

ARTICLE



REVISTA
COLETA CIENTÍFICA

Analysis of the Diversity and Presence of Anemophilic Fungi in the Urban Area of Rio das Ostras, RJ, Brazil, and Their Potential Health Risks

Análise da Diversidade e Presença de Fungos Anemófilos na Área Urbana de Rio das Ostras, RJ, e Seus Potenciais Riscos para a Saúde

Marly dos Santos Marques Lopes

 <https://orcid.org/0009-0006-4337-6544>

Faculdade Cenecista de Rio das Ostras (FACRO), Rio das Ostras, RJ, Brasil

E-mail: marymarque.l@gmail.com

Vitória Castro Schott da Silva

Faculdade Cenecista de Rio das Ostras (FACRO), Rio das Ostras, RJ, Brasil

E-mail: vicschott@hotmail.com

Valdi Lopes Tutunji

 <https://orcid.org/0000-0001-7816-402X>

Faculdade Cenecista de Rio das Ostras (FACRO), Rio das Ostras, RJ, Brasil

E-mail: valditutunji@edu.br

Publication information

ARK: [24285/RCC.v9i17.258](https://doi.org/10.24285/RCC.v9i17.258)

ISSN: 2763-6496

Keywords:

Air quality.

Anemophilic fungi.

Public health.

Environmental analysis.

Microbiology.

Palavras-chave:

Qualidade do ar.

Fungos anemófilos.

Saúde pública.

Análise ambiental.

Microbiologia.

Abstract

Anemophilic fungi (dispersed through the air) are a significant biological component of the urban environment, being relevant due to their participation in the degradation of organic matter and, mainly, their ability to induce allergies and human infections. In this context, this study aimed to analyze the diversity and presence of these microorganisms in the atmospheric air of the urban area of Rio das Ostras, RJ, correlating their identification with the environmental characteristics of the collection points and their potential risks to public health. The research used the method of exposure of Petri dishes containing Sabouraud Dextrose (BDA) agar in four different locations. Microbiological analysis revealed the presence of several fungal genera of high clinical and environmental relevance, highlighting the pathogenic and opportunistic ones, such as *Aspergillus*, *Penicillium*, *Rhizopus*, *Acremonium*, *Paecilomyces* and *Curvularia*. The identification of these microorganisms is strongly associated with environmental factors favorable to the dispersion of spores, such as moisture and proximity to organic matter (garbage). It is concluded that the study provides unprecedented subsidies on the potential microbiological risk of air in Rio das Ostras, being a crucial tool for environmental monitoring and the development of public health policies in the municipality.

Resumo

Os fungos anemófilos (dispersos pelo ar) constituem um componente biológico significativo do ambiente urbano, sendo relevantes devido à sua participação na degradação de matéria orgânica e, principalmente, por sua capacidade de induzir alergias e infecções humanas. Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo analisar a diversidade e a presença desses microrganismos no ar atmosférico da área urbana de Rio das Ostras, RJ, correlacionando sua identificação com as características ambientais dos pontos de coleta e seus potenciais riscos à saúde pública. A pesquisa utilizou o método de exposição de placas de Petri contendo ágar Sabouraud Dextrose (BDA) em quatro locais distintos. A análise microbiológica revelou a presença de diversos gêneros fúngicos de alta relevância clínica e ambiental, destacando-se os patogênicos e oportunistas, como *Aspergillus*, *Penicillium*, *Rhizopus*, *Acremonium*, *Paecilomyces* e *Curvularia*. A identificação desses microrganismos está fortemente associada a fatores ambientais favoráveis à dispersão de esporos, como umidade e proximidade com matéria orgânica (lixo). Conclui-se que o estudo fornece subsídios inéditos sobre o potencial risco microbiológico do ar em Rio das Ostras, sendo uma ferramenta crucial para o monitoramento ambiental e o desenvolvimento de políticas de saúde pública no município.

1. Introdução

A qualidade do ar em centros urbanos é um fator determinante para a saúde pública, e a presença de fungos anemófilos (dispersos pelo ar) representa um risco biológico significativo. A composição da microbiota aérea está diretamente associada ao desenvolvimento de doenças respiratórias, como rinite e asma. De forma ainda mais crítica, a inalação de esporos de fungos oportunistas pode desencadear infecções invasivas graves em indivíduos imunocomprometidos. Diante disso, a identificação da microbiota aérea em nível local, como proposto neste estudo para o município de Rio das Ostras, estado do Rio de Janeiro, Brasil, torna-se uma ferramenta fundamental para o mapeamento de riscos epidemiológicos e para o desenvolvimento de políticas de saúde pública (Metaxatos et al., 2024; Rodrigues et al., 2023).

O espectro de fungos capazes de causar doenças em humanos tem se expandido significativamente, indo muito além dos patógenos mais conhecidos como *Candida albicans* e *Aspergillus fumigatus*. Uma gama crescente de mofo hialinos, como *Fusarium*, *Acremonium* e *Paecilomyces*, e zigomicetos como *Rhizopus*, são hoje reconhecidos como importantes agentes de infecções oportunistas, especialmente em pacientes imunocomprometidos. A identificação correta desses organismos é de extrema importância, pois muitas dessas espécies emergentes possuem perfis de resistência intrínseca a antifúngicos de uso comum, como os azóis e polienos, exigindo abordagens terapêuticas alternativas e, muitas vezes, mais complexas (Pfaller & Diekema, 2004).

A contaminação fúngica em ambientes internos é um problema de saúde pública tão significativo que levou a Organização Mundial da Saúde a reconhecer a “síndrome do edifício doente”. Essa síndrome descreve um conjunto de sintomas de saúde que os ocupantes de um edifício apresentam, ligados diretamente à má qualidade do ar interno, onde a umidade excessiva promove a proliferação de fungos. A presença de altas concentrações de esporos de gêneros como *Aspergillus* e *Penicillium* em ambientes internos está associada a um aumento de doenças respiratórias, tornando o monitoramento da microbiota em ambientes construídos uma ferramenta essencial para a saúde ambiental e humana (Kuzikova & Medvedeva, 2021).

Fungos anemófilos, cujo termo de origem grega significa “amigo do vento”, são aqueles que se dispersam pelo ar através de esporos extremamente pequenos e leves. Essa característica é um fator crucial para a patogenicidade, pois o tamanho do esporo determina a capacidade de penetração no sistema respiratório: esporos de 2–7 µm de diâmetro tornam-se facilmente transportados pelo ar e têm grande capacidade de penetrar profundamente no trato respiratório humano, enquanto fungos com esporos maiores tendem a ser removidos mais facilmente pelos mecanismos de depuração mucociliar (Grishkan, 2024). A liberação desses esporos responde a variações climáticas

e, ao encontrarem condições ideais, germinam e reiniciam seu ciclo de vida (T. M. Suehara & Silva, 2023).

Os fungos anemófilos também contribuem para a reciclagem de nutrientes no solo e interagem com as plantas. Algumas espécies são patogênicas e causam doenças em folhas, raízes e frutos, enquanto outras estabelecem relações simbióticas com as raízes vegetais, auxiliando na absorção de água e nutrientes (M. B. Suehara & Silva, 2023). Apesar de seu papel ecológico, a presença desses fungos no ar pode impactar negativamente a saúde humana: a inalação de esporos está associada ao surgimento de doenças respiratórias, como asma, rinite e sinusite. Estudos apontam que entre 20% e 30% das pessoas alérgicas, e cerca de 6% da população geral, apresentam sensibilidade a esses microrganismos. Os gêneros *Alternaria*, *Penicillium*, *Aspergillus* e *Cladosporium* estão entre os mais frequentemente associados a reações alérgicas. Além das alergias, fungos anemófilos podem causar infecções oportunistas, principalmente em indivíduos imunossuprimidos, como pacientes hospitalizados, destacando-se a aspergilose pulmonar invasiva e os efeitos adversos das micotoxinas, que podem levar a complicações graves ou até ao óbito (M. B. Suehara & Silva, 2023).

Esses fungos também são encontrados em ambientes internos, especialmente em locais úmidos e mal ventilados, como banheiros, cozinhas e áreas com mofo. Equipamentos como ar-condicionado sem manutenção, carpetes antigos, livros e papéis armazenados por longos períodos também favorecem sua proliferação. Para identificar e controlar esses microrganismos, utiliza-se o monitoramento microbiológico do ar por meio da coleta de amostras com equipamentos específicos, posteriormente analisadas em laboratório, por microscopia ou cultivo, permitindo determinar quais espécies estão presentes e em que quantidade. Esse tipo de análise é essencial para ambientes como escolas e hospitais, pois auxilia na prevenção de surtos e no controle de doenças respiratórias (Nascimento, 2023).

O trato respiratório humano é constantemente exposto a esporos fúngicos presentes no ar. Em indivíduos saudáveis, esses esporos são eficientemente removidos por mecanismos de defesa como a depuração mucociliar e a ação de células imunes (fagocitose). No entanto, em pacientes com o sistema imune comprometido ou com doenças pulmonares crônicas preexistentes, esses mecanismos de defesa são falhos, permitindo que os esporos fúngicos persistam, colonizem as vias aéreas e, eventualmente, germinem, levando ao desenvolvimento de patologias (Belvoncikova et al., 2022).

