

REVISTA

# BRASINDOOR

SOCIEDADE BRASILEIRA DE  
MEIO AMBIENTE E CONTROLE DE  
QUALIDADE DO AR DE INTERIORES

Vol. VI, nº1 - 2024

ISSN 1519-4108  
ISSN-L 1519-4108





BRASINDOOR



VISITE O NOSSO SITE  
[WWW.BRASINDOOR.COM.BR](http://WWW.BRASINDOOR.COM.BR)

# BRASINDOOR

SOCIEDADE BRASILEIRA DE MEIO AMBIENTE E  
CONTROLE DE QUALIDADE DO AR DE INTERIORES

REVISTA BRASINDOOR

São Paulo/SP - Brasil - Volume VI, nº 1 - 2024

Patrocinadores





Acesse a Revista digital Brasindoor  
pelo QR Code acima ou no site  
[www.brasindoor.com.br](http://www.brasindoor.com.br)

BRASINDOOR: Revista da Sociedade Brasileira de Meio  
Ambiente e Controle de Qualidade do Ar de Interiores.  
Volume VI, nº 1 - 2024. São Paulo: Brasindoor, 2024.

Semestral  
ISSN 1519-4108  
ISSN-L 1519-4108

1. Perspectivas. 2. Debate. 3. Espaço Temático. 4. Revisão. 5. Ensaio.  
6. Questões metodológicas. 7. Artigo. 8. Comunicação breve. 9. Cartas.  
10. Resenhas.

## Avanços e desafios na qualidade do ar interno: a ciência como suporte para políticas públicas

*Editorial por:*

*Nelzair Vianna, PhD Fiocruz Bahia*

*Adriana Gioda, PhD PUC Rio*

No advento da pandemia da COVID19 uma frase dita pelo Professor Joseph Allen de Harvard trouxe uma importante reflexão sobre a qualidade do ar interno, "Uma das nossas maiores frustrações na pandemia é que sabíamos o suficiente para agir desde o início", o que nos fez enxergar o hiato que existe entre o conhecimento científico e a tomada de decisão no tocante a qualidade do ar interno. A transmissão aérea de doenças já tinha sido reportada desde 1962, com a descoberta de transmissão de doenças infecciosas como a tuberculose, entretanto durante a pandemia este tema ressurge como um pêndulo na história da transmissão de doenças pelo ar. Diversos estudos no período da pandemia reportaram a forma de transmissão do vírus por aerossóis, e uma das principais questões levantadas alertavam sobre a diferença entre gotículas e aerossóis. Atualmente a Organização Mundial da Saúde (OMS) reconhece os aerossóis infecciosos, alertando para a necessidade de mais investimentos em melhoria da qualidade do ar interno, trazendo a qualidade do ar como um tema fundamental da saúde e do bem-estar humano, embora muitas vezes tenha passado como algo invisível. Até então as agendas oficiais se concentravam em poluentes externos, com o desenvolvimento de programas para poluição do ar externo, como o VIGIAR (Vigilância à saúde relacionada à qualidade do ar). Desta forma, os perigos associados à poluição dentro de residências, escolas e locais de trabalho foram frequentemente negligenciados. No entanto, a má qualidade do ar interno, como demonstrado nos artigos deste número da Revista Brasindoor, pode ter impactos significativos na saúde dos ocupantes causando ou exacerbando sintomas de doenças respiratórias, cardiovasculares, alérgicas, neurológicas, dentre outras, afetando negativamente a qualidade de vida reduzindo a produtividade em ambientes corporativos e de ensino.

**REVISTA BRASINDