ar interior, o que representa um importante fator de risco para doenças respiratórias, alergias e, dependendo do estado de saúde do indivíduo, até infecções graves (Maio et al. 2009).

A recomendação dos fabricantes de aparelhos de ar condicionado é que a cada três meses seja realizada uma higienização, e todos os anos ocorra a substituição dos filtros. A falta de manutenção adequada pode contribuir para o aumento da exposição respiratória a micropartículas, pois o acúmulo de sujeira nas condutas a jusante das serpentinas de resfriamento favorece a deposição e a atividade microbiológica, resultando em potenciais fontes de agentes patogênicos respiratórios (Ildiri et al., 2025), podendo comprometer a saúde dos ocupantes daquele espaço.

Um estudo conduzido por Viana *et al.* (2023) demonstrou que quanto maior o intervalo sem limpeza adequada, maior é o acúmulo de microrganismos nos sistemas de climatização. Os autores observaram que as coletas realizadas após 15 dias da última higienização, já apresentavam alterações notáveis na quantidade de fungos, reforçando a necessidade da realização de limpezas periódicas conforme protocolos recomendados pelo fabricante, a fim de reduzir a propagação e emissão de fungos e bactérias no ambiente interno. Nesse sentido, Moraes (2021) também destacou a importância de atenção contínua à qualidade do ar em ambientes

climatizados, ao relatar a presença de fungos filamentosos em aparelhos de ar condicionado de laboratórios de uma instituição de ensino superior, microrganismos esses que já foram associados a agravos respiratórios, o que evidencia o risco à saúde dos ocupantes desses ambientes.

Com isso, torna-se imprescindível que os aparelhos de ar-condicionado passem por higienização adequada, uma vez que podem representar um importante fator de risco à saúde humana, favorecendo o acúmulo e a dispersão de poeira, fungos, bactérias e vírus no ambiente interno. Quando esses equipamentos não recebem limpeza regular, especialmente dos filtros e demais componentes internos, tornam-se reservatórios de microrganismos que são continuamente lançados no ar e inalados pelos ocupantes. Além disso, a refrigeração pode ressecar as mucosas das vias respiratórias, tornando-as mais vulneráveis à ação desses agentes infecciosos. Como consequência, os indivíduos expostos podem desenvolver sintomas como rinite, faringite, tosse crônica e irritações oculares que, se não tratados adequadamente, podem evoluir para quadros mais graves, como sinusite, otite e pneumonia. Assim, a manutenção e a limpeza periódica dos sistemas de climatização configuram-se como medidas fundamentais para a prevenção de doenças respiratórias e para a promoção de ambientes internos mais saudáveis (SESA, 2015).

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 SISTEMAS DE AR-CONDICIONADO COMO RESERVATÓRIOS DE MICRORGANISMOS EM AMBIENTES INTERNOS

Desde sua invenção por Willis H. Carrier em 1902, os sistemas de ar condicionado tornaram-se essenciais para garantir conforto térmico em ambientes internos. No entanto, embora promovam bem estar térmico, esses aparelhos podem comprometer a qualidade do ar se não forem devidamente higienizados. A eficiência dos sistemas de climatização depende diretamente da manutenção periódica de seus componentes, especialmente dos filtros, serpentinas e dutos, que atuam na retenção de impurezas. Para garantir que o ar seja purificado, é essencial que ele passe por filtros limpos e funcionais. Cada fabricante estipula um prazo para a limpeza dos filtros, a fim de evitar o aparecimento de mofo e a proliferação de

microrganismos que podem ser prejudiciais à saúde daqueles que utilizam o aparelho (Viana *et al.*, 2023).

Em um estudo experimental, Viana *et al.* (2023) avaliaram quatro aparelhos de ar-condicionado da mesma marca, comparando a quantidade de colônias de fungos e bactérias antes e após a limpeza interna do aparelho e dos filtros, além de realizar coletas sete e quatorze dias após a higienização. Os resultados indicaram que, quanto maior o intervalo entre as limpezas, maior o acúmulo de microrganismos e, conseqüentemente, maior a sua liberação no ambiente. Essas descobertas reforçam a importância da manutenção regular, especialmente em locais de uso contínuo, como salas de aula e ambientes corporativos.

A contaminação microbiológica é agravada pelo fato de que os aparelhos de ar-condicionado operam em locais fechados, onde o ar interno tende a ser mais contaminado que o ar externo. Moraes (2021) destaca que, embora o ar interno derive do ar externo, a ação dos sistemas de climatização sem manutenção adequada contribui para a concentração de contaminantes microbiológicos. Complementando essa preocupação, Brasil (2003) e Cartaxo *et al.* (2007) alertam que uma limpeza mal conduzida nos filtros de ar abre portas para doenças infecciosas, respiratórias e alérgicas em indivíduos que utilizam diariamente esses sistemas.

Nesse contexto, pode-se destacar a doença do legionário, causada por bactérias do gênero *Legionella*, que estão associadas a sistemas de ar-condicionado e de água que não recebem manutenção apropriada. A ausência de limpeza adequada favorece a colonização e proliferação desse microrganismo, cuja infecção pode causar sintomas como febre alta, calafrios, cefaleia, tosse seca, dores musculares e distúrbios gastrointestinais (Etto; Razzolini, 2011).

Associada a esse cenário, a *Sick Building Syndrome* (SBS), ou Síndrome do Edifício Doente, representa um problema frequente em ambientes internos climatizados. Essa síndrome é caracterizada pelo surgimento de sintomas inespecíficos em seus ocupantes, como rinite, bronquite, faringite, cefaleia, irritação ocular e das vias respiratórias, que tendem a diminuir ou desaparecer após o afastamento do ambiente. A SBS está relacionada à exposição contínua a contaminantes biológicos, como fungos e mofo, além de substâncias químicas potencialmente alergênicas e esporos aerotransportados. Com a expansão do uso de edificações que possuem sistemas de ventilação mecânica, aliada ao emprego

de determinados materiais de construção, ao aumento da ocupação dos espaços e aos níveis elevados de estresse, observa-se um crescimento nos relatos de casos dessa síndrome, reforçando a importância da manutenção adequada e do monitoramento da qualidade do ar em ambientes climatizados (Ross, 2004; Redlich, 1997).

2.2 PARÂMETROS LEGAIS E NORMATIVOS PARA QUALIDADE DO AR EM AMBIENTES CLIMATIZADOS

A qualidade do ar em ambientes climatizados é regulamentada no Brasil por normas específicas que visam proteger a saúde dos ocupantes, especialmente em espaços de uso coletivo. A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), por meio da Resolução nº 09/2003, estabelece parâmetros microbiológicos específicos para ambientes internos, enquanto a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da NBR 17037, complementa essa regulamentação ao fornecer diretrizes técnicas para a avaliação da qualidade do ar interior em ambientes climatizados artificialmente (ABNT, 2023).

De acordo com a Resolução nº 09/2003 da ANVISA, o limite máximo recomendado para contaminação fúngica no ar é de 750 unidades formadoras de colônia por metro cúbico de ar (UFC/m³). Além disso, deve-se observar a relação I/E (interior/exterior), que compara a concentração de fungos no ambiente interno (I) com a do ambiente externo (E). O valor dessa relação não deve ultrapassar 1,5, sendo esse parâmetro fundamental para a avaliação da origem da contaminação. Ademais, é inaceitável a presença de fungos patogênicos e toxigênicos. Caso os limites sejam excedidos, é obrigatória a identificação da fonte contaminante e a adoção de medidas corretivas imediatas (Brasil, 2003).

Essas diretrizes têm como objetivo garantir ambientes salubres e prevenir riscos à saúde pública. Ainda em 1998, a ANVISA já havia autorizado a publicação de um Regulamento Técnico com orientações básicas sobre a higiene, remoção de impurezas e manutenção da integridade e eficiência dos sistemas de climatização. Esse documento, elaborado em parceria com o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), buscava estabelecer critérios mínimos para assegurar a qualidade do ar de interiores (Brasil, 2003).

A falta de cumprimento dos parâmetros estabelecidos pode favorecer o surgimento de surtos de doenças respiratórias e alérgicas, como reforçado por Brasil (2003) e Cartaxo *et al.* (2007), que associam a má conservação dos sistemas de climatização ao aumento de enfermidades de origem infecciosa e ambiental.

Em comparação com outros países, o Brasil destaca-se por possuir uma legislação específica que estabelece limites máximos para a concentração de microrganismos no ar de ambientes internos climatizados. Em países como os Estados Unidos, Japão e membros da União Europeia, de modo geral, não há uma legislação nacional específica com valores numéricos definidos para fungos e bactérias no ar interior. Nesses casos, a avaliação da qualidade do ar baseia-se principalmente em diretrizes e recomendações de órgãos técnicos e científicos, como a *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE), a *World Health Organization* (WHO) e a *European Collaborative Action* (ECA), além do uso de parâmetros indiretos, como níveis de umidade, ventilação e conforto térmico, como critérios orientadores (Ashrae, 1995; Hayashi, 2020; World Health Organization, 2009).

2.3 CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS FUNGOS E SUA DISPERSÃO AÉREA

Os fungos são microrganismos eucariontes, heterotróficos e, em sua maioria, multicelulares, mas também podem ser unicelulares, no caso das leveduras. Exercem um papel fundamental na ecologia, atuando como decompositores, fertilizadores naturais do solo e estabelecendo relações mutualísticas com plantas e algas. Estão presentes em uma ampla diversidade de habitats, inclusive no ar, onde os chamados fungos anemófilos se dispersam por meio de esporos. Esses esporos, quando inalados, podem provocar reações alérgicas e agravar problemas respiratórios, especialmente em indivíduos suscetíveis (Lima *et al.*, 2019).

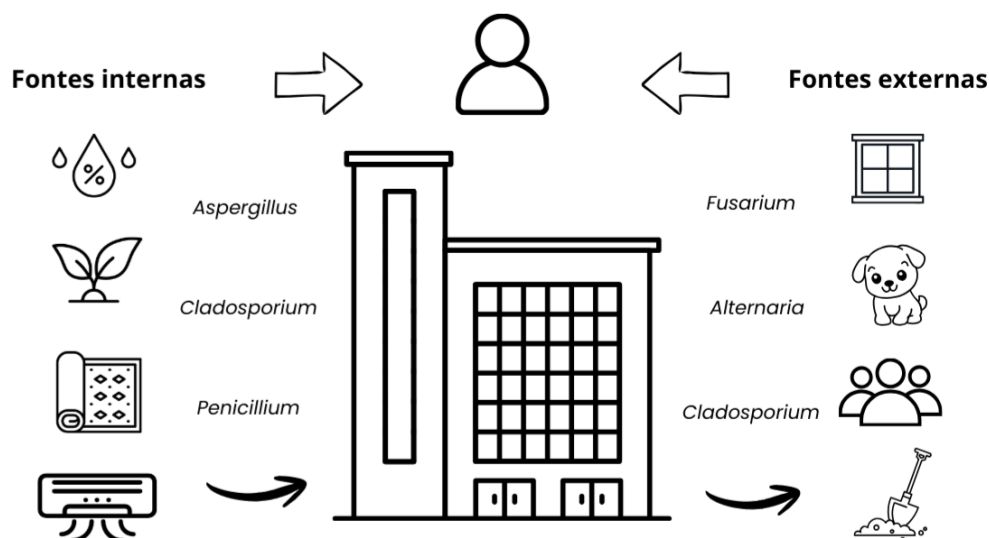
A estrutura celular fúngica inclui uma parede celular composta por proteínas, lipídios, quitina, glucanas e mananas. Muitos fungos também produzem metabólitos secundários importantes como ácido cítrico, etanol e glicerol (Brooks *et al.*, 2014). Algumas espécies possuem cápsulas externas que aumentam sua capacidade patogênica, facilitando a evasão do sistema imunológico (Voet, Voet & Pratt, 2014). A reprodução e dispersão dos fungos filamentosos ocorrem principalmente por meio de esporos, que podem ser transportados pelo vento ou pela água, fixando-se em

locais com condições favoráveis ao crescimento e ao desenvolvimento do micélio (Zaitz *et al.*, 2010).

De acordo com Suehara (2023), as condições climáticas influenciam diretamente a distribuição e a concentração de fungos no ambiente. O autor destaca que países tropicais, como o Brasil, apresentam condições ideais para uma maior dispersão de esporos, devido à elevada temperatura, alta umidade, luz solar intensa e circulação de vento. Essa realidade se reflete em estudos realizados em Pernambuco, nos quais foram identificados fungos dos gêneros *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp., *Talaromyces* sp., *Curvularia* sp. e *Paecilomyces* sp. em ambientes internos.

Em ambientes internos, a presença de microrganismos está associada a fatores como umidade elevada, presença de plantas e vasos, sistemas de ar-condicionado sem limpeza adequada e ventilação insuficiente, condições que favorecem a colonização fúngica em superfícies como carpetes, papéis de parede e áreas com infiltrações. Gêneros como *Aspergillus*, *Penicillium*, *Cladosporium* e *Stachybotrys* são frequentemente relatados nesses ambientes. No ambiente externo, por sua vez, os fungos têm origem principalmente em fontes naturais, como solo, matéria vegetal em decomposição, além da circulação de pessoas. Os gêneros mais comumente encontrados no ambiente externo incluem *Fusarium*, *Alternaria* e *Cladosporium*. A liberação e dispersão desses fungos são influenciadas por fatores climáticos, com maiores concentrações geralmente observadas em períodos quentes e úmidos. O ambiente externo atua como fonte primária de esporos para o interior das edificações, por meio da ventilação, da abertura de portas e janelas e do transporte passivo realizado pelos ocupantes e animais de estimação, estabelecendo uma dinâmica contínua de troca entre os dois ambientes. Dessa forma, a composição fúngica interna reflete tanto as condições ambientais externas quanto às características estruturais e de manutenção dos edifícios (Figura 1) (Kour *et al.*, 2025).

Figura 1 – Esquema ilustrativo das fontes internas e externas de fungos e dos mecanismos de troca de esporos entre o ambiente externo e o interior das edificações.



Fonte: Autor (2026)

Morais (2021) afirma que fungos filamentosos, quando encontram condições ambientais favoráveis como calor, umidade e presença de material orgânico, podem produzir micotoxinas que representam riscos significativos à saúde humana e que substratos naturais e sintéticos presentes em ambientes internos como papel, madeira, tecidos e materiais plásticos, por serem higroscópicos e frequentemente úmidos, favorecem o crescimento e a proliferação fúngica. Lima *et al.* (2019) enfatiza que essas substâncias tóxicas podem ser liberadas no ambiente interno e, ao serem inaladas ou entrarem em contato com a pele, provocar sintomas como dores de cabeça, irritações e ressecamento cutâneo, desconforto nasal e faríngeo, além de quadros alérgicos como rinite. Diante disso, o autor reforça a necessidade de monitorar a concentração de fungos em ambientes fechados, por meio de contagens e, sempre que possível, identificação taxonômica dos gêneros presentes.

2.4 FUNGOS POTENCIALMENTE PATOGÊNICOS E RISCO À SAÚDE HUMANA

Diversos gêneros de fungos presentes no ar possuem potencial patogênico, representando riscos especialmente para indivíduos alérgicos ou imunocomprometidos. Caldas *et al.* (2024) destaca que o gênero *Candida* pode causar infecções invasivas e respiratórias, sendo uma ameaça à saúde de pessoas com imunidade fragilizada. Por esse motivo, torna-se essencial manter o comprometimento com a limpeza e a manutenção de ambientes climatizados, visando proteger os grupos mais vulneráveis.

Esporos fúngicos são facilmente dispersos pelo ar e, ao se estabelecerem em superfícies, liberam metabólitos que contribuem para o odor característico de mofo, além de desencadear diversos problemas respiratórios (Lemfack *et al.*, 2014). Gêneros como *Alternaria*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Mucor*, *Penicillium* e *Rhizopus* estão entre os principais organismos dispersos pelo ar, sendo frequentemente associados a quadros de alergias e doenças respiratórias (Pereira *et al.*, 2013). A Organização Mundial da Saúde (OMS) alerta para os riscos dos bioaerossóis, pois, ao entrarem em contato com poeira e contaminantes químicos, podem desencadear doenças respiratórias diversas. Sintomas como espirros, olhos lacrimejantes, tosse e, em casos mais graves, pneumonia, são comuns entre pessoas expostas a esses microrganismos em ambientes contaminados (Morais, 2021).

Em um estudo conduzido por Abbasi e Samaei (2019), foi observado que muitos fungos patogênicos possuem crescimento ótimo em temperaturas próximas a 25 °C, o que favorece sua proliferação em ambientes climatizados. O gênero *Aspergillus*, por exemplo, é amplamente conhecido por causar aspergilose brônquica alérgica, sinusites fúngicas, otites externas, entre outras infecções. Já o gênero *Penicillium* é produtor de micotoxinas que podem induzir reações alérgicas como rinite, asma e irritações respiratórias (Costa, 2022).

Além disso, a alta temperatura e a umidade elevada são fatores que favorecem o desenvolvimento e a proliferação de fungos no ambiente, elevando sua concentração no ar e, como consequência, aumentando a incidência de sintomas alérgicos (Suehara, 2023).

Embora o gênero *Aspergillus* tenha sido historicamente relacionado apenas à contaminação ambiental, estudos mais recentes demonstraram seu potencial patogênico, especialmente em indivíduos imunocomprometidos. Essa capacidade está ligada à eficiência de disseminação de seus esporos, que podem ser transportados por longas distâncias no ar, aumentando significativamente o risco de infecções pulmonares (Cunha, 2017).

2.5 MÉTODOS DE AMOSTRAGEM MICROBIOLÓGICA DO AR EM AMBIENTES INTERNOS

O método ativo de amostragem do ar consiste na utilização de dispositivos capazes de aspirar um volume de ar previamente conhecido e direcioná-lo

diretamente sobre um meio de cultura nutritivo. Esse tipo de amostragem permite a detecção de microrganismos que ocorrem em baixas concentrações no ar, por meio do uso de amostradores específicos. No entanto, apresenta algumas limitações, como a necessidade de esterilização e calibração dos equipamentos, o maior custo operacional e o volume relativamente limitado de ar analisado (Pasquarella *et al.*, 2008).

Por sua vez, o método passivo baseia-se na sedimentação espontânea dos microrganismos presentes no ar, utilizando placas de Petri expostas ao ambiente por um período previamente definido. Entre as principais vantagens desse método destacam-se o baixo custo, a simplicidade operacional e a possibilidade de realizar múltiplas coletas simultâneas em diferentes locais, além de permitir o crescimento microbiano em condições próximas às naturais. Como principal desvantagem, ressalta-se o fato de o volume de ar amostrado não ser conhecido com precisão (Pasquarella *et al.*, 2008).

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a qualidade microbiológica do ar em salas de aula climatizadas e corredores do Departamento de Biologia da UFRPE, por meio da detecção e quantificação de fungos filamentosos e verificar se os níveis encontrados estão em conformidade com o limite estabelecido pela Agência da Vigilância Sanitária (ANVISA) na resolução RE nº 176, de 24 de Outubro de 2000.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar análise microbiológica do ar de salas de aula climatizadas e corredores do Departamento de Biologia da UFRPE;
- Quantificar os fungos filamentosos presentes nas amostras de ar coletadas e comparar os resultados com os limites estabelecidos pela ANVISA;
- Identificar os gêneros de fungos presentes nas amostras coletadas, e correlacionar com possíveis fungos causadores de alergias e infecções respiratórias;

- Correlacionar as condições ambientais das salas de aula com a presença e proliferação dos fungos identificados e propor medidas de mitigação.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE DE ESTUDO

O estudo foi realizado no Departamento de Biologia da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). A coleta das amostras ocorreu em sete salas de aula distribuídas em três pavimentos do edifício, bem como em seus respectivos corredores. As salas analisadas foram: 101, 102 e 103, localizadas no primeiro pavimento; 201, 202 e 205, no segundo pavimento; e a sala 304, no terceiro pavimento. A seleção dessas salas ocorreu porque, no momento da coleta, eram as que apresentavam o sistema de ar-condicionado em funcionamento.

4.2 COLETA DE AMOSTRAS

A análise microbiológica do ar foi conduzida nos meses de outubro e novembro de 2025. Nas salas de aula e nos corredores, placas de Petri com 90 mm de diâmetro contendo o meio de cultura Ágar Batata Dextrose (BDA) acrescido de cloranfenicol (100 mg/L), com o objetivo de inibir o crescimento bacteriano e favorecer o desenvolvimento de fungos filamentosos, foram colocadas em pontos previamente definidos, sendo expostas à sedimentação espontânea de microrganismos presentes no ar ambiente, de acordo com a técnica de amostragem passiva (Pasquarella; Pitzurra; Sarno, 2000), amplamente utilizada na avaliação microbiológica de ambientes internos climatizados.

Em cada sala de aula, foram utilizadas nove placas de Petri, agrupadas em triplicatas, expostas por diferentes intervalos de tempo: Placa A por 15 minutos, Placa B por 30 minutos e Placa C por 45 minutos. As placas foram posicionadas a uma altura padronizada de 1,5 m em relação ao piso, centralizadas sobre cadeiras localizadas no interior das salas, conforme a disposição do ambiente no momento da coleta, sem padronização da distância em relação aos aparelhos de ar-condicionado, sendo expostas durante o período de aulas. Esse procedimento seguiu as diretrizes estabelecidas pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), conforme a Resolução nº 9, de 16 de janeiro de 2003, que dispõe sobre

os padrões referenciais de qualidade do ar em ambientes climatizados de uso público e coletivo (BRASIL, 2003).

Um total de 63 placas de Petri foram expostas nas salas de aula, sendo nove por cada ambiente (uma triplicata por cada tempo de exposição). Nos corredores, foram expostas três placas de Petri, posicionadas diretamente sobre o piso em três pontos distintos, respeitando-se os mesmos tempos de exposição adotados para as salas de aula. A Figura 2 apresenta um exemplo do posicionamento das placas durante o processo de amostragem.

Figura 2- Placas de Petri expostas durante a amostragem do ar em salas de aula climatizadas do Departamento de Biologia.



Fonte: Autor (2025)

Após o período de exposição, as placas foram fechadas e envoltas em plástico filme, sendo encaminhadas ao Laboratório de Microbiologia Ambiental e Agrícola (LMAAA), onde foram incubadas em estufa tipo BOD, à temperatura de 28 °C. A incubação inicial foi realizada por cinco dias; entretanto, devido ao crescimento

fúngico insuficiente, as placas permaneceram em incubação por período adicional, sendo a quantificação das Unidades Formadoras de Colônias (UFC) de fungos filamentosos realizada após o desenvolvimento visível das colônias, respeitando-se as características morfológicas necessárias para análise.

4.3 QUANTIFICAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DOS FUNGOS

Após a observação do crescimento das colônias fúngicas, procedeu-se à quantificação das Unidades Formadoras de Colônias (UFC). Para todas as placas expostas durante os diferentes tempos, foi feita a contagem das UFCs e tirada a média aritmética da triplicata, sendo os valores expressos em UFC/sala, para cada tempo.

A concentração de fungos no ar (UFC/m³) foi estimada utilizando a equação proposta por Friberg, Friberg e Burman (1999) (Equação 1), a qual estabelece a relação entre o número de colônias depositadas (N), a área da superfície exposta (0,00636 m²) (A) e um fator empírico de conversão (23:1), considerando o princípio da sedimentação espontânea dos microrganismos.

$$UFC/m^3 = (N / A) \times (1 / 23) \quad (1)$$

Equação 1 – Cálculo da concentração fúngica no ar (UFC/m³) pelo método de sedimentação espontânea proposto por Friberg, Friberg e Burman (1999).

Para a padronização dos resultados, a conversão para UFC/m³ foi realizada utilizando-se exclusivamente os valores obtidos no tempo de exposição de 45 minutos, por apresentarem maior número de colônias nas placas, possibilitando uma estimativa mais representativa da carga fúngica do ambiente.

Adicionalmente, em cada ambiente analisado, foram selecionadas colônias fúngicas morfolologicamente distintas para identificação em nível de gênero. As colônias selecionadas foram submetidas ao processo de purificação, sendo inoculadas em novas placas de Petri contendo Ágar Batata Dextrose (BDA), com o objetivo de obter culturas isoladas e permitir uma identificação mais precisa dos gêneros fúngicos.

A identificação teve como foco a detecção de fungos potencialmente patogênicos ou alergênicos, como os gêneros *Aspergillus*, *Penicillium*, *Curvularia*, além de fungos demáceos, visando indicar possíveis riscos à saúde dos ocupantes dos ambientes avaliados (CUNHA; SOUZA; GAZOLA, 2017).

A identificação morfológica foi realizada a partir de culturas isoladas, com o auxílio de microscopia óptica. Para a preparação das lâminas, fragmentos das colônias foram corados com azul de lactofenol, o que permitiu a visualização das estruturas vegetativas, como hifas e micélio, bem como das estruturas reprodutivas, incluindo conidióforos, conídios e esporos, características dos fungos filamentosos, conforme descrito na literatura especializada (BARNETT; HUNTER, 1998; DOMSCH; GAMS; ANDERSON, 2007; RAPER; FENNELL, 1965; MORAES; PAES; HOLANDA, 2010).

5 RESULTADOS

5.1 CARACTERIZAÇÃO DAS COLETAS

As informações referentes à data de coleta, à quantidade de alunos presentes e ao horário de início da amostragem em cada um dos ambientes avaliados encontram-se na Tabela 1. As coletas realizadas nas salas de aula e nos corredores ocorreram durante o período de funcionamento regular do edifício.