Por outro lado, nem todos os fungos anemófilos são prejudiciais. Diversos têm aplicações na indústria e na biotecnologia: o *Penicillium notatum*, por exemplo, foi crucial para a descoberta da penicilina, revolucionando a medicina. Outros fungos são utilizados na produção de enzimas, ácidos orgânicos, alimentos fermentados como queijos e até no controle biológico de pragas agrícolas e fitopatógenos (Oliveira & Borges-Paluch, 2015). Dessa forma, compreender os fungos anemófilos é essencial não apenas para avaliar seus riscos à saúde pública, mas também para reconhecer seu valor ecológico e industrial. Além dos estudos recentes, também foram consultadas obras clássicas da área de micologia e microbiologia, como Minami (2003), Mezzari (2001) e Winn et al. (2008), que destacam a importância dos fungos no diagnóstico clínico e no ambiente laboratorial e reforçam a relevância do tema na saúde pública. A análise da composição do microbioma do solo e do ar e seus riscos é essencial no contexto da abordagem “Saúde Única” (One Health), que visa conectar, equilibrar e otimizar a saúde de pessoas, plantas, animais e seus respectivos ambientes (Grishkan, 2024).

A realização deste estudo em Rio das Ostras justifica-se pela carência de dados locais sobre a qualidade microbiológica do ar, especialmente no que diz respeito aos

fungos anemófilos. Apesar de o município apresentar crescimento urbano acelerado, há escassez de levantamentos que avaliem a presença e a diversidade desses microrganismos na atmosfera. A identificação de fungos presentes no ar é fundamental para compreender possíveis riscos à saúde da população, principalmente para indivíduos imunocomprometidos, asmáticos ou com alergias respiratórias. Assim, produzir dados específicos da realidade local permite subsidiar ações de vigilância em saúde, apoiar futuras pesquisas e contribuir para o entendimento do comportamento ambiental desses fungos na região, fortalecendo o conhecimento sobre a qualidade do ar de Rio das Ostras e seus potenciais impactos na saúde pública.

Diante do exposto, o presente estudo teve como objetivo geral analisar a presença e a diversidade de fungos anemófilos em diferentes regiões urbanas de Rio das Ostras, a fim de compreender a qualidade microbiológica do ar e seus possíveis impactos à saúde pública. Como objetivos específicos, buscou-se: realizar coletas de amostras de ar em diferentes bairros de Rio das Ostras, utilizando placas de Petri com meio BDA; isolar e identificar morfológicamente os gêneros de fungos anemófilos presentes nas amostras coletadas; relacionar os resultados com fatores ambientais como temperatura, umidade e localização das coletas; discutir os possíveis riscos à saúde associados à presença desses microrganismos no ar urbano; e contribuir para a produção de dados locais sobre qualidade do ar e presença de agentes microbiológicos.

2. Método

O presente trabalho caracteriza-se como um estudo descritivo, experimental, de campo e bancada, realizado com o objetivo de identificar fungos anemófilos presentes no ar urbano do município de Rio das Ostras (RJ). A pesquisa envolveu coleta ambiental, cultivo microbiológico, isolamento e identificação morfológica dos fungos, conduzidos entre 27 de maio e 10 de junho de 2024.

A investigação integra procedimentos qualitativos, relacionados à observação macro e micromorfológica dos fungos isolados, e procedimentos quantitativos, voltados ao registro sistemático de variáveis ambientais (temperatura, umidade, horário e condições climáticas) durante as coletas. Todas as etapas foram executadas de forma sequencial ao longo do período definido, contemplando o preparo dos meios de cultura, exposição das placas, incubação, cultivo e análise microscópica.

2.1 Preparo do meio de cultura

O meio de cultura utilizado no presente estudo foi o Ágar Batata Dextrose (BDA), preparado no dia 26 de maio de 2024. A escolha do BDA deve-se ao fato de ser um meio amplamente empregado na microbiologia de fungos filamentosos, por apresentar composição simples, baixo custo e excelente capacidade de favorecer o crescimento de diferentes gêneros fúngicos. Além disso, é um meio facilmente reproduzível em laboratório, mesmo em condições de infraestrutura básica, garantindo padronização, reprodutibilidade e acesso a resultados consistentes — fatores essenciais para estudos de fungos anemófilos.

O BDA possui como base um extrato nutritivo derivado da infusão de batata, rica em carboidratos, vitaminas e compostos que estimulam o desenvolvimento de estruturas vegetativas e reprodutivas dos fungos. Para seu preparo, inicialmente foram submetidos à cocção 200 g de batata em 1 L de água destilada, seguida de filtração para obtenção do extrato. Ao líquido filtrado foram adicionados 20 g de dextrose, fonte adicional de energia para intensificar o crescimento micelial, 17 g de ágar, responsável pela solidificação do

meio, e 0,1 g/dL de vancomicina, antibiótico empregado para inibir o crescimento bacteriano e evitar contaminações durante o cultivo (Figura 1, A e B).

O pH final do meio foi ajustado para 5,6, faixa considerada ideal para o crescimento da maioria dos fungos filamentosos, uma vez que condições levemente ácidas favorecem o metabolismo fúngico e dificultam a multiplicação de bactérias. Dessa forma, o BDA mostrou-se adequado para a proposta do estudo, permitindo o isolamento eficiente dos fungos anemófilos presentes nas amostras ambientais.

Com o auxílio de uma pipeta graduada, cerca de 10 mL do meio ainda líquido foi transferido para tubos de ensaio de vidro, os quais foram selados e esterilizados em autoclave. Após a autoclavação, os tubos permaneceram em temperatura ambiente durante a noite, como forma de prova de esterilidade, a fim de garantir que o meio não apresentasse crescimento microbiano antes do uso (Figura 1, C e D).

Após 24 horas, os tubos foram aquecidos em banho-maria para liquefação do ágar e, com o auxílio de bico de Bunsen — que cria uma zona de ar quente ascendente, reduzindo a entrada de contaminantes —, o meio foi vertido em placas de Petri previamente esterilizadas (Figura 1, F). Após a solidificação, as placas foram identificadas, fechadas e armazenadas em posição invertida, dentro de uma caixa plástica fechada, protegidas da luz solar direta, do calor excessivo e de correntes de ar — condições que ajudam a manter a esterilidade e preservam a integridade do meio até o momento das coletas.

2.2 Coleta de fungos anemófilos

As coletas foram realizadas no dia 27 de maio de 2025, no período da tarde, em condições ambientais caracterizadas por céu ensolarado e ventos leves, o que pode influenciar a dispersão dos esporos fúngicos no ar. Para a amostragem, utilizaram-se placas de Petri de 100 mm de diâmetro contendo meio de cultura BDA previamente preparado.

Cada placa foi exposta ao ar ambiente por 12 minutos, a aproximadamente 1 metro do solo. A definição do tempo de exposição baseou-se na literatura, que recomenda intervalos entre 10 e 15 minutos para métodos de sedimentação gravitacional utilizados na captura de esporos fúngicos aerotransportados. Dessa forma, adotou-se o valor intermediário de 12 minutos, conforme descrito por Bernardi et al. (2007), garantindo padronização e reprodutibilidade adequada dentro das condições propostas.

A altura de 1 metro do solo foi escolhida por representar a zona de respiração humana, permitindo estimar a exposição real das pessoas aos fungos presentes no ar. Essa altura também reduz interferências de partículas provenientes diretamente do solo, como poeira ressuspendida, e favorece a coleta de aerossóis verdadeiramente dispersos, ainda que essa especificidade não tenha sido diretamente mencionada por Bernardi et al. (2007).

Foram selecionados quatro pontos distintos da cidade, todos em ambientes abertos, para permitir um mapeamento representativo da qualidade do ar nas diferentes regiões urbanas. A Tabela 1 reúne informações referentes à localização das coletas, pontos de referência, horários e observações do ambiente.

Tabela 1 – Localização e condições ambientais gerais das coletas

Código da placa	Bairro	Referência	Horário	Observações
1 e 2	Campomar	Próx. Escola Maria Teixeira	15:55 h – 16:07 h	Arborizado, perto da praia
3 e 4	Centro	Av. Amaral Peixoto	16:25 h – 16:37 h	Movimento intenso
5	Jardim Mariléa	Em frente ao saneamento básico	16:50 h – 17:02 h	Ambiente com lixo próximo
6	Âncora	Av. das Flores	17:30 h – 17:42 h	Lojas e próximo ao hospital

Após a exposição, as placas foram imediatamente fechadas e transportadas em caixa térmica, com o objetivo de evitar contaminações adicionais no trajeto, sendo posteriormente encaminhadas ao laboratório para incubação.

2.3 Incubação e isolamento

As placas expostas foram incubadas em temperatura ambiente (cerca de 25 °C), protegidas da luz solar direta e de correntes de ar, durante três dias. Esse procedimento buscou simular as condições ambientais da própria cidade no período de coleta. Após o crescimento das colônias fúngicas, estas foram devidamente identificadas por códigos (ex.: A1, A2, B1...) diretamente nas placas, com o objetivo de facilitar o isolamento posterior.

