Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v.11, 2025
ISSN 2178-6925
DOI: 10.61164/rmnm.v11i1.4168

QUALIDADE MICROBIOLÓGICA DO AR EM AMBIENTES CLIMATIZADOS: PERSPECTIVAS E ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS DE MONITORAMENTO

MICROBIOLOGICAL AIR QUALITY IN AIR-CONDITIONED ENVIRONMENTS: PERSPECTIVES AND TECHNOLOGICAL ALTERNATIVES FOR MONITORING

Paulo Henrique Bucar Veras
Bacharel em Biomedicina pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA), Imaginologista pela Unyleya, Pós-graduando em Docência Superior pela Universila, Brasil.
E-mail: paulobucar@gmail.com

Geovany Braga Soares
Licenciado em Química pelo Instituto Federal do Tocantins (IFTO), Gestor Ambiental pela Universidade Norte do Paraná (Unopar), Especialista em MBA em Gestão de Projetos pelo Instituto Carreira, Especialista em Química Ambiental e Saneamento Ambiental pela Faculdade Serra Geral, Mestrando em Ciências do Ambiente pela Universidade Federal do Tocantins (UFT), Brasil.
E-mail: soaresg.braga@gmail.com

Denise Carvalho de Sousa
Bacharel em Biomedicina pelo Centro Universitario Luterano de Palmas CEULP/ULBRA, pós-graduanda em Gestão da Qualidade e Administração laboratorial pela Faculdade Unileya, Brasil.
E-mail: denisesousa.bm@gmail.com

Danilo Rodrigues de Melo
Bacharel em Biomedicina pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA), cursando MBA em Gestão Empresarial pela Fundação Getulio Vargas (FGV). Atua como Coordenador de Atendimento no Grupo Sabin Diagnóstico e Saúde, em Palmas – TO, Brasil.

Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v.11, 2025
ISSN 2178-6925
DOI: 10.61164/rmnm.v11i1.4168

E-mail: danilomelos@gmail.com

Daniel Gonçalo Alves de Paula

Licenciado em Química pelo Instituto Federal do Tocantins (IFTO), Mestrando em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Tocantins (UFT), Brasil.

E-mail: prof.goncalodaniel@gmail.com

Raiana Chagas Oliveira

Bacharel em Química Ambiental pela Universidade Federal do Tocantins (UFT), Brasil.

E-mail: prof.goncalodaniel@gmail.com

Recebido: 01/06/2025 – Aceito: 14/06/2025

Resumo

A qualidade microbiológica do ar em ambientes climatizados representa uma preocupação crescente no campo da saúde pública, especialmente em locais de uso coletivo como bibliotecas, escolas e hospitais. A exposição contínua a microrganismos como bactérias e fungos em ambientes internos está associada ao aumento de doenças respiratórias e à chamada "síndrome do edifício doente". Apesar da importância do monitoramento da qualidade do ar, o elevado custo de equipamentos comerciais ainda é uma barreira significativa para instituições com recursos limitados. Este artigo tem como objetivo revisar a literatura científica sobre a contaminação microbiológica do ar em ambientes climatizados e apresentar alternativas tecnológicas viáveis de baixo custo para sua avaliação. Estudos demonstram a eficácia de métodos tradicionais como a sedimentação espontânea e a impactação de Andersen, sendo essa última utilizada como base para o desenvolvimento de um aparelho alternativo. O dispositivo, construído com materiais simples como galões plásticos e coolers, obteve resultados compatíveis com os limites estabelecidos pela ANVISA (750 UFC/m³), validando seu uso como ferramenta acessível para vigilância ambiental. Além de sua eficácia, o aparelho destaca-se pelo baixo custo, facilidade de uso e potencial aplicação educativa. A pandemia de COVID-19 reforçou a necessidade de estratégias de monitoramento mais abrangentes, acessíveis e adaptáveis. Conclui-se que tecnologias alternativas de baixo custo, aliadas a boas práticas de ventilação e manutenção,

ISSN 2178-6925
DOI: 10.61164/rmnm.v11i1.4168

podem promover maior equidade no controle da qualidade do ar, favorecendo a prevenção de doenças e a formação de comunidades mais conscientes e resilientes.

Palavras-chave: Qualidade do ar; Ambientes climatizados; Contaminação microbiológica; Tecnologia de baixo custo; Saúde pública.