Tabela 1 – Informações sobre os ambientes amostrados para pesquisa de fungos filamentosos do ar em ambiente climatizado no Departamento de Biologia da UFRPE.

Sala de aula	Data de coleta	Quantidade de alunos	Início da coleta
101	17/10/2025	5	15:17
102	17/10/2025	11	15:19
103	17/10/2025	22	15:20
201	17/10/2025	25-40	15:20
202	17/10/2025	35-40	15:23

205	17/10/2025	13	16:14
304	17/10/2025	11	16:16
C1	13/11/2025	NA	10:36
C2	13/11/2025	NA	10:31
C3	13/11/2025	NA	11:27

Legenda: C1, C2 e C3 correspondem aos corredores do primeiro, segundo e terceiro pavimentos, respectivamente. NA: não aplicável.

5.2 QUANTIFICAÇÃO DE FUNGOS E COMPARAÇÃO COM OS PADRÕES DA ANVISA

A Tabela 2 apresenta os valores médios de UFC/sala obtidos nos diferentes ambientes avaliados, considerando os tempos de exposição de 15, 30 e 45 minutos.

Foi possível observar o crescimento de colônias fúngicas em todas as salas de aula e corredores, bem como em todos os tempos de exposição (exceto para o tempo de 15 min na sala 205).

De modo geral, o tempo de 45 min (C) foi associado aos maiores valores médios de UFC/sala, enquanto o tempo de 15 minutos (A) apresentou os menores valores. Observa-se que as salas 202 e o C1 apresentaram as maiores médias de UFC no tempo C (45 minutos).

Tabela 2 – Valores médios de Unidades Formadoras de Colônias (UFC/placa) nos ambientes avaliados, de acordo com o tempo de exposição.

Ambientes	UFC (média)		
	A	B	C
	15 min	30 min	45 min

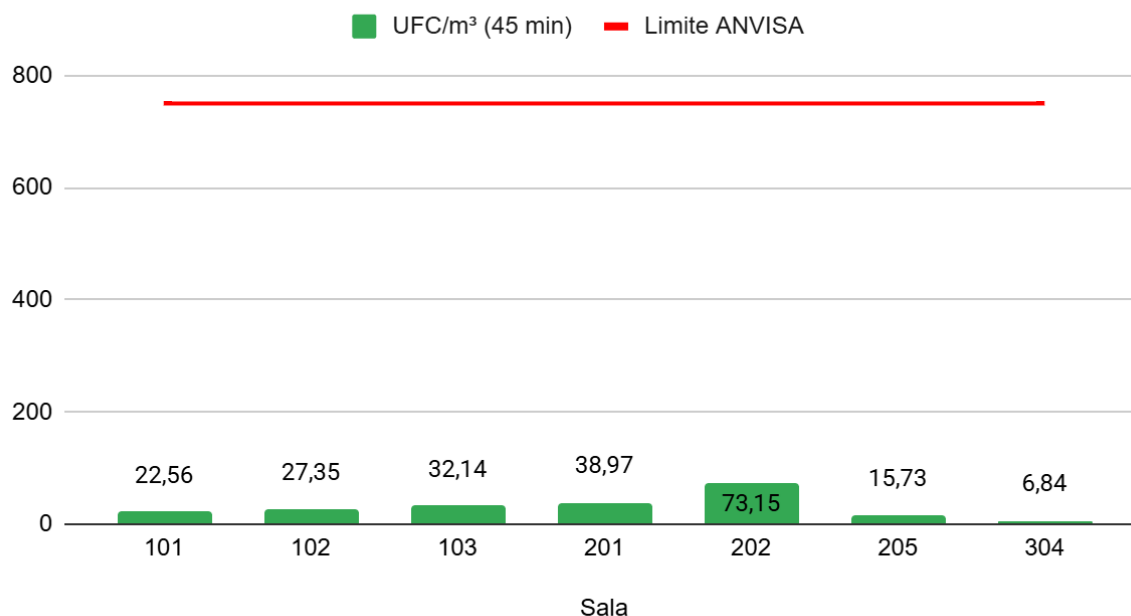
101	2,0	2,0	3,3
102	3,7	3,7	4,0
103	1,3	2,3	4,7
201	1,3	7,7	5,7
202	6,7	7,7	10,7
205	0,0	2,7	2,3
304	0,7	2,0	1,0
C1	2,0	3,0	9,0
C2	4,0	6,0	7,0
C3	5,0	6,0	8,0

Legenda: A, B e C correspondem aos tempos de exposição de 15, 30 e 45 minutos, respectivamente. Para as salas de aula, os valores apresentados referem-se às médias das triplicatas por tempo de exposição. Para os corredores (C1, C2 e C3), os valores correspondem às contagens diretas de UFC/placa, uma vez que foi utilizada uma única placa por tempo. As quantificações das salas de aula foram realizadas em 30/10/2025 e as dos corredores em 27/11/2025.

Conforme ilustrado na Figura 3 a seguir, a carga fúngica do ar (UFC/m³) nas salas de aula climatizadas do Departamento de Biologia variou entre 6,84 e 73,15 UFC/m³, considerando o tempo de exposição adotado. Observou-se variação entre os ambientes analisados, com a sala 202 apresentando o maior valor de UFC/m³, enquanto a sala 304 apresentou a menor carga fúngica. No entanto, todos os ambientes avaliados apresentaram valores inferiores ao limite máximo de 750 UFC/m³ estabelecido pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) para ambientes climatizados de uso coletivo.

Figura 3 – Carga fúngica do ar (UFC/m³) em salas de aula climatizadas do Departamento de Biologia, considerando 45 minutos de exposição, em comparação com o limite estabelecido pela ANVISA (2003).

Carga fúngica (UFC/m³) nas salas de aula climatizadas



Fonte: Autor (2025)

5.3 IDENTIFICAÇÃO DOS FUNGOS FILAMENTOSOS

Um total de 30 colônias fúngicas selecionadas para esta etapa foram identificadas pertencentes aos gêneros *Aspergillus*, *Aureobasidium*, *Alternaria*, *Cladosporium*, *Curvularia*, *Fusarium* e *Penicillium*. A identificação morfológica das colônias fúngicas permitiu a determinação dos gêneros presentes em cada ambientes amostrados, bem como a frequência de ocorrência de cada um desses gêneros.

A Tabela 3 apresenta a distribuição dos gêneros identificados nas salas de aula e corredores avaliados, enquanto a Figura 4 expressa a frequência de ocorrência de cada gênero em relação ao total de ambientes analisados.

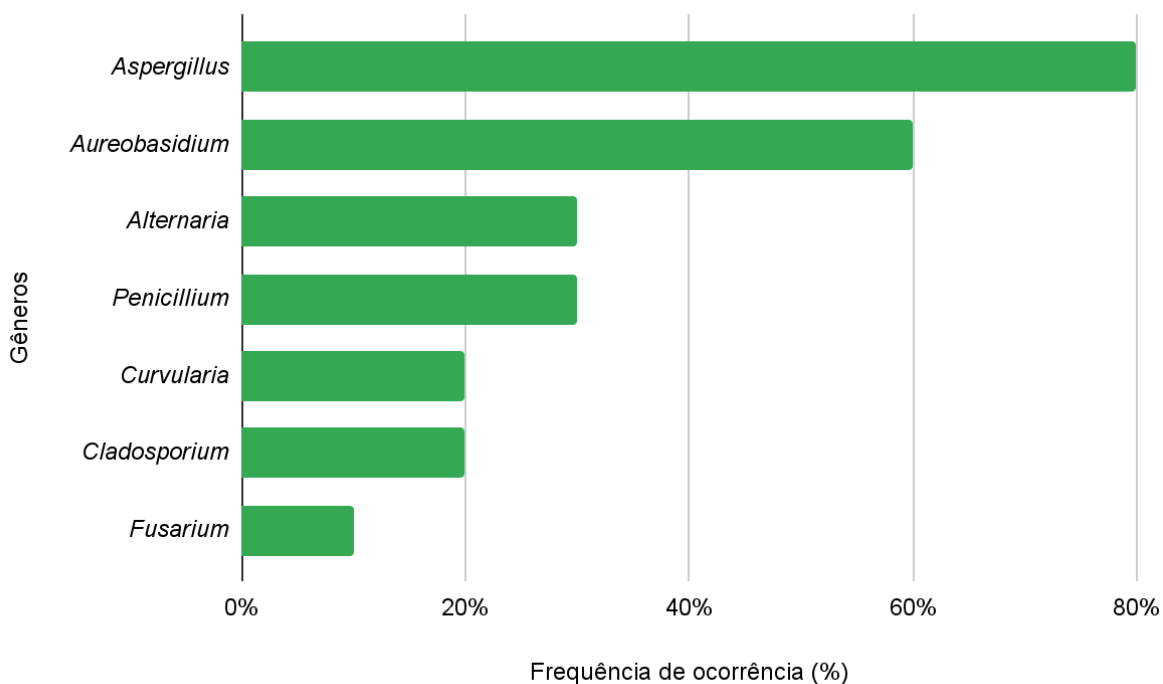
O gênero *Aspergillus* foi o mais frequente, sendo registrado em 80% dos ambientes amostrados, seguido por *Aureobasidium*, com ocorrência em 60%. Os gêneros *Alternaria* e *Penicillium* apresentaram frequência intermediária, sendo detectados em 30% dos ambientes, enquanto *Curvularia* e *Cladosporium* ocorreram em 20%. O gênero *Fusarium* foi identificado em apenas 1 ambiente, correspondendo a 10% de frequência.