No terceiro dia, as colônias foram isoladas em novas placas de Petri contendo meio BDA previamente preparado. Para essa etapa, foram utilizadas placas de Petri de 50 mm, mais adequadas para cultivo individual. Essas culturas isoladas foram novamente incubadas à temperatura ambiente por 48 horas, para permitir maior desenvolvimento dos fungos e facilitar sua identificação (Figura 1, I).

2.4 Identificação dos fungos

A identificação morfológica dos fungos foi iniciada no 6º dia do experimento, após o completo desenvolvimento das colônias isoladas. A análise foi conduzida por meio da avaliação macroscópica (cor do anverso e reverso, textura e bordas).

Para a análise microscópica, pequenas porções das colônias (fragmentos de aproximadamente 1–2 mm de micélio) foram removidas com o auxílio de uma alça de inoculação de inox, quantidade suficiente para permitir a observação das estruturas sem comprometer o cultivo. O fragmento fúngico foi depositado sobre a lâmina de microscopia e, em seguida, adicionou-se 1 gota de corante azul de metileno (aproximadamente 20–30 µL), permitindo que o corante se difundisse sobre o material e proporcionasse contraste adequado para a visualização de estruturas como hifas, conídios, conidióforos e esporângios.

As lâminas foram avaliadas em microscópio óptico, utilizando preferencialmente a objetiva de 40x (aumento total aproximado de 400x), por ser a lente mais adequada para a observação de estruturas fúngicas sem necessidade de óleo de imersão. Ajustes de iluminação e diafragma foram realizados conforme necessário para otimizar a nitidez da imagem.

2.5 Fluxograma da metodologia

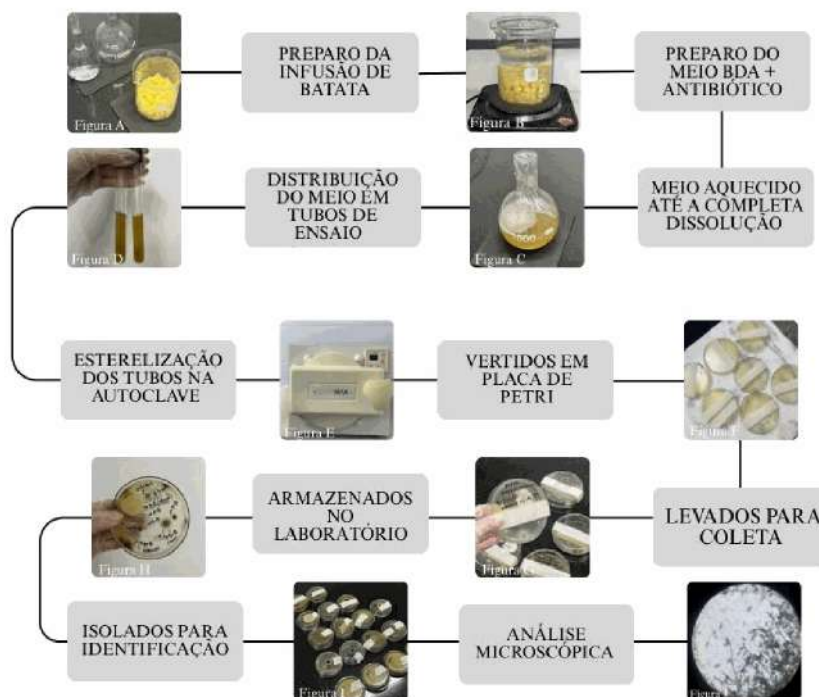


Figura 1 – Fluxograma das etapas metodológicas: preparo do meio de cultura, coleta, incubação e identificação dos fungos anemófilos.

3. Resultados

Os dados obtidos foram organizados em tabelas contendo as variáveis de local de coleta, número da colônia observada e características morfológicas dos fungos. A análise foi conduzida de forma descritiva, visando avaliar a qualidade microbiológica do ar em ambientes urbanos de Rio das Ostras, sem a intenção de comparar diretamente os diferentes bairros. O estudo busca oferecer um panorama geral sobre a presença de fungos anemófilos na região, considerando os potenciais impactos à saúde respiratória da população.

3.1 Dados meteorológicos

De modo geral, as coletas ocorreram sob condições climáticas estáveis, com temperaturas variando entre 25 °C e 26 °C, umidade relativa do ar entre 73% e 79%, e ventos provenientes do leste-nordeste (ENE) com velocidades entre 16 e 20 km/h. A pressão atmosférica manteve-se em torno de 1018 hPa, indicando estabilidade do tempo durante todo o período de exposição das placas, conforme demonstrado na Tabela 2.

Tabela 2 – Variáveis meteorológicas registradas durante as coletas

Placa	Temp. (°C)	URA (%)	Vento (km/h)	Direção do vento	Pressão (mbar)
1 e 2	26	73	20	66° ENE	1018
3 e 4	26	73	20	65° ENE	1018
5	26	76	16	63° ENE	1018
6	25	79	19	60° ENE	1019

Legenda: URA = umidade relativa do ar. A tabela apresenta temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento, direção do vento e pressão atmosférica.

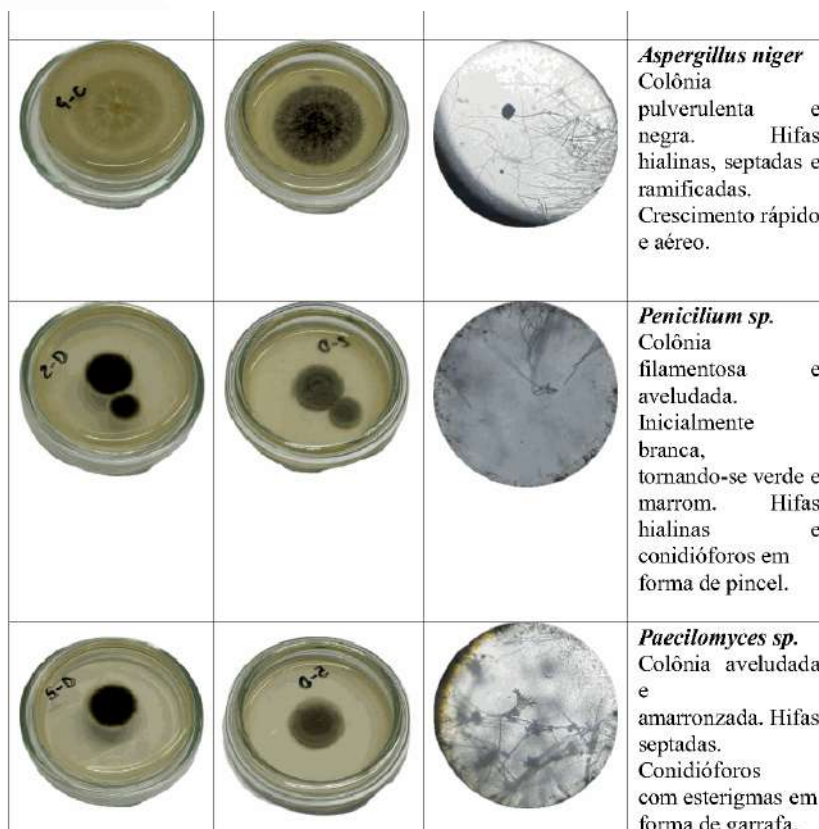
3.2 Formação das colônias fúngicas

O processo de incubação das placas de Petri resultou no desenvolvimento visível de colônias fúngicas após 72 horas à temperatura ambiente. As colônias apresentaram morfologias variadas, com diferenças de cor, textura e formato, indicando diversidade microbiana entre os pontos de coleta.

3.3 Análise morfológica

Após o crescimento das colônias fúngicas, foi realizado o isolamento das colônias em placas de Petri de 50 milímetros, contendo meio BDA estéril, com o objetivo de facilitar a identificação morfológica dos fungos presentes. A partir das amostras isoladas, as análises microscópicas foram iniciadas, com foco na caracterização macro e micromorfológica das espécies fúngicas. O processo de identificação foi feito com a observação detalhada das estruturas reprodutivas e observação do verso e anverso das colônias. O Quadro 1 reúne as informações obtidas após o crescimento das colônias fúngicas.

			observação
			<i>Rhizopus spp.</i> Colônia densa, branca acinzentada. Hifas cenocíticas e hialinas. Crescimento rápido e esporângios globosos ligados por estolões.
			<i>Curvularia spp.</i> Colônia escura e aveludada. Hifas septadas e conídios curvos, multicelulares, com célula central mais escura.
			<i>Acremonium sp.</i> Colônia lisa, úmida, de cor creme. Hifas finas e septadas. Conídios em forma de salsicha, acuminados nos



Quadro 1 – Análise morfológica dos fungos isolados (aspecto de anverso, reverso e fotomicrografia).

Para a sistematização e o mapeamento dos resultados obtidos nos diferentes pontos de coleta, a Tabela 3 sumariza a ocorrência dos gêneros fúngicos anemófilos isolados, discriminando sua distribuição por local, e as respectivas implicações de risco à saúde para a população de Rio das Ostras, RJ.