Abstract

The microbiological quality of air in air-conditioned environments is an increasing concern in the field of public health, especially in shared spaces such as libraries, schools, and hospitals. Continuous exposure to microorganisms such as bacteria and fungi in indoor environments is associated with the rise of respiratory diseases and the so-called “sick building syndrome.” Despite the importance of monitoring air quality, the high cost of commercial equipment remains a significant barrier for institutions with limited resources. This article aims to review the scientific literature on microbiological contamination of air in air-conditioned spaces and to present feasible, low-cost technological alternatives for its assessment. Studies demonstrate the effectiveness of traditional methods such as spontaneous sedimentation and Andersen impact sampling, the latter serving as the basis for the development of an alternative device. The device, built using simple materials such as plastic gallons and computer coolers, produced results in accordance with the limits established by ANVISA (750 CFU/m³), validating its use as an accessible tool for environmental surveillance. In addition to its effectiveness, the device stands out for its low cost, ease of use, and educational potential. The COVID-19 pandemic further emphasized the need for broader, more accessible, and adaptable monitoring strategies. It is concluded that low-cost alternative technologies, combined with good ventilation and maintenance practices, can promote greater equity in air quality control, contributing to disease prevention and the development of more conscious and resilient communities.

Keywords: Air quality; Air-conditioned environments; Microbiological contamination; Low-cost technology; Public health.

1. Introdução

Nas últimas décadas, o aumento da urbanização e a maior permanência da população em ambientes fechados intensificaram a preocupação com a qualidade do ar interior (QAI). De acordo com Klepeis (2001), estima-se que os indivíduos passem até 87% de seu tempo em ambientes internos, muitos deles climatizados, onde microrganismos como bactérias e fungos encontram

ISSN 2178-6925
DOI: 10.61164/rmnm.v11i1.4168

condições propícias para proliferar. A climatização artificial, embora proporcione conforto térmico, pode representar riscos à saúde, principalmente quando associada à recirculação de ar e à má manutenção dos sistemas (Lacerda et al., 2003).

No Brasil, a Resolução nº 09/2003 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) estabelece limites para a presença de microrganismos no ar de ambientes climatizados, fixando em 750 UFC/m³ o valor máximo permitido (BRASIL, 2003). No entanto, muitas instituições enfrentam dificuldades na implementação de programas de monitoramento microbiológico devido aos altos custos de equipamentos especializados, como o MAS-100. Nesse contexto, iniciativas voltadas ao desenvolvimento de tecnologias acessíveis de monitoramento ganham destaque como ferramentas promissoras para vigilância ambiental e proteção da saúde pública.

Este trabalho tem como objetivo realizar uma revisão bibliográfica sobre a qualidade microbiológica do ar em ambientes climatizados, com foco em suas implicações para a saúde e nas alternativas tecnológicas de baixo custo para o monitoramento, contribuindo para a ampliação do acesso à vigilância ambiental em instituições com recursos limitados.

2. Objetivo Geral

Revisar, com base em literatura científica recente e nos estudos analisados, a importância do monitoramento microbiológico do ar em ambientes climatizados, destacando os riscos à saúde pública e o potencial de dispositivos alternativos de baixo custo como solução viável para a vigilância da qualidade do ar.

3. Revisão da Literatura

3.1. A Contaminação Microbiológica do Ar e seus Impactos na Saúde Humana

A qualidade do ar interior (QAI) tem recebido crescente atenção na literatura

ISSN 2178-6925
DOI: 10.61164/rmnm.v11i1.4168

científica, especialmente diante do aumento da permanência das pessoas em ambientes fechados e climatizados. Segundo Klepeis (2001), os indivíduos passam, em média, 87% de seu tempo em ambientes internos, onde há maior propensão à concentração de contaminantes biológicos.

Menzies e Bourbeau (1997) associam a exposição contínua a microrganismos presentes no ar a problemas respiratórios, alergias, irritações e até infecções graves, particularmente em grupos vulneráveis como idosos e imunossuprimidos. Um dos principais conceitos que emergem desse cenário é o da “síndrome do edifício doente”, que se refere a um conjunto de sintomas provocados por ambientes fechados com ventilação inadequada e contaminados por bioaerossóis (SIQUEIRA, 2000).

A presença de vírus, fungos e bactérias, dispersos por sistemas de climatização mal-conservados, é apontada como uma das principais causas dessa síndrome, cuja ocorrência tem se tornado cada vez mais comum em escolas, hospitais e escritórios.

Estudos indicam que bandejas de condensado em sistemas de ar-condicionado podem favorecer o crescimento e dispersão de microrganismos, elevando a carga microbiana em até 100.000 vezes em comparação com o ar externo (LACERDA et al., 2003). Esses dados ressaltam a necessidade de práticas regulares de manutenção e monitoramento da qualidade microbiológica do ar em ambientes fechados.