Os resultados expostos na Tabela 3 também indicam que nas amostras dos corredores, o gênero *Aspergillus* se destaca, sendo o gênero predominante para este tipo de ambiente.

Tabela 3 – Presença dos gêneros fúngicos identificados nos ambientes amostrados do Departamento de Biologia da UFRPE.

Gêneros identificados	Ambientes Amostrados									
	101	102	103	201	202	205	304	C1	C2	C3
<i>Aspergillus</i>	✓		✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓
<i>Aureobasidium</i>	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
<i>Cladosporium</i>		✓					✓			
<i>Curvularia</i>		✓		✓						
<i>Fusarium</i>					✓					
<i>Alternaria</i>		✓		✓	✓					
<i>Penicillium</i>		✓			✓				✓	

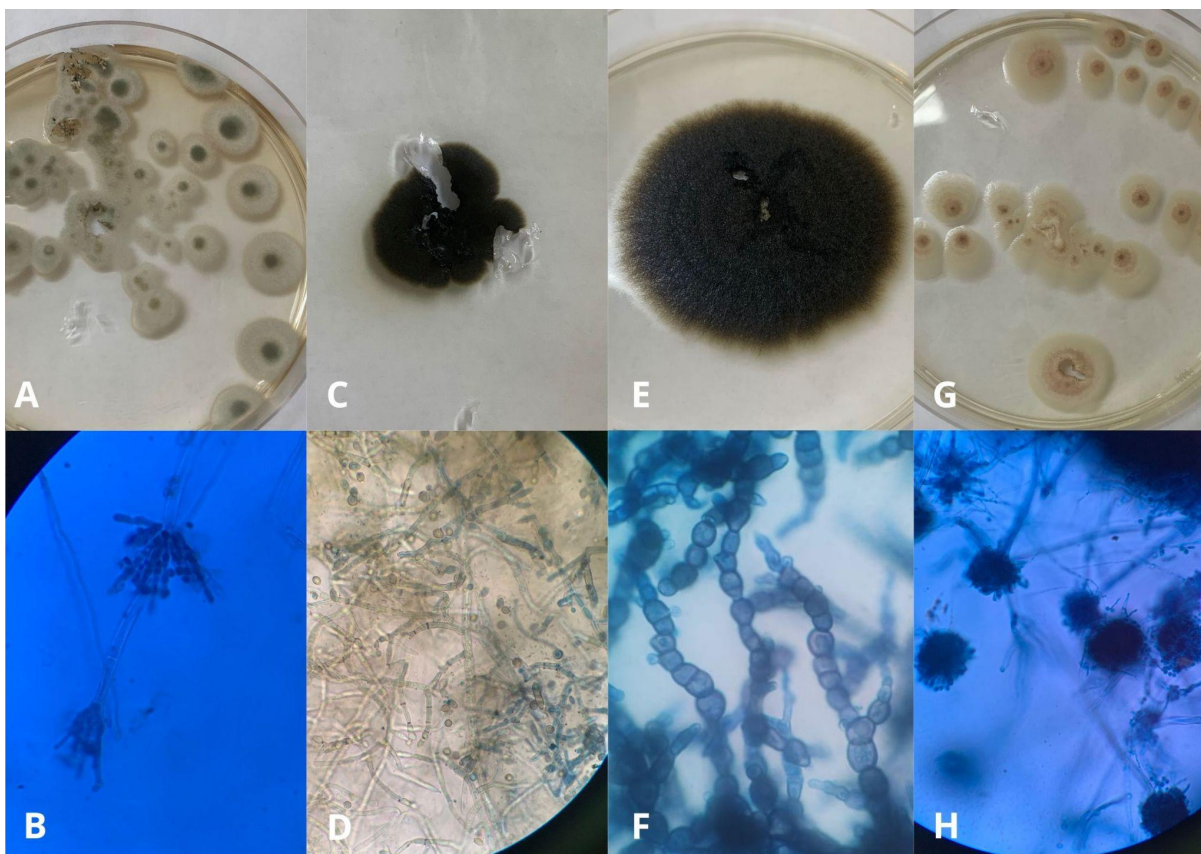
Figura 4 – Frequência de ocorrência (%) dos gêneros fúngicos nos ambientes amostrados do Departamento de Biologia da UFRPE.



Fonte: Autor (2025)

A Figura 5 apresenta exemplos de culturas fúngicas isoladas em Ágar Batata Dextrose (BDA), bem como registros de fungos identificados a partir das amostras de ar coletadas nas salas climatizadas do Departamento de Biologia. As colônias exibiram diferentes características macroscópicas, incluindo variações de coloração, textura, relevo e bordas.

Figura 5 – Fungos Filamentosos isolados de ambientes climatizados (salas de aula) do Departamento de Biologia da UFRPE. A e B: macroscopia e microscopia de *Penicillium*; C e D: macroscopia e microscopia de *Cladosporium*; E e F: macroscopia e microscopia de *Aureobasidium*; G e H: macroscopia e microscopia de *Aspergillus* .



Fonte: Autor (2025)

6 DISCUSSÃO

Fungos anemófilos, ou seja, aqueles que produzem esporos secos e hidrofóbicos e os dispersam pelo ar, apresentam potencial para causar ou agravar diversas doenças respiratórias como rinites e alergias. Mesmo espécies consideradas não patogênicas podem estar associadas à ocorrência de micotoxicoses e infecções oportunistas (Dubey, 2016). O crescimento e a dispersão desses microrganismos dependem de múltiplos fatores ambientais, como temperatura, umidade do ar e radiação solar, sendo que períodos mais quentes do ano estão associados a aumentos nas concentrações de bactérias e fungos no ar (Nunes, 2005). Em ambientes internos e climatizados, a dispersão fúngica geralmente está relacionada à troca com o meio externo, aliada a condições como ausência de higienização adequada, elevada ocupação e falta de manutenção dos sistemas de ar-condicionado (Sobral et al., 2017).

De acordo com os resultados obtidos neste estudo, os valores de concentração fúngica nas salas de aula climatizadas do Departamento de Biologia

variaram entre 6,84 e 73,15 UFC/m³, permanecendo, em todos os ambientes avaliados, abaixo do limite máximo de 750 UFC/m³ estabelecido pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) para ambientes climatizados de uso coletivo, conforme a Resolução RE nº 176/2000. Esses resultados indicam que, do ponto de vista quantitativo, a qualidade do ar das salas analisadas está em conformidade com o estabelecido pela legislação. Dessa forma, pode-se inferir que as condições estruturais e de manutenção dos ambientes, como a adequada higienização e o funcionamento dos sistemas de ar-condicionado, bem como a boa circulação do ar observada na edificação, podem ter se sobressaído a outros fatores ambientais que potencialmente contribuiriam para o aumento da carga fúngica do ar.

Resultados semelhantes foram observados por Sobral (2016), em estudo sobre a microbiota fúngica do ar no Centro Acadêmico de Vitória da Universidade Federal de Pernambuco (CAV/UFPE), no qual foram avaliados 82 ambientes, todos em conformidade com os limites estabelecidos pela legislação vigente. De forma semelhante, Silva, Machado e Araújo (2018), ao analisarem salas de aula de uma instituição de ensino superior em Patos de Minas–MG, também não registraram concentrações fúngicas acima dos valores recomendados. Nesse mesmo estudo, os autores não observaram influência da altura das salas em relação ao solo sobre a carga fúngica do ar, resultado que corrobora os dados obtidos no presente trabalho.

As salas 201 e 202 apresentaram os maiores valores de UFC/m³, enquanto outras salas, como a 304, apresentaram menores concentrações fúngicas (Tabela 2). Essas variações podem estar associadas às características específicas de cada ambiente, como número de ocupantes, intensidade de uso e fluxo de pessoas durante o período de coleta. Conforme observado nos dados de caracterização das coletas (Tabela 1), as salas que apresentaram maiores valores de UFC/m³ também foram aquelas com maior número de alunos presentes, o que implica maior movimentação e maior ressuspensão de partículas biológicas no ar. Esse padrão também foi observado por Neto et al. (2013) em ambientes climatizados da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). A maior circulação de pessoas tende a contribuir para o aumento da carga biológica do ar, visto que a presença de microrganismos em ambientes internos é influenciada pelo transporte passivo dos pelos ocupantes e pelas atividades desenvolvidas no local (Karwowska, 2002).