Tabela 3 – Gêneros fúngicos anemófilos isolados: distribuição por ponto de coleta e respectivas implicações de risco à saúde em Rio das Ostras, RJ

Local da coleta	Gêneros fúngicos isolados		Principais riscos à saúde
Campomar	Aspergillus, Acremonium	Penicillium,	Aspergilose, alergias respiratórias, oncomomicose
Centro	Aspergillus, Curvularia, Paecilomyces	Penicillium,	Aspergilose, asma, otomicose, feo-hifomicose
Jardim Mariléa	Rhizopus, Penicillium	Aspergillus,	Mucormicose (associada ao lixo orgânico), alergias
Âncora	Aspergillus, Curvularia	Penicillium,	Alergias respiratórias, otomicose, fungemia (rara)

3.4 Morfologia e microscopia das culturas de fungos

Rhizopus spp.

O gênero *Rhizopus* apresentou colônias de crescimento rápido, com aspecto algodonoso e denso. Microscopicamente, as hifas são largas, hialinas e cenocíticas (sem septos). Os esporangióforos são ligados por estolões e terminam em esporângios globosos, contendo columela com formato semelhante a um guarda-chuva. Quando maduros, os esporos são liberados em grande quantidade, o que justifica o comportamento expansivo e invasivo do fungo nas placas observadas. Essa descrição é compatível com Minami (2003, p. 119), que também menciona a presença de rizomorfos com função de fixação.

Aspergillus niger

O gênero *Aspergillus*, representado neste estudo pela espécie *A. niger*, formou colônias de aspecto pulverulento e coloração preta intensa, com hifas septadas e ramificadas, características que estão de acordo com Minami (2003, p. 117) e Mezzari (2001, p. 95).

Penicillium sp.

As colônias de *Penicillium sp.* apresentaram crescimento filamentoso, com textura aveludada. Inicialmente brancas, evoluíram para tons esverdeados e amarronzados à medida que o fungo se desenvolvia. Microscopia revelou hifas septadas, hialinas e ramificadas, e conidióforos com estrutura em forma de pincel, típica do gênero. Essas características estão de acordo com Minami (2003, p. 117) e Mezzari (2001, p. 95–97).

Curvularia spp.

As colônias formaram coloração escura, com aspecto aveludado e crescimento moderado. Ao microscópio, observaram-se hifas septadas e pigmentadas (demáceas), com conidióforos simples ou ramificados. Os conídios eram escuros, multicelulares, com três septos, formando quatro células, sendo a célula central de coloração mais intensa. A curvatura típica é atribuída à diferença entre as laterais do conídio, sendo uma côncava e outra convexa. As observações estão de acordo com Minami (2003, p. 122).

Acremonium sp.

As colônias de *Acremonium sp.* apresentaram crescimento filamentoso, com coloração variável e hifas septadas, de acordo com Mezzari (2001, p. 99). Microscopicamente, o gênero é caracterizado por hifas finas e septadas. Sua estrutura distintiva são as fiálides (conidióforos), geralmente estreitas, afiladas ou longas, eretas e não ramificadas, desenvolvendo-se em ângulo reto a partir da hifa principal. Os conídios, que se agrupam no ápice das fiálides, são unicelulares ou bicelulares e tipicamente elípticos ou em forma de crescente (Sridhar & Tripathy, 2022).

Paecilomyces sp.

O gênero *Paecilomyces sp.* apresenta conidióforos morfológicamente semelhantes aos de *Penicillium*, porém com origem lateral nas hifas, e esterigmas alongados em formato de garrafa (Minami, 2003, p. 118). As colônias observadas apresentaram aspecto aveludado e amarronzado, com hifas septadas e conídios dispostos em cadeia.

3.5 Características estruturais dos isolados

Para a confirmação dos isolados fúngicos e a distinção entre os gêneros de relevância clínica citados, as características estruturais e morfológicas foram minuciosamente examinadas. A Tabela 4 resume os principais elementos da morfologia de cada isolado, incluindo o tipo de hifa, septação, pigmentação e as estruturas reprodutivas observadas. Tais dados morfológicos foram cruciais para a identificação preliminar dos gêneros *Rhizopus*, *Curvularia*, *Acremonium*, *Aspergillus*, *Penicillium* e *Paecilomyces*, consolidando a etapa de isolamento e caracterização.

Tabela 4 – Características estruturais dos fungos isolados

Gênero	Tipo de hifa	Septação	Pigmentação	Tipo de esporo	Estrutura reprodutiva principal
Rhizopus sp.	Filamentosa	Cenocítica	Hialina	Esporângios	Esporangióforo + esporângio globoso
Curvularia sp.	Filamentosa	Septada	Demácea	Conídios curvos	Conidióforo simples/ramificado
Acremonium sp.	Filamentosa	Septada	Hialina	Conídios mucóides	Conidióforos finos com conídios aglutinados
Aspergillus niger	Filamentosa	Septada	Hialina	Conídios	Conidióforo com vesícula terminal
Penicillium sp.	Filamentosa	Septada	Hialina	Conídios	Conidióforo ramificado em pincel
Paecilomyces sp.	Filamentosa	Septada	Hialina	Conídios em cadeia	Conidióforo com esterigmas em forma de garrafa

4. Discussão

A identificação de fungos anemófilos por métodos tradicionais, baseados em características morfológicas de cultura, é um processo complexo que muitas vezes não permite a diferenciação precisa a nível de espécie. Estudos modernos têm adotado técnicas moleculares, como o sequenciamento de DNA (eDNA barcoding), que oferecem uma resolução taxonômica muito mais profunda e permitem a identificação de espécies que não são cultiváveis em laboratório ou que são morfologicamente idênticas. No entanto, a análise por cultivo e microscopia, como a empregada no presente trabalho, continua sendo uma ferramenta fundamental e validada para obter um panorama da diversidade de gêneros fúngicos viáveis presentes no ar, fornecendo dados cruciais sobre os potenciais riscos microbiológicos em um ambiente urbano (Metaxatos et al., 2024). Essas condições climáticas são consideradas favoráveis ao transporte e dispersão de esporos fúngicos no ar, especialmente em locais abertos, arborizados ou com presença de matéria orgânica. Ambientes como praças, vias próximas a vegetação e áreas com presença de resíduos urbanos podem atuar como fontes naturais de liberação de esporos. Além disso, a presença de pessoas, fluxo de veículos e características do solo (como poeira e umidade) também podem influenciar a quantidade e diversidade de fungos coletados (El Jaddaoui et al., 2023).

A alta prevalência de gêneros como *Aspergillus* e *Penicillium* nas amostras de Rio das Ostras está alinhada com achados em estudos que analisam a qualidade do ar em diferentes contextos urbanos e internos, como ambientes de bibliotecas e arquivos, onde estes fungos são os principais agentes de biodeterioração e risco à saúde. A concentração desses esporos anemófilos no ambiente está diretamente correlacionada com a umidade e a temperatura, condições que favorecem sua germinação e dispersão (El Jaddaoui et al., 2023). A exposição a esses bioaerossóis não se restringe apenas a danos materiais, mas representa um vetor crítico para a saúde pública local, podendo levar a alergias respiratórias, asma e infecções oportunistas em indivíduos imunocomprometidos. Portanto, os dados obtidos reforçam a necessidade de políticas de monitoramento ambiental que considerem esses parâmetros climáticos como preditores do risco microbiológico atmosférico.

Adicionalmente, estudos nacionais realizados em ambientes costeiros, como o conduzido na Praia do Laranjal, Pelotas, RS, reforçam a relevância da microbiota

anemófila em áreas urbanas litorâneas do Brasil (Bernardi et al., 2007). Esse trabalho empregou metodologia semelhante à da presente pesquisa, validando a abordagem experimental adotada em Rio das Ostras. Embora as correlações fúngicas e climáticas possam variar entre as regiões, o estudo gaúcho destacou a influência dos fatores abióticos, como temperatura e umidade relativa do ar, na dispersão dos esporos e na dinâmica da diversidade fúngica (Bernardi et al., 2007), sugerindo uma alta dependência das condições microclimáticas e geográficas específicas e reforçando a importância de estudos localizados, como o presente trabalho em Rio das Ostras, para a obtenção de um panorama microbiológico preciso e de risco à saúde.

Reforçando a discussão sobre a influência dos fatores abióticos, estudos recentes sobre o impacto da poluição e do clima corroboram a relevância dos achados em Rio das Ostras. O trabalho de Magyar et al. (2025, p. 13) demonstrou que o aumento da temperatura favorece o crescimento de fungos mais termotolerantes e de origem tropical, como o gênero *Aspergillus*. O fato de 30% dos pacientes alérgicos serem afetados por esporos fúngicos (Karabıcak et al., 2025, p. 30) destaca o risco de saúde imposto pela dominância de gêneros clinicamente relevantes como *Aspergillus* e *Penicillium* na atmosfera local. Portanto, as temperaturas elevadas registradas na Tabela 2 e a consequente proliferação de fungos oportunistas reforçam o potencial de risco microbiológico do ar em Rio das Ostras, sendo um ponto de alerta para a saúde respiratória da população.