3.2. Métodos Tradicionais de Monitoramento Microbiológico do Ar

Diversos métodos têm sido aplicados para avaliação microbiológica do ar em ambientes internos. A técnica de sedimentação espontânea é uma das mais utilizadas devido à sua simplicidade e baixo custo. Conforme descrito por Pasquarella et al. (2000; 2007), esse método baseia-se na exposição de placas de Petri contendo meios de cultura ao ambiente por um tempo determinado, permitindo que os microrganismos em suspensão sedimentem e se desenvolvam.

Embora eficaz para triagens preliminares, essa técnica apresenta limitações quanto à representatividade dos resultados. Em contrapartida, métodos de

ISSN 2178-6925
DOI: 10.61164/rmnm.v11i1.4168

amostragem ativa, como a impactação de Andersen, proporcionam maior precisão ao quantificar partículas aerotransportadas por meio da sucção de volumes conhecidos de ar.

Estudos como o de Medeiros et al. (2012) mostram a predominância de bactérias em relação a fungos em ambientes educacionais, enquanto Mentese et al. (2009) relataram níveis médios de 113 UFC/m³ em bibliotecas turcas. Em contextos mais críticos, como hospitais em Singapura, Obbard et al. (2003) registraram concentrações entre 800 e 3.000 UFC/m³, superiores ao limite de 750 UFC/m³ estabelecido pela ANVISA (BRASIL, 2003). Tais evidências reforçam a importância de métodos confiáveis e regulares para monitoramento da QAI.

3.3. Desafios Econômicos e a Necessidade de Tecnologias Acessíveis

A aplicação de tecnologias para monitoramento da qualidade do ar enfrenta desafios econômicos significativos, sobretudo em instituições públicas ou de pequeno porte. Equipamentos de alta precisão, como o MAS-100 Microbial Air Monitoring System, têm preços elevados, dificultando sua aquisição por escolas, bibliotecas ou unidades básicas de saúde.

Essa realidade tem incentivado a busca por soluções alternativas, como destaca Costa (2022), que defende o desenvolvimento de métodos eficazes, mas de baixo custo, para garantir a vigilância ambiental. A democratização do acesso a equipamentos de monitoramento é um ponto chave para a equidade em saúde pública, pois a ausência de dados sobre a qualidade do ar compromete a adoção de políticas preventivas.

A Vital Strategies (2020) estima que cerca de 7 milhões de mortes anuais estejam relacionadas à má qualidade do ar, destacando a urgência de medidas inclusivas. Barboza e Nieuwenhuijsen (2025) argumentam que tecnologias simples e replicáveis são ferramentas fundamentais para ampliar redes de monitoramento e reduzir desigualdades em saúde ambiental no Brasil.

Portanto, a literatura sugere que viabilidade econômica e eficácia técnica devem caminhar juntas nas propostas de inovação na área.

ISSN 2178-6925
DOI: 10.61164/rmnm.v11i1.4168

3.4. Desenvolvimento de Aparelhos Alternativos: Estudo de Caso

Diante das limitações orçamentárias e da necessidade de ferramentas eficazes, Veras et al. (2025) desenvolveram um aparelho alternativo de baixo custo para monitoramento microbiológico do ar, utilizando materiais simples como galões plásticos, coolers e canos de PVC.

O dispositivo foi baseado no princípio da impactação de Andersen e validado através de comparação com a técnica de sedimentação espontânea. Os resultados demonstraram eficácia equivalente entre os métodos, com médias de 100,5 UFC/m³ para bactérias e 9,5 UFC/m³ para fungos valores compatíveis com a legislação vigente (BRASIL, 2003).

Além da precisão nos resultados, o aparelho mostrou-se fácil de manusear, podendo ser utilizado por equipes com pouca formação técnica. Segundo Biotec (2023), a facilidade operacional é um fator decisivo na adoção de tecnologias ambientais em pequenas instituições.

A diferença de custo entre o equipamento alternativo (cerca de R$ 200,00) e os comerciais (entre R$ 15.000 e R$ 30.000) reforça sua aplicabilidade em contextos com restrições financeiras. Esse estudo de caso contribui para a discussão sobre inovação acessível e aponta caminhos para replicação em diferentes ambientes.

3.5. Relevância Pós-Pandemia e Potencial Educacional

A pandemia de COVID-19 acentuou a necessidade de estratégias eficazes para o controle da qualidade do ar, especialmente em locais com grande circulação de pessoas. Autores como Concolato de Araujo (2020) e Costa (2022) reforçam que o monitoramento contínuo da QAI é uma ferramenta essencial para prevenir a propagação de agentes infecciosos em espaços coletivos.