Em relação aos corredores, observou-se que, no tempo C (45 minutos), esses ambientes apresentaram médias de UFC/placa superiores às da maioria das salas

avaliadas. Esse resultado pode estar relacionado à presença de janelas ao longo dos corredores, favorecendo a troca constante com o ar externo. Embora os corredores não constituam o foco principal deste estudo, os dados obtidos contribuem para compreender o contexto ambiental geral do edifício analisado. Além disso, o gênero *Aspergillus* foi o predominante nas amostras dos corredores, sendo este um fungo conhecido pela sua ubiquidade e pela dispersão passiva dos esporos por meio do vento e de atividades humanas (Oberle et al., 2015).

A técnica de sedimentação espontânea adotada nas coletas baseia-se na deposição passiva de partículas ao longo do tempo. Em cada sala, as placas foram expostas em três tempos distintos, conforme apresentado na Tabela 2. Os tempos B (30 minutos) e C (45 minutos) foram aqueles que apresentaram maior número de colônias, comportamento esperado, uma vez que períodos de exposição mais longos favorecem a deposição de um maior número de propágulos fúngicos presentes no ar sobre a superfície do meio de cultura.

Semelhantes resultados são descritos na literatura, como nos estudos de Silva, Machado e Araújo (2018) e Cunha, Souza e Gazola (2017), os quais indicam que o aumento do tempo de exposição das placas resulta em maior recuperação de microrganismos aerotransportados, especialmente em ambientes internos. Considerando que uma das limitações do método de sedimentação espontânea é a dificuldade de captura de partículas de menor tamanho (Caldeira et al., 2012), os dados obtidos neste estudo reforçam a adequação da utilização de diferentes tempos de exposição como estratégia para a avaliação da carga fúngica do ar, possibilitando uma melhor visualização das variações na concentração de microrganismos.

A identificação morfológica dos fungos isolados neste estudo permitiu a caracterização dos principais gêneros presentes nos ambientes avaliados, sendo identificados *Aspergillus*, *Aureobasidium*, *Penicillium*, *Cladosporium*, *Alternaria*, *Curvularia* e *Fusarium*. A ocorrência desses gêneros está de acordo com os resultados descritos por Silva et al. (2021), em estudo realizado em bibliotecas de instituições de ensino da Região Nordeste do Brasil, no qual foram identificados *Alternaria* sp., *Aspergillus* sp., *Cladosporium* sp., *Curvularia* sp., *Fusarium* sp. e *Penicillium* sp. como os fungos mais prevalentes. De forma semelhante, Morais (2021), ao avaliar laboratórios de pesquisa, observou maior ocorrência dos gêneros *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Fusarium* e *Penicillium*.

Dentre os gêneros identificados, *Aspergillus* apresentou a maior frequência de ocorrência, sendo detectado na maioria dos ambientes amostrados, tanto nas salas de aula quanto nos corredores. Esse resultado é consistente com a ampla distribuição desse gênero em ambientes internos, frequentemente relatada em estudos de monitoramento da qualidade do ar, como o realizado por Menezes et al. (2004), em Fortaleza, no qual *Aspergillus* foi o gênero mais isolado (44,7%).

A elevada ocorrência desse gênero pode ser explicada por sua distribuição cosmopolita, uma vez que espécies de *Aspergillus* são encontradas em uma ampla variedade de ambientes e ao longo de todas as estações do ano. Estima-se a existência de aproximadamente 900 espécies descritas, dentre as quais se destacam *A. fumigatus*, *A. flavus* e *A. niger*, reconhecidas pelo potencial de causar doenças respiratórias. Entre essas enfermidades, destaca-se a aspergilose, uma infecção fúngica oportunista favorecida pela fácil dispersão dos conídios, devido ao pequeno tamanho dessas estruturas, à capacidade de crescimento em temperaturas próximas à corporal (37 °C) e à produção de toxinas (Amorim et al., 2004). Dessa forma, a elevada frequência de isolamento de *Aspergillus* reforça sua importância na avaliação da qualidade do ar interior, uma vez que espécies desse gênero estão associadas ao desencadeamento de doenças respiratórias, como rinite, asma e sinusite (Monteiro et al., 2002).

O segundo gênero fúngico mais isolado neste estudo foi *Aureobasidium*, um fungo que apresenta formas celulares leveduriformes e filamentosas. Embora possua reconhecida importância biotecnológica, esse gênero também é considerado um patógeno oportunista em humanos (Almeida, 2022). A ocorrência recorrente de *Aureobasidium* nas salas de aula amostradas do Departamento de Biologia, em contraste com sua ausência nos corredores, pode estar relacionada a características específicas dos ambientes internos avaliados. Esse gênero é muito associado a superfícies internas e ambientes com maior umidade, sendo favorecido por espaços mais fechados e com menor renovação de ar (Sarvtin; Alamian, 2025). A estabilidade microambiental das salas climatizadas, aliada à ocupação humana e à ressuspensão de partículas, pode ter contribuído para a maior detecção desse gênero nesses ambientes.

Os gêneros *Alternaria*, *Penicillium*, *Curvularia*, *Cladosporium* e *Fusarium* foram identificados com menor frequência nos ambientes avaliados. O gênero *Penicillium*, depois de *Aspergillus*, costuma ser o gênero mais encontrado em

resultados descritos em estudos realizados em ambientes universitários. Sobral et al. (2017), ao avaliarem ambientes acadêmicos em Pernambuco, observaram frequências expressivas de *Penicillium*. De forma semelhante, Pantoja et al. (2007), no Campus Itaperi da Universidade Estadual do Ceará, identificaram *Penicillium* sp. em 30% de 50 amostras, destacando a movimentação de pessoas como um fator importante para o aumento da carga fúngica em ambientes internos.

O gênero *Alternaria* foi encontrado em 30% dos ambientes amostrados e é reconhecido por estar associado a doenças respiratórias alérgicas. *Alternaria alternata*, em particular, é um fungo predominantemente externo, cujos esporos se disseminam em condições de ar quente e seco, podendo atingir ambientes internos (Fernández et al., 2023).

Os gêneros *Fusarium*, *Curvularia* e *Cladosporium* foram identificados com menor frequência nos ambientes avaliados; entretanto, sua ocorrência não deve ser negligenciada. *Fusarium*, gênero predominantemente reconhecido como fitopatógeno, pode atuar como agente oportunista em humanos, estando associado a infecções como ceratites, onicomicoses e micetomas (Sidrim; Cordeiro; Rocha, 2004, apud Morais, 2021). O gênero *Cladosporium*, especialmente a espécie *Cladosporium herbarum*, é considerado um importante alérgeno em ambientes internos. Já o gênero *Curvularia*, também conhecido como patógeno de plantas, tem sido associado a infecções em indivíduos imunodeprimidos; contudo, estudos indicam que esse patógeno também pode causar sinusite fúngica em indivíduos imunocompetentes (Paluch; Oliveira, 2015).

A menor ocorrência desses gêneros neste estudo pode estar relacionada a fatores previamente descritos, como a adequada higienização dos ambientes e a menor influência do meio externo. Ainda assim, a identificação desses gêneros, mesmo que pontual, reforça a diversidade da microbiota aérea nos ambientes analisados.

Outra questão importante neste contexto, apesar do presente estudo não ter abordado o isolamento de fungos presentes nos aparelhos de ar condicionado, estudos apontam que os filtros desses equipamentos são verdadeiras fontes de contaminação microbiológica. Hamada e Fujita (2002) em sua pesquisa em automóveis, chegaram a conclusões interessantes como: a carga microbiológica do

ar é duas vezes maior durante o uso do ar condicionado, os filtros do ar condicionado possuem cinco vezes mais carga fúngica do que o carpete do automóvel, e que *Cladosporium* e *Penicillium* são os gêneros predominantes nos filtros do ar condicionado.

Outros estudos pesquisaram a correlação entre a qualidade microbiológica do ar de ambientes climatizados e colonização dos equipamentos de ar condicionado (especialmente os filtros), concluindo que estes equipamentos, quando realizadas as devidas manutenções, não representam fontes de contaminação (Hamada e Fujita, 2002; Sowiak et al., 2018; Kemp et al., 2003). Porém, uma vez que não submetidos às devidas limpezas e trocas de filtro, representam fontes importantes de propágulos fúngicos, estes muitas vezes potencialmente patogênicos e alérgenos.