Em linha com os presentes resultados, o trabalho de Thambugala et al. (2024) reforça a necessidade de monitoramento da microbiota anemófila na saúde pública, destacando que mais de 300 milhões de indivíduos sofrem de doenças fatais causadas por esporos fúngicos transportados pelo ar. O estudo aponta *Aspergillus* como o gênero com o maior potencial de infecção humana, compreendendo 16 espécies patogênicas conhecidas. Essa constatação é alarmante, pois os gêneros encontrados no ar de Rio das Ostras, como *Aspergillus* (causador da aspergilose), *Rhizopus* (associado à mucormicose) e *Penicillium* (associado à peniciliose e à hialo-hifomicose), além de *Curvularia* (com 10 ou mais espécies patogênicas), são fontes de micotoxinas e alérgenos. Tais fungos causam infecções oportunistas, cuja via de aquisição é tipicamente exógena (aérea), representando uma ameaça crescente, especialmente para indivíduos imunocomprometidos.

A análise dos fungos dispersos pelo ar de Rio das Ostras revelou um perfil de diversidade que, embora parecido com o de outras cidades brasileiras e internacionais, apresenta detalhes importantes ligados às condições ambientais e climáticas locais. A ubiquidade e a presença consistente dos gêneros *Aspergillus* e *Penicillium* em todos os pontos de coleta estão de acordo com o que se espera em áreas urbanas. Essa ocorrência ampla é favorecida pelo clima de Rio das Ostras (alta umidade e temperaturas entre 25 °C e 26 °C), ideal para o crescimento de fungos que toleram o calor (Magyar et al., 2025). No entanto, a descoberta do gênero *Rhizopus*, agente etiológico da mucormicose, no bairro Jardim Mariléa, é um achado que evidencia a forte influência local: conforme registrado nas observações ambientais, este foi o único ponto de coleta com lixo orgânico por perto, confirmando que a forma como o lixo é tratado na cidade é um fator de risco importante para a presença de fungos patogênicos.

Além disso, a identificação de fungos oportunistas menos comuns em áreas de grande movimento, como *Curvularia* (isolado no Centro e no Âncora) e *Paecilomyces* (isolado no Centro), reforça o alerta para a saúde. O fungo *Curvularia*, em particular, é perigoso porque produz melanina, uma substância que aumenta sua resistência (Kuzikova & Medvedeva, 2021).

4.1 *Rhizopus* e mucormicose

O gênero *Rhizopus*, isolado neste estudo, possui grande relevância clínica por ser um dos principais agentes etiológicos da mucormicose, uma infecção fúngica oportunista rara, porém grave e de alta mortalidade (Ferreira et al., 2022). A infecção ocorre principalmente pela inalação de esporos e afeta, sobretudo, pacientes com o sistema imune comprometido, como portadores de diabetes mellitus descompensada, que frequentemente se apresentam com cetoacidose diabética (Fernandes & Bastos, 2022). As manifestações clínicas podem acometer diversas partes do corpo, sendo a forma rino-orbital-cerebral a mais comum em pacientes diabéticos, enquanto a forma pulmonar é mais frequente em outros quadros de imunossupressão, como em pacientes em uso crônico de corticoides (Melo Filho et al., 2022).

A patogênese da mucormicose está diretamente ligada às condições metabólicas do hospedeiro. Em quadros de hiperglicemia e acidose, o risco é potencializado pela hiperglicação de proteínas sequestradoras de ferro, resultando em maior disponibilidade de ferro livre — crucial para a proliferação do fungo. Além disso, ocorre um aumento na expressão do receptor GRP78 nas células humanas, ao qual se liga a proteína fúngica CotH para iniciar a invasão e a penetração tecidual. Esse cenário molecular facilita a invasão dos vasos sanguíneos (angiointvasão), processo que leva à trombose e necrose tecidual, explicando a rápida e destrutiva progressão da doença (Corzo-León et al., 2023; Spellberg, 2017). O diagnóstico da mucormicose é complexo e seu tratamento geralmente envolve o controle da doença de base do paciente e o uso de antifúngicos potentes, como a anfotericina B (Hartnett et al., 2019).

4.2 *Aspergillus*

O gênero *Aspergillus* é um dos mais abundantes em fungos do solo e notavelmente crítico para a saúde pública, causando mundialmente quase 3 milhões de casos de doenças pulmonares crônicas por ano. Sua relevância epidemiológica deve-se, em parte, ao seu tamanho reduzido (2 a 3,5 μm): os conídios do *A. fumigatus* conseguem penetrar nas vias aéreas periféricas, contornando amplamente os mecanismos de depuração mucociliar (Janssens et al., 2024).

Uma característica fundamental para a patogenicidade do gênero *Aspergillus* é sua termotolerância, ou seja, a capacidade de crescer em temperaturas elevadas como a do corpo humano (37 °C). Essa adaptação, incomum para a maioria dos fungos ambientais, é um pré-requisito essencial para estabelecer uma infecção após a inalação dos esporos. Em indivíduos imunocomprometidos, essa capacidade permite que o fungo cause desde reações alérgicas e otomicose até infecções invasivas graves (Earle et al., 2023).

Dentre as patologias, a aspergilose invasiva (AI) é uma das manifestações mais graves, classicamente associada a pacientes neutropênicos, mas cuja incidência em portadores de doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC) é cada vez mais reconhecida. Nesses pacientes, a imunidade pulmonar já comprometida é agravada pelo uso de corticosteroides, que suprimem a atividade de macrófagos e neutrófilos, permitindo que o fungo invada o tecido pulmonar. Além da forma invasiva, o *Aspergillus* também pode causar a aspergilose pulmonar crônica (APC), doença de progressão lenta que afeta pulmões com danos estruturais preexistentes, como cavidades da própria DPOC. Na APC, o fungo coloniza essas cavidades, formando bolas fúngicas (aspergilomas) e causando inflamação crônica que leva à destruição progressiva do tecido pulmonar, com sintomas que incluem tosse crônica e hemoptise (Otu et al., 2023).

Recentemente, a aspergilose pulmonar invasiva (API) tem sido cada vez mais reportada em pacientes fora dos grupos de risco tradicionais, como aqueles com

pneumonia viral grave — a exemplo da aspergilose pulmonar associada à influenza (IAPA) e da aspergilose pulmonar associada à COVID-19 (CAPA). Nessas populações, a coinfeção fúngica leva a desfechos significativamente piores, com taxas de mortalidade que chegam a 45% a 71%, mesmo em pacientes previamente imunocompetentes. A patogênese é explicada pelo dano epitelial alveolar causado pelo vírus, que facilita a penetração do fungo no tecido pulmonar, somando-se à liberação de proteases e micotoxinas (Janssens et al., 2024).

Além de sua capacidade de invadir tecidos, a patogenicidade do *Aspergillus fumigatus* também é mediada pela secreção de moléculas que atacam diretamente o sistema imune do hospedeiro. A mais estudada delas é a gliotoxina, potente micotoxina com propriedades imunossupressoras que interfere na função de células de defesa cruciais, como macrófagos e neutrófilos, prejudicando a fagocitose e induzindo a apoptose dessas células. Ao neutralizar a primeira linha de defesa do organismo, o fungo consegue se estabelecer e disseminar mais facilmente, o que agrava o quadro infeccioso (Earle et al., 2023). A interação hospedeiro-patógeno também envolve uma disputa por recursos essenciais: o ferro (Fe^{2+}) e o zinco (Zn^{2+}) são indispensáveis para o crescimento do fungo, e o sistema imune do hospedeiro utiliza proteínas quelantes de íons para sequestrar ativamente esses micronutrientes, inibindo a progressão da infecção (Janssens et al., 2024).

A patogênese do *A. fumigatus* é também modulada pelo microambiente pulmonar do hospedeiro, que frequentemente apresenta hipóxia. O fungo possui notável capacidade de se adaptar a essas condições de baixo oxigênio, adaptação associada ao aumento da virulência e à maior resistência aos antifúngicos em microambientes hipóxicos (Ortiz et al., 2022). O diagnóstico preciso dessas infecções é um desafio agravado pelo aumento da resistência aos azóis — o principal tratamento oral de primeira linha —, cuja taxa se elevou em 40% desde 2006. Essa preocupação é um problema de “Saúde Única” (One Health), pois a pressão seletiva para a resistência está fortemente associada ao uso sistêmico de antifúngicos na agricultura, criando e dispersando cepas resistentes no ambiente (Ortiz et al., 2022). A dificuldade em erradicar o *Aspergillus* em pacientes crônicos é ainda amplificada pela sua capacidade de formar biofilmes, criando uma matriz protetora que o torna mais resistente tanto aos medicamentos antifúngicos quanto à ação do sistema imune do hospedeiro, o que contribui para a cronicidade da colonização e da infecção (Otu et al., 2023). Em um nível de interação mais primário, as células epiteliais das vias aéreas (AECs) atuam como fagócitos não profissionais, internalizando a maior parte dos conídios; no entanto, uma pequena subpopulação sobrevive e escapa por um processo não lítico, emergindo recoberta por membrana plasmática do hospedeiro, o que pode facilitar a evasão da vigilância imune subsequente (Ortiz et al., 2022).