Instituições como a European Environment Agency (2024) e a Environmental Protection Agency (EPA, 2023) também recomendam a adoção de sensores e dispositivos acessíveis como forma de ampliar a vigilância ambiental. Além de sua aplicação técnica, os aparelhos de baixo custo possuem grande

ISSN 2178-6925
DOI: 10.61164/rmnm.v11i1.4168

potencial educativo.

Quando utilizados em escolas e universidades, podem promover a conscientização sobre saúde ambiental, estimulando práticas preventivas e cidadania crítica. Segundo WRI Brasil (2021), a integração entre ciência, tecnologia e educação ambiental fortalece a formação de comunidades mais resilientes.

Assim, o modelo proposto por Veras et al. (2025) extrapola o campo da pesquisa científica, apresentando-se como ferramenta de transformação social.

4. Considerações Finais

A revisão da literatura evidencia que o monitoramento da qualidade microbiológica do ar em ambientes climatizados é fundamental para a promoção da saúde pública, especialmente em locais de uso coletivo. As evidências apontam que a presença de microrganismos no ar pode agravar doenças respiratórias e contribuir para surtos infecciosos, tornando essencial a adoção de práticas de vigilância contínua.

A implementação de tecnologias de baixo custo, como o aparelho alternativo desenvolvido por Veras et al. (2025), surge como solução eficaz e economicamente acessível para instituições públicas e comunidades com recursos limitados. Os resultados comparativos com métodos tradicionais demonstram que é possível aliar simplicidade, funcionalidade e precisão na coleta de dados microbiológicos, o que representa um avanço importante na democratização do acesso à vigilância ambiental.

Além disso, a educação ambiental e a capacitação técnica para o uso desses dispositivos podem fortalecer práticas de autocuidado coletivo e gestão da saúde em espaços públicos. Diante da relevância do tema, recomenda-se o incentivo à produção, disseminação e aplicação desses instrumentos, bem como a realização de novas pesquisas que explorem a adaptação desses aparelhos a diferentes contextos e populações.

Referências

BARBOZA, E.P.; NIEUWENHUIJSEN, M. ***Poluição do ar, saúde e regulação no Brasil: estamos avançando?*** Cadernos de Saúde Pública, v. 41, n. 3, 2025.

BIOTEC. ***Monitoramento da qualidade do ar em ambientes climatizados.*** 2023. Disponível em: https://www.biotecrs.com.br

BRASIL. Ministério da Saúde. ***Resolução nº 09 de 16 de janeiro de 2003***. Diário Oficial da União, Brasília, 2003.

CONCOLATO DE ARAUJO. ***Avaliação da Qualidade do Ar Interior no contexto da Covid-19***. LinkedIn, 2020.

COSTA, K.C. ***Qualidade microbiológica do ar em ambientes climatizados.*** Dissertação (Mestrado) – UFPB, 2022.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. ***Os impactos da exposição à poluição atmosférica na saúde e no ambiente.*** 2024.

KLEPEIS, N.E. *The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS)*. **Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology**, v. 11, n. 3, 2001.

LACERDA, R.A. et al. ***Controle de infecção em centro cirúrgico:*** *fatos, mitos e controvérsias*. Porto Alegre: Atheneu, 2003.

MEDEIROS, M.A.S. et al. ***Qualidade microbiológica do ar em instituições de ensino.*** Global Science and Technology, v. 5, n. 3, 2012.

MENZIES, D.; BOURBEAU, J. ***Building-related illnesses.*** N Engl J Med, v. 337, 1997.

MENTESE, S. et al. ***Bacteria and fungi levels in various indoor environments in Turkey.*** Clean, v. 37, n. 6, 2009.

OBBARD, J.P.; FANG, L.S. ***Airborne concentrations of bacteria in hospital environments.*** Water, Air, and Soil Pollution, v. 144, 2003.

PASQUARELLA, C. et al. ***The index of microbial air contamination.*** J Hosp Infect, v. 46, 2000; v. 66, 2007.

SIQUEIRA, L.F. ***Síndrome do edifício doente, o meio ambiente e a infecção hospitalar.*** In: FERNANDES, A.T. (Org.). Rio de Janeiro: Atheneu, 2000.

SPENDLOVE, J.C.; FANNIN, K.F. ***Indoor Microbial Aerosols.*** Public Health Reports, v. 98, 1983.

VITAL STRATEGIES. ***Acelerando Melhorias da Qualidade do Ar nas Cidades***. 2020.

VERAS, P.H.B. et al. *Desenvolvimento e validação de um aparelho alternativo de baixo custo para monitoramento microbiológico do ar em ambientes climatizados*. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, 2025.

WRI BRASIL. ***Estudo revela estado da qualidade do ar no Brasil.*** 2021.