Sendo assim, de acordo com os resultados apresentados, sob a perspectiva quantitativa, as salas de aula estão em conformidade com os padrões estabelecidos pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Contudo, a presença de fungos potencialmente patogênicos acende um alerta e demonstra inconformidade com os padrões vigentes, visto que a ANVISA considera inaceitável a presença de fungos classificados como patogênicos e toxigênicos.

O presente estudo possui algumas limitações importantes a serem consideradas na interpretação dos resultados. Primeiramente, a técnica de amostragem passiva por sedimentação espontânea, embora muito utilizada em estudos de avaliação microbiológica do ar, não permite determinar o exato volume de ar amostrado, o que limita comparações diretas com métodos ativos de coleta. Ainda assim, essa técnica é reconhecida por sua simplicidade, baixo custo e facilidade de uso em ambientes internos de uso coletivo, sendo útil para estudos exploratórios e comparativos (Caldeira et al., 2012; Quadros; Lisboa, 2010).

Além disso, as coletas foram feitas em apenas um dia de outubro e um dia de novembro, não levando em conta as variações sazonais ao longo do ano. Soma-se a isso a falta de informações detalhadas sobre a frequência com que os sistemas de ar-condicionado são limpos e mantidos, bem como o número reduzido de ambientes amostrados. Como fatores climáticos, como temperatura e umidade, podem afetar a concentração e diversidade de fungos aerotransportados, estudos futuros que realizem coletas contínuas ao longo de diferentes estações, acompanhados do monitoramento das condições de manutenção dos ambientes, podem contribuir para uma compreensão mais abrangente dos padrões observados.

Como medidas de mitigação para a manutenção e melhoria da qualidade do ar nas salas de aula climatizadas do Departamento de Biologia, recomenda-se a realização de limpeza regular e manutenção adequada dos sistemas de climatização. As bandejas de água dos condicionadores de ar devem ser higienizadas com frequência, conforme estabelecido pelo fabricante, uma vez que podem atuar como reservatórios de microrganismos. Esses procedimentos devem abranger todo o sistema instalado, incluindo filtros, serpentinas e dutos, assegurando condições adequadas de limpeza, manutenção, operação e controle. Como alternativa complementar, destaca-se a utilização de sistemas de purificação do ar baseados em ionização negativa, os quais podem auxiliar na redução da concentração de partículas e microrganismos suspensos no ambiente (Carmo; Prado, 1999; Basto, 2007).

7. CONCLUSÃO

Ao avaliar a qualidade microbiológica do ar em salas de aula climatizadas do Departamento de Biologia da Universidade Federal Rural de Pernambuco, por meio da quantificação e identificação de fungos anemófilos, utilizou-se a aplicação da técnica de sedimentação espontânea que permitiu a obtenção de dados representativos sobre a carga fúngica e a composição da microbiota aérea nos ambientes analisados.

A identificação morfológica revelou a presença de diferentes gêneros fúngicos comumente associados a ambientes internos, com *Aspergillus* e *Aureobasidium* como os mais predominantes, seguidos por *Penicillium*, *Alternaria*, *Cladosporium*, *Curvularia* e *Fusarium*. Embora alguns desses gêneros tenham sido identificados com menor frequência, sua ocorrência reforça a diversidade da microbiota aérea e a importância do monitoramento contínuo, uma vez que muitos deles estão associados a quadros alérgicos e infecções oportunistas.

Os resultados obtidos demonstraram que as concentrações fúngicas nas salas avaliadas permaneceram abaixo do limite máximo estabelecido pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária para ambientes climatizados de uso coletivo, indicando conformidade com os padrões quantitativos sanitários vigentes. Contudo, não foi atendido o critério de ausência de fungos patogênicos e toxigênicos no ambiente interno climatizado.

De modo geral, os resultados deste estudo evidenciam a importância do controle e da manutenção periódica dos sistemas de climatização como medida para a preservação da qualidade do ar em ambientes internos de uso coletivo, reforçando a necessidade de ações preventivas e de monitoramento regular, visando minimizar riscos à saúde dos ocupantes e contribuir para ambientes mais seguros e saudáveis.

Por fim, recomenda-se que estudos futuros contemplem todas as salas do departamento, ampliem o período de amostragem, incluam diferentes épocas do ano e utilizem métodos complementares de coleta, a fim de aprofundar o entendimento sobre a dinâmica da microbiota aérea e suas possíveis variações sazonais, fortalecendo as estratégias de gestão da qualidade do ar interior.

REFERÊNCIAS

- ABBASI, F.; SAMAEI, M. R. The effect of temperature on airborne filamentous fungi in the indoor and outdoor space of a hospital. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, p. 16868-16876, 2019.
- ALMEIDA, J. H. **Potencial farmacológico de substâncias derivadas de fungos pertencentes ao gênero aureobasidium: uma revisão integrativa.** Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Ciências Biológicas) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2022.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Ed. 55. Atlanta, 1995. 5 p.
- AMORIM, D. S. et al. Infecções por *Aspergillus* spp: aspectos gerais. **Sociedade de Pneumologia e Tisiologia do Estado do Rio de Janeiro**, v. 13, n. 2, p. 111-118, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17037: Qualidade do ar interior em ambientes climatizados artificialmente – padrões referenciais**. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.
- BARNETT, H. L.; HUNTER, B. B. *Illustrated genera of imperfect fungi*. 4. ed. St. Paul: APS Press, 1998.
- BASTO, J. E. Qualidade do ar interno. Itajaí: S.I., 2007, 89 p. (Engenharia de Segurança do Trabalho).
- BRASIL, Ministério da Saúde. ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RE no 09 de 16 de janeiro de 2003**. Diário Oficial da União; Poder Executivo, de 20 de janeiro de 2003.
- BROOKS, G.F. *et al.* **Microbiologia Médica de Jawetz, Melnick e Adelberg**. 26a ed. Porto Alegre: AMGH, 2014.
- CALDAS, D. S. *et al.* Avaliação Microbiológica do Ar de Ambientes Internos em uma Instituição de Ensino Superior em Belém-PA. **Revista Interfaces: Saúde, Humanas e Tecnologia**, v. 12, n. 4, p. 4955-4966, 2025.
- CALDEIRA, Cristiane et al. Avaliação microbiológica da qualidade do ar de interiores: aspectos metodológicos e legais. **Universitas: Ciências da Saúde**, v. 10, n. 1, p. 51-60, 2012.

- CANO, Manuela et al. Programa nacional de avaliação externa da qualidade de microbiologia do ar (2010-2022). **Instituto Nacional de Saúde**, v. 35, n. 14, p. 85-90, 2024.
- CARMO, A. T.; PRADO, R. T. A. Qualidade do ar interno. São Paulo: EPUSP, 1999, 35 p. (Texto técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, TT/PCC/23). ISSN 1413-0386.
- CARTAXO, E. F. *et al.* Aspecto de contaminação biológica em filtros de condicionadores de ar instalados em domicílio da cidade de Manaus—AM. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v.12, n. 2, p. 202-211, 2007.
- CARVALHO, H. K.; MARTINS, D. L.; JUNIOR, D. P. L. **Isolamento e identificação de microrganismos fúngicos em alimentos em grãos conservados e expostos em feiras livres e supermercados das cidades de Cuiabá e Várzea Grande/MT.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Biomedicina), - Centro Universitário de Várzea Grande, Várzea Grande, 2018.
- COSTA, K. C. **Qualidade Microbiológica do Ar em Ambientes Climatizados.** Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2022.
- CUNHA, R. M. A.; SOUZA, E. B. A.; GAZOLA, Q. G. B. Qualidade Microbiológica do Ar em Ambiente de um Instituto de Oncologia e Radioterapia. **Revista Saber Científico**, Porto Alegre, v. 6, n. 2, p. 54-63, 2017.
- DOMSCH, K. H.; GAMS, W.; ANDERSON, T. H. *Compendium of soil fungi*. 2. ed. Eching: IHW-Verlag, 2007.
- DUBEY T. Indoor air pollution due to mycoflora causing acute lower respiratory infections. **The Microbiology of Respiratory System Infections**, v. 1, p. 95-112, 2016.
- ETTO, H. Y.; RAZZOLINI, M. T. P. Detecção de bactérias do gênero Legionella em amostras de água de sistemas de ar condicionado. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 20, n. 4, p. 557-564, 2011.
- FERNANDES, H. P. **Avaliação microbiológica da Qualidade do ar no interior da Biblioteca Central do Campus da Universidade Federal de Juiz de Fora.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental), - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2014.
- FERNÁNDEZ, E. A. et al. Going over Fungal Allergy: Alternaria alternata and Its Allergens. **Journal of Fungi**, v. 9, n. 5, p. 1-15, 2023.