4.3 *Penicillium*

O *Penicillium*, embora cosmopolita, tem o solo como um de seus principais reservatórios naturais, o que explica sua alta dispersão na microbiota anemófila urbana, atuando como fonte primária para a produção de uma vasta quantidade de esporos que se tornam patogênicos ao serem transportados pelo ar (Grishkan, 2024). Segundo Mezzari (2001, p. 95), espécies de *Penicillium* podem causar peniciliose em humanos e animais, além de produzir micotoxinas com efeitos gastrointestinais em humanos e toxicidade fatal em animais.

O gênero *Penicillium* é um dos fungos mais frequentemente encontrados em ambientes internos e externos, e sua presença está diretamente associada a riscos para a saúde humana. A alta prevalência deste gênero, que inclui espécies como *P. chrysogenum*

e *P. citrinum*, é comumente ligada a ambientes com umidade elevada e ventilação inadequada (Najjar, 2024), condição relevante para uma área litorânea como Rio das Ostras.

Além de seu potencial para causar infecções oportunistas em indivíduos imunocomprometidos, o *Penicillium* é um dos quatro gêneros fúngicos mais associados ao desenvolvimento de alergia respiratória em humanos (Torres-Borrego & Sánchez-Solís, 2023). A exposição contínua aos seus esporos, especialmente em ambientes internos, está ligada ao desenvolvimento e à exacerbação de doenças respiratórias, como a asma. Estudos demonstram que o risco de alergia é ampliado pela atividade enzimática proteolítica dos fungos, que pode romper a barreira do epitélio brônquico, facilitando a sensibilização (Torres-Borrego & Sánchez-Solís, 2023). A presença de *Penicillium* em residências pode, por exemplo, aumentar a variabilidade do pico de fluxo expiratório em crianças asmáticas, indicando piora no controle da doença (Al-Shaarani & Pecoraro, 2024).

A gravidade dos riscos associados à presença de fungos anemófilos aumenta devido à capacidade de determinadas espécies produzirem micotoxinas — metabólitos secundários com elevada toxicidade biológica. Entre elas, destaca-se a ocratoxina A (OTA), cuja elevada toxicidade decorre de sua estabilidade química, resistindo ao calor e à degradação, além de apresentar alta afinidade por proteínas plasmáticas, o que prolonga sua permanência no organismo. Esses fatores favorecem seu acúmulo em tecidos-alvo, especialmente nos rins, onde exerce efeito nefrotóxico, podendo causar danos tubulares progressivos (Mezzari, 2001; Najjar, 2024). O *Penicillium* é amplamente documentado como produtor não apenas de OTA, mas também de outras micotoxinas neurotóxicas e nefrotóxicas (Grishkan, 2024), de modo que sua detecção no ar atmosférico funciona como um indicador duplo de risco, envolvendo tanto efeitos respiratórios imediatos quanto potenciais consequências sistêmicas de longo prazo.

4.4 Curvularia

O gênero *Curvularia* é um fungo dematiáceo de grande diversidade, com modos de vida saprofítico, endofítico e patogênico. O isolamento de espécies de *Curvularia* a partir de solo e ar é bem documentado, o que o estabelece como um componente significativo da microbiota anemófila (Iturrieta-González et al., 2020).

A capacidade dos fungos oportunistas de causar doenças está ligada a um arsenal de fatores de patogenicidade, entre os quais se destaca a produção de pigmentos como a melanina, característica marcante de fungos demáceos, grupo ao qual pertence o gênero *Curvularia*. A melanina atua como um escudo protetor, aumentando a resistência do fungo contra as defesas do sistema imune do hospedeiro e contra a ação de alguns medicamentos antifúngicos, estando associada a maior virulência (Kuzikova & Medvedeva, 2021).

O gênero *Curvularia* engloba fungos filamentosos anemófilos que, embora sejam predominantemente saprófitos, possuem potencial para causar infecções oportunistas, especialmente em pacientes imunossuprimidos ou após trauma ocular (Serrano, 2020; M. B. Suehara & Silva, 2023). Relatos clínicos recentes demonstram que esses fungos, dispersos pelo ar, podem levar a infecções respiratórias graves, como a pneumonia causada por *C. lunata* no Brasil (Zhang et al., 2023). O isolamento de *Curvularia* em fontes ambientais (solo e ar) e em espécimes clínicos humanos (Iturrieta-González et al., 2020) reforça sua relevância como fungo de significativo potencial patogênico. Apesar disso, há escassez de estudos clínicos detalhados sobre as infecções por *Curvularia* em humanos

no país, o que reforça a importância de monitorar a presença desses fungos, principalmente em ambientes hospitalares e em áreas com pessoas mais suscetíveis.

4.5 Acremonium

O gênero *Acremonium* (anteriormente conhecido como *Cephalosporium*) compreende aproximadamente 150 espécies e é classificado como um fungo saprofítico amplamente distribuído no meio ambiente. Sua relevância para estudos de aerobiota é alta, pois é isolado com frequência a partir de plantas mortas, solo e sistemas de ar-condicionado (Sridhar & Tripathy, 2022).

Embora incomum, este gênero é um patógeno oportunista emergente que pode causar infecções graves (hialo-hifomicose), especialmente em pacientes imunocomprometidos, como em casos de neutropenia. As infecções podem se apresentar de forma disseminada ou como quadros mais localizados, como onicomicose e endoftalmite (Serrano, 2020). Anatomicamente, os locais mais comuns de isolamento são o trato respiratório (41,3%), unhas (10,7%) e olhos (9,3%) (Gulzar et al., 2025). A onicomicose causada por *Acremonium* é um reflexo direto de seu modo de vida, já que o fungo é comumente encontrado em vegetação em decomposição, solo e ar (Jangla, 2022); a porta de entrada é, muitas vezes, uma quebra na barreira da pele, sendo o trauma com matéria vegetal o principal fator etiológico. A infecção também foi relatada após exposição a tempestades de vento, o que ressalta a importância da dispersão pelo ar como uma via de risco (Sridhar & Tripathy, 2022).

O tratamento é um desafio, visto que não há protocolo terapêutico estabelecido e o gênero demonstra padrões de resistência complexos. Embora costume envolver azóis, polienos e fluoroquinolonas, a falta de um protocolo padrão e a falha na farmacoterapia podem levar a soluções cirúrgicas drásticas, como ceratoplastia (transplante de córnea) ou enucleação do olho (Głowacka & Cędzikowska, 2024).

4.6 Paecilomyces

Como patógeno oportunista emergente, o *Paecilomyces* é capaz de causar doenças invasivas em hospedeiros imunocomprometidos, além de infecções como onicomicose e ceratite (Serrano, 2020). Um dos maiores desafios no tratamento de infecções por este gênero é seu perfil de resistência a antifúngicos: estudos recentes demonstram que espécies como *P. variotii* e *P. maximus* são resistentes a antifúngicos modernos da classe dos azóis, como o voriconazol e o isavuconazol, reforçando a necessidade crítica da identificação precisa da espécie em laboratório para guiar uma terapia eficaz (Monpierre et al., 2022).

A complexidade na escolha da terapia antifúngica é agravada pela evolução das espécies e suas propriedades de resistência. A taxonomia do gênero passou por revisões significativas nos últimos anos, levando à reclassificação da espécie *Paecilomyces lilacinus* para o novo gênero *Purpureocillium* (Monpierre et al., 2022). O *Purpureocillium lilacinum* apresenta resistência intrínseca a dois importantes grupos de antifúngicos sistêmicos — a anfotericina B (polienos) e as equinocandinas —, enquanto *P. variotii* e *P. maximus* mostraram-se suscetíveis à anfotericina B, e o posaconazol (azol) apresentou a melhor atividade in vitro contra todas as espécies testadas (Monpierre et al., 2022). Essa recomendação encontra apoio em relatos clínicos: Pechacek et al. (2023) descreveram o sucesso do tratamento de uma pneumonia grave por *P. variotii* em uma paciente com nefrite lúpica, destacando que a coadministração de posaconazol com o imunossupressor ciclofosfamida, sob rigoroso monitoramento, foi crucial para evitar toxicidade.

A patogenicidade do *Paecilomyces* não se limita a infecções localizadas, sendo capaz de causar doenças disseminadas graves. Relatos de caso, inclusive em animais, demonstram a capacidade de *Paecilomyces formosus* de invadir múltiplos órgãos, como pulmões, rins e sistema nervoso central, resultando em quadros sistêmicos de difícil manejo, virulência atribuída, em parte, à produção de enzimas como a fosfolipase, que degrada membranas celulares do hospedeiro e facilita a invasão tecidual (Anderson et al., 2022). Embora as infecções por *Paecilomyces* sejam mais comuns em pacientes imunocomprometidos, esse fungo também pode causar doenças graves em indivíduos saudáveis, como demonstra o relato de um caso de osteomielite crônica em uma criança de 12 anos sem doença de base ou fator de risco conhecido, cujo tratamento exigiu terapia antifúngica prolongada combinada a desbridamento cirúrgico (Alharbi et al., 2022). Esse tipo de relato reforça a visão do *Paecilomyces* como um patógeno oportunista emergente cujo potencial de causar doença não deve ser subestimado, mesmo em hospedeiros imunocompetentes.

4.7 Síntese do risco clínico

A relevância clínica dos achados em Rio das Ostras manifesta-se na Tabela 5, que sintetiza a complexa inter-relação entre os gêneros fúngicos isolados neste estudo e as principais condições de risco à saúde humana. A patogenicidade desses fungos anemófilos é frequentemente oportunista, ou seja, o risco de infecção e a gravidade da doença estão intrinsecamente ligados ao estado imunológico e clínico pré-existente do hospedeiro. A tabela demonstra que, para cada fungo identificado na microbiota aérea da cidade, existe uma população vulnerável e uma patologia específica (como a mucormicose ou a aspergilose crônica), reforçando o potencial de risco epidemiológico do ambiente.

Tabela 5 – Condições clínicas pré-existentes, doenças fúngicas e gêneros associados

Condição clínica / fator de risco	Doença fúngica associada	Gêneros relacionados
Diabetes descompensado / uso de corticosteroides	Mucormicose (rinocerebral, pulmonar, cutânea ou disseminada)	Rhizopus spp. (Mucorales)
Neutropenia / quimioterapia / transplante	Aspergilose pulmonar invasiva (API)	Aspergillus spp.
Dano estrutural pulmonar preexistente	Aspergilose pulmonar crônica (APC)	Aspergillus spp.
Doenças respiratórias crônicas / atopia	Rinite alérgica, bronquite alérgica, sinusite, pneumonia oportunista	Aspergillus spp., Penicillium spp., Curvularia spp. e Acremonium spp.
Inalação de bioaerossóis (contendo micotoxinas)	Micotoxicose e toxicidade sistêmica (nefrotoxicidade, neurotoxicidade)	Aspergillus spp., Penicillium spp.
Trauma ocular / cirurgia ocular	Ceratite e endoftalmite fúngica	Curvularia spp., Acremonium spp., Paecilomyces spp.
Imunossupressão geral (HIV/aids)	Infecções oportunistas diversas (hialo-hifomicoses, fungemias)	Acremonium spp., Paecilomyces spp.

4.8 Limitações do estudo

A identificação por microscopia foi fundamental para mapear os gêneros presentes (*Aspergillus*, *Penicillium*, entre outros); no entanto, essa técnica não permite conhecer a espécie exata. O gênero *Aspergillus*, por exemplo, inclui desde fungos inofensivos até patógenos muito perigosos, como o *A. fumigatus*, de modo que estudos mais detalhados,

incluindo abordagens moleculares, precisam ser realizados para determinar a espécie exata.

Mesmo diante dessas limitações, o estudo cumpriu o objetivo de comprovar a existência e a distribuição de gêneros fúngicos viáveis e potencialmente perigosos no ar da cidade, correlacionando esses gêneros com fatores ambientais claros e fornecendo uma base sólida para a vigilância em saúde pública.

5. Considerações finais

A exposição a fungos presentes no ar é um fator de risco consolidado para a saúde humana, associado a uma vasta gama de doenças infecciosas, alérgicas e respiratórias. Estudos globais demonstram consistentemente que grupos demográficos como crianças, idosos e, principalmente, indivíduos imunocomprometidos são particularmente vulneráveis aos efeitos prejudiciais da poluição microbiana do ar. A identificação de gêneros como *Penicillium* e *Aspergillus* como os fungos predominantes em ambientes internos e externos reforça a necessidade de um monitoramento contínuo para proteger a saúde pública (Al-Shaarani & Pecoraro, 2024).

Inserida nesse contexto, a análise da presença e diversidade de fungos anemófilos na área urbana de Rio das Ostras, RJ, revelou a presença de gêneros fúngicos de significativa relevância clínica, incluindo *Aspergillus*, *Penicillium*, *Rhizopus*, *Acremonium*, *Paecilomyces* e *Curvularia*. A identificação desses fungos é fundamental, visto que são reconhecidos por sua capacidade de induzir alergias, asma e infecções oportunistas graves, como a mucormicose e a feo-hifomicose, particularmente em indivíduos sensíveis ou imunocomprometidos. As condições ambientais registradas, como temperatura e umidade, atuaram como fatores de favorecimento para a proliferação e dispersão desses esporos, justificando a importância da vigilância.

Em suma, o estudo fornece evidências inéditas sobre o potencial risco microbiológico do ar em diferentes bairros de Rio das Ostras, correlacionando a presença de gêneros fúngicos patogênicos a características específicas dos ambientes urbanos. Esses achados justificam a urgência na continuidade de monitoramentos ambientais e a utilização estratégica dos dados gerados para embasar ações imediatas e futuras políticas de saúde pública e ambiental no município. O aprofundamento do perfil taxonômico dos gêneros identificados será crucial para um mapeamento de riscos ainda mais preciso, viabilizando a avaliação detalhada do risco epidemiológico e de perfis de resistência aos medicamentos antifúngicos na população vulnerável.

Declarações

Contribuições dos autores: M.S.M.L. e V.C.S.S. contribuíram igualmente para a concepção do estudo, coleta e análise dos dados, e redação do manuscrito original. V.L.T. atuou na orientação científica, supervisão e revisão crítica do manuscrito. Todos os autores leram e aprovaram a versão final do artigo.

Financiamento: Os autores declaram não ter recebido financiamento específico de agências públicas, comerciais ou sem fins lucrativos para a realização desta pesquisa, conforme o trabalho original consultado.

Conflito de interesses: Os autores declaram não haver conflitos de interesse relacionados a este estudo.

Disponibilidade de dados: Os dados que sustentam os resultados deste estudo estão disponíveis com os autores correspondentes mediante solicitação razoável.

Uso de inteligência artificial generativa: Não há registro do uso de ferramentas de inteligência artificial generativa na elaboração do trabalho original consultado.



References

- Alharbi, M., Alruqaie, N., Alzahrani, A., & Almuneef, M. (2022). Paecilomyces/Purpureocillium infection in children, case report, and review of the literature. *Journal of Fungi*, 8(9), 930. <https://doi.org/10.3390/jof8090930>
- Al-Shaarani, A. A. Q. A., & Pecoraro, L. (2024). A review of pathogenic airborne fungi and bacteria: Unveiling occurrence, sources, and profound human health implication. *Frontiers in Microbiology*, 15, 1–15.
- Anderson, S., Barrantes Murillo, D. F., Womble, M., Gibbs, N., Harrell, K., & Negrão Watanabe, T. T. (2022). Case report: Novel disseminated Paecilomyces formosus infection in a dog. *Frontiers in Veterinary Science*, 9, Article 878327. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.878327>
- Belvoncikova, P., Splichalova, P., Videnska, P., & Gardlik, R. (2022). The human mycobiome: Colonization, composition and the role in health and disease. *Journal of Fungi*, 8(10), 1046. <https://doi.org/10.3390/jof8101046>
- Bernardi, E., Guimarães da Costa, E. L., & Soares do Nascimento, J. (2007). Fungos anemófilos e suas relações com fatores abióticos, na praia do Laranjal, Pelotas, RS. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, 7(2).
- Corzo-León, D. E., Uehling, J., & Ballou, E. R. (2023). Microbe of the month: Rhizopus arrhizus. *Trends in Microbiology*, 31(7), 747–748.
- Earle, K., Valero, C., Conn, D. P., Vere, G., Cook, P. C., Bromley, M. J., Bowyer, P., & Gago, S. (2023). Pathogenicity and virulence of Aspergillus fumigatus. *Virulence*, 14(1), Article 2172264. <https://doi.org/10.1080/21505594.2023.2172264>
- El Jaddaoui, I., Ghazal, H., & Bennett, J. W. (2023). Mold in paradise: A review of fungi found in libraries. *Journal of Fungi*, 9(11), 1061. <https://doi.org/10.3390/jof9111061>
- Fernandes, K. T., & Bastos, A. S. M. (2022). Mucormicose em pacientes portadores de diabetes mellitus: Uma revisão de literatura. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação – REASE*, 8(8), 396–411.
- Ferreira, T. R. L., Almeida, W. S., Santana, A. C. F., Frutuoso, L. L., Ramos, M. M. F., Mendes, C. C., Marques, L. O. M., Costa, A. B. F., Coelho, A. A. M., & Fernandes, V. P. L. (2022). Mucormicose: Infecção oportunística grave em paciente imunossuprimido. *The Brazilian Journal of Infectious Diseases*, 26(Suppl. 2), 102441.
- Głowacka, A., & Cędzikowska, N. J. (2024). Treatment of Acremonium sp. keratomycosis: A review of literature. *Ophthatherapy*, 11(3), 252–257.
- Grishkan, I. (2024). Soil as a source of fungi pathogenic for public health. *Encyclopedia*, 4(3), 1163–1172.
- Gulzar, A., Riaz, N., Riaz, S., Iqbal, H. A., Saleem, A., Amin, M. W., Mahmood, W., Alam, H. M., Abdullah, O. M., & Ather, N. (2025). Microscopic, molecular, and pathogenic characterization of Acremonium: Insights into its biology, culture characteristics, and clinical implications. *Scholars Academic Journal of Biosciences*, 13(2), 244–250. <https://doi.org/10.36347/sajb.2025.v13i02.005>
- Hartnett, K. P., Jackson, B. R., Perkins, K. M., Glowicz, J., Kerins, J. L., Black, S. R., Lockhart, S. R., Christensen, B. E., & Beer, K. D. (2019). A guide to investigating suspected outbreaks of mucormycosis in healthcare. *Journal of Fungi*, 5(3), 69. <https://doi.org/10.3390/jof5030069>
- Iturrieta-González, I., Gené, J., Wiederhold, N., & García, D. (2020). Three new Curvularia species from clinical and environmental sources. *MycKeys*, 68, 1–21. <https://doi.org/10.3897/mycokeys.68.51667>