- FRIBERG, B.; FRIBERG, S.; BURMAN, L. G. Inconsistent Correlation between aerobic bacterial surface and air counts in operating rooms with ultra clean laminar air flows: proposal of a new bacteriological standard for surface contamination. **The Journal of Hospital Infection**, Londres, v. 42, p. 287-293, 1999.
- HAMADA, Nobuo; FUJITA, Tadao. Effect of air-conditioner on fungal contamination. **Atmospheric Environment**, v. 36, n. 35, p. 5443-5448, 2002.
- HAYASHI, Motoya et al. The state of the indoor air environment in buildings and related tasks in Japan. **J. Natl. Inst. Public Health**, v. 69, n. 1, p. 63-72, 2020.
- ILDIRI, N. *et al.* Impacts of HVAC cleaning on energy consumption and supply airflow: A multi-climate evaluation. **Energy and Buildings**, v. 328, 2025.
- KARWOWSKA, E. Microbiological air contamination in some educational settings. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 12, n. 2, p. 181-185, 2003.
- KEMP, P. C. et al. Changes in airborne fungi from the outdoors to indoor air; large HVAC systems in nonproblem buildings in two different climates. **AIHA Journal**, v. 64, n. 2, p. 269-275, 2003.
- KOUR, Divjot et al. Airborne Fungal Communities: Diversity, Health Impacts, and Potential AI Applications in Aeromycology. **Aerobiology**, v. 3, n. 4, p. 1-30, 2025.
- LEMFACK, M. C. *et al.* mVOC: a database of microbial volatiles. **Nucleic Acids Research**, v. 42, 1a ed., p. D744-D748, 2014.
- LIMA, M. L. F., LIMA, J. S., SILVA, M. T. Fungos anemófilos: avaliação da microbiota do ar em ambientes interno e externo. **Essentia-Revista de Cultura, Ciência e Tecnologia da UVA**, v. 20, n. 1, p. 88-95, 2019.
- LOBO, Leandro. A Inusitada História da Invenção do Ar-condicionado. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, ed. 405, dez. 2023.
- MAIO, S. *et al.* Indoor Air Pollution and Airway Disease. **Allergy Frontiers: Epigenetics, Allergens and Risk Factors**, Tóquio, v.1, p. 307-401, 2009.
- MENEZES, E. A. et al. Airborne fungi isolated from fortaleza city, state of ceará, brazil. **Rev. Inst. Med. trop. S. Paulo**, v. 46, n. 3, p. 133-137, 2004.
- MONTEIRO, C. R. et al. Sinusite fúngica alérgica: atualização. **Revista Brasileira de Otorrinolaringologia**, v. 68, n. 5, p. 736-742, 2002.

- MORAES, A.M.L.; PAES, R.A.; HOLANDA, V.L. Micologia. In: Etelcia Molinaro; Luzia Caputo; Regina Amendoeira. (Org.). **Conceitos e Métodos para Formação de Profissionais em Laboratórios de Saúde**. 1ed. Rio de Janeiro: Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio, 2010, v. 4, p. 399-496.
- MORAIS, Gilsimeire et al. Qualidade do ar interno em uma instituição de ensino superior brasileira. **Bioscience Journal**, v. 26, n. 2, p. 305-310, 2010.
- MORAIS, U. N. **Identificação de fungos anemófilos de ambientes climatizados em laboratórios de pesquisa de uma instituição de ensino superior de Alagoas**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Farmácia) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2021.
- NETO, J.O; SILVA, T. M. R. M; TRAVARELI, M. M. Avaliação microbiológica da qualidade do ar em ambientes climatizados da Unicamp através de contagem de fungos. **Revista Ciências do Ambiente On-Line**, Campinas, v. 9, n. 1, p. 8-13, 2013.
- NUNES, Z. G. **Estudo da qualidade microbiológica do ar de ambientes internos climatizados**. Tese (Doutorado em Vigilância Sanitária), - Instituto Nacional de Controle de Qualidade em Saúde da Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2005.
- O GLOBO. **Cientistas dobram estimativa e esperam 3,75 milhões de mortes por doenças fúngicas no ano; entenda**, 2024.
- OBERLE, Michael et al. Non-Seasonal Variation of Airborne Aspergillus Spore Concentration in a Hospital Building. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 12, p. 13730-13738, 2015.
- OLIVEIRA, L. D. C.; PALUCH, L. R. B. Alergias respiratórias: uma revisão dos principais fungos anemófilos e fatores desencadeantes. **Revista Baiana de Saúde Pública**, v. 39, n. 2, p. 426-441, 2015.
- PANTOJA, L. D. M.; COUTO, M. S.; PAIXÃO, C.G. Diversidade de bioaerossóis presentes em ambientes urbanizados e preservados de um campus universitário. **Biológico**, v. 69, n. 1, p. 41-47, 2007.
- PASQUARELLA, C.; PITZURRA, O.; SARNO, A. The index of microbial air contamination. **The Journal of Hospital Infection**, v. 46, p. 241-256, 2000.
- PASQUARELLA, Cesira et al. Air microbial sampling: the state of the art. **Igiene e Sanità Pubblica**, v. 64, n. 1, p. 79-120, 2008.

- PEREIRA, B.F.P.; MELO, L.E.; COSTA, P.F. Fungos anemófilos isolados na cidade de Belém, estado do Pará - Brasil. **Revista Eletrônica de Biologia**, v. 6, p. 82-93, 2013.
- QUADROS, M. E.; LISBOA, H. M. Qualidade do ar interno. Ed. 1. [S.l.:s.n.], 2010.
- RAPER, K. B.; FENNELL, D. I. *The genus Aspergillus*. Baltimore: Williams & Wilkins, 1965.
- REDLICH, C. A; SPARER, J.; CULLEN, M. R. Sick-building syndrome. **The Lancet**, v. 349, n. 9057, p. 1013-1016, 1997.
- ROSS, Claudia et al. Studies on fungal and bacterial population of air-conditioned environments. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 47, ed. 5, p. 827-835, 2004.
- SARVTIN, M. T.; ALAMIAN, A. A. Natural Habitat of Aureobasidium pullulans in Sari, Iran. **Jundishapur J Microbiol**, v. 25, ed. 8, p. 1-2, 2025.
- SESA. **Ambientes climatizados inadequadamente aumentam os riscos de doenças respiratórias no verão**. Vitória, 2015.
- SILVA, D. P. et al. Fungos anemófilos isolados de bibliotecas de instituições de ensino da Região Nordeste do Brasil. **Revista Pan-Amazônica de Saúde**, v. 12, p. 1-8, 2021.
- SILVA, F. C.; MACHADO, D. H. G.; ARAÚJO, M. R. B. Qualidade microbiológica do ar das salas de aula de uma instituição de ensino superior em Patos de Minas-MG. **Revista Perquirere**, Patos de Minas, v. 15, n. 1, p. 37-51, 2018.
- SILVA, V.M et. al. Ocorrência de fungos anemófilos nas instalações do Hospital Veterinário do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba. **Scientific Electronic Archives**, v. 16, n .9, p. 32-36, 2023.
- SOBRAL, et al. Antimicrobial and enzymatic activity of anemophilous fungi of a public university in Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 89, n.3, p. 2327-2340, 2017.
- SOBRAL, L. V. **Fungos anemófilos em ambientes climatizados: prevalência, produção de enzimas e atividade antibacteriana**. Dissertação (Mestrado em Saúde Humana e Meio Ambiente), - Universidade Federal de Pernambuco ,Vitória de Santo Antão, 2016.
- SOWIAK, Małgorzata et al. Does the air condition system in busses spread allergic fungi into driver space?. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, p. 5013-5023, 2018.

SUEHARA, M. B.; SILVA, M. C. P. Prevalência de fungos anemófilos no Brasil e a correlação com doenças respiratórias e infecções fúngicas. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 28, 2ª ed., p. 3289-3300, 2023.

VIANA, N. Q.; MEDEIROS, V. M. S.; RONCATI, Y. G. **Análise de Eficiência dos Filtros dos Aparelhos de Ar-Condicionado da Etec de São Sebastião**. Trabalho de Conclusão de Curso (Técnico em Meio Ambiente) - Escola Técnica Estadual de São Sebastião, São Sebastião, 2023.

VOET, D.; VOET, J. G.; PRATT, C. W. **Fundamentos de Bioquímica: A vida em nível molecular**. 4a ed. Porto Alegre: Artmed, 2014.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Who guidelines for indoor air quality : dampness and mould**. [s.l.: s.n., s.d.]. 2009. 248 p.

ZAITS, C. *et al.* **Compêndio de micologia médica**. 2a ed. São Paulo: Guanabara, 2010.