- Jangla, S. M. (2022). Onychomycosis caused by *Acremonium* species: A case report. *International Journal of Health Sciences and Research*, 12(4), 1–4.
- Janssens, I., Lambrecht, B. N., & Van Braeckel, E. (2024). *Aspergillus* and the lung. *Seminars in Respiratory and Critical Care Medicine*, 45(1), 3–20. <https://doi.org/10.1055/s-0043-1777259>
- Karabıçak, S., Bıyıklıoğlu, O., Elfogohi, L., Keleşoğlu, D., Özkutlu, İ., Çeter, S., & Çeter, T. (2025). Investigation of the daily variation in fungal spores detected in the atmosphere of İnebolu, Kastamonu, Türkiye (2023–2024). In K. Kluska (Ed.), *Air quality and global pollution: Monitoring, exposure and human health* (p. 30). Rzeszów University Press.
- Kuzikova, I. L., & Medvedeva, N. G. (2021). Opportunistic fungi as contaminants of human environment and their potential pathogenicity. *Ekologiya Cheloveka (Human Ecology)*, 3, 4–14.
- Magyar, D., Tischner, Z., Páldy, A., Kucsubé, S., Dancsházy, Z., Halász, Á., & Kredics, L. (2025). The impacts of global megatrends on airborne fungi in the Pannonian biogeographical region. In K. Kluska (Ed.), *Air quality and global pollution: Monitoring, exposure and human health* (p. 13). Rzeszów University Press.
- Melo Filho, V. M., Valery, M. I. B. A., & Castelano, M. V. C. O. (2022). Mucormicose pulmonar em paciente imunossuprimido. *Revista Científica do Iamspe*, 11(3).
- Metaxatos, A., Georgiadou, D., Hatzinikolaou, D., & Mainelis, G. (2024). The diversity, richness, and potential health and ecological role of the fungal aerosols in Attica, Greece. *Aerosol and Air Quality Research*, 24(12), Article 240170. <https://doi.org/10.4209/aaqr.240170>
- Mezzari, A. (2001). *Micologia no laboratório* (2nd ed.). Editora Sagra Luzzatto.
- Minami, P. S. (2003). *Micologia: Métodos laboratoriais de diagnóstico das micoses*. Manole.
- Ministério da Saúde. (2021). *Nota informativa sobre mucormicose*.
- Monpierre, L., Aït-Ammar, N., Valsecchi, I., Normand, A.-C., Guitard, J., Riat, A., Huguenin, A., Bonnal, C., Sendid, B., Hasseine, L., Raberin, H., Dehais, M., Ranque, S., Hennequin, C., Piarroux, R., Dannaoui, E., & Botterel, F. (2022). Species identification and in vitro antifungal susceptibility of *Paecilomyces*/*Purpureocillium* species isolated from clinical respiratory samples: A multicenter study. *Journal of Fungi*, 8(7), 684. <https://doi.org/10.3390/jof8070684>
- Najjar, A. A. (2024). Fungi as indicators of indoor air quality: Their effects on human health and treatment. *Preprints.org*. <https://doi.org/10.20944/preprints202409.1835.v1>
- Nascimento, T. S. (2023). *Monitoramento indoor de bioaerossóis de origem fúngica nas dependências da Fatec-PG* [Trabalho de conclusão de curso, Faculdade de Tecnologia de Praia Grande].
- Neves, S. A. V. M., Silva, L. L. S., Patzina, R. A., Ponce, C. C., Cordeiro, J. S., Araújo, A. O., Lima, E. L., Matos, I. S., Furtado, J. J. D., Pussi, L. V., Cavalcante, E. A., & Silva, M. V. (2022). Post COVID-19 disseminated mucormycosis in a 55-year-old patient in Western Amazon: Case report. *Journal of Human Growth and Development*, 32(2), 351–356. <https://doi.org/10.36311/jhgd.v32.13369>
- Oliveira, L. D. C., & Borges-Paluch, L. R. (2015). Alergias respiratórias: Uma revisão dos principais fungos anemófilos e fatores desencadeantes. *Revista Baiana de Saúde Pública*, 39(2), 426–441. <https://doi.org/10.22278/2318-2660.2015.v39.n2.a1279>
- Ortiz, S. C., Pennington, K., Thomson, D. D., & Bertuzzi, M. (2022). Novel insights into *Aspergillus fumigatus* pathogenesis and host response from state-of-the-art imaging of host–pathogen interactions during infection. *Journal of Fungi*, 8(3), 264. <https://doi.org/10.3390/jof8030264>

- Otu, A., Kosmidis, C., Mathioudakis, A. G., Ibe, C., & Denning, D. W. (2023). The clinical spectrum of aspergillosis in chronic obstructive pulmonary disease. *Infection*, 51(4), 813–829. <https://doi.org/10.1007/s15010-022-01960-2>
- Pechacek, J., Webb, T., Ferré, E. M. N., Schmitt, M. M., DiMaggio, T., Kobrin, D., Rajasimhan, S., Colton, B., Lewis, R. E., Andes, D., Herrera, A., Hammoud, D., Seyedmousavi, S., Hasni, S., Bolaños, J., Afzali, B., & Lionakis, M. S. (2023). Successful treatment of *Paecilomyces variotii* pneumonia and lupus nephritis with posaconazole-cyclophosphamide co-administration without drug interaction-induced toxicity. *Open Forum Infectious Diseases*, 10(8), Article ofad410. <https://doi.org/10.1093/ofid/ofad410>
- Pfaller, M. A., & Diekema, D. J. (2004). Rare and emerging opportunistic fungal pathogens: Concern for resistance beyond *Candida albicans* and *Aspergillus fumigatus*. *Journal of Clinical Microbiology*, 42(10), 4419–4431. <https://doi.org/10.1128/JCM.42.10.4419-4431.2004>
- Rodrigues, P. M., Marinho, J. L. C., Pimenta, P. H. D. D., Sobreira, A. L. C., & Carmo, E. S. (2023). Avaliação da qualidade do ar e pesquisa de fungos em uma clínica de hemodiálise no município de Caicó-RN, Brasil. *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas*, 52(3), 1123–1137. <https://doi.org/10.15446/rcciquifa.v52n3.112475>
- Serrano, M. D. (2020). Revisão sobre micoses oportunistas na América do Sul. *Revista Pan-Americana de Saúde*.
- Spellberg, B. (2017). Mucormycosis pathogenesis: Beyond *Rhizopus*. *Virulence*, 8(8), 1481–1482.
- Sridhar, U., & Tripathy, K. (2022). Commentary: *Acremonium* species—A saprophytic fungus causing keratitis. *Indian Journal of Ophthalmology*, 70(10), 3528.
- Suehara, M. B., & Silva, M. C. P. (2023). Prevalência de fungos anemófilos no Brasil e a correlação com doenças respiratórias e infecções fúngicas. *Ciência & Saúde Coletiva*, 28(11), 3289–3300. <https://doi.org/10.1590/1413-812320232811.08302022>
- Suehara, T. M., & Silva, R. F. (2023). Fungos anemófilos e qualidade do ar urbano. *Revista de Saúde Ambiental*.
- Thambugala, K. M., Daranagama, D. A., Tennakoon, D. S., Jayatunga, D. P. W., Hongsan, S., & Xie, N. (2024). Humans vs. fungi: An overview of fungal pathogens against humans. *Pathogens*, 13(5), 426. <https://doi.org/10.3390/pathogens13050426>
- Torres-Borrego, J., & Sánchez-Solís, M. (2023). Dissecting airborne allergens. *Journal of Clinical Medicine*, 12(18), 5856. <https://doi.org/10.3390/jcm12185856>
- Winn, W. C., Jr., Allen, S. D., Janda, W. M., Koneman, E. W., Procop, G. W., Schreckenberger, P. C., & Woods, G. L. (2008). *Koneman: Diagnóstico microbiológico: Texto e atlas colorido* (6th ed.). Guanabara Koogan.
- Zhang, Y., Li, H., Chen, L., Feng, F., Liu, L., & Guo, Q. (2023). Severe influenza A virus pneumonia complicated with *Curvularia lunata* infection: Case report. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 13, Article 1289235. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2023.1289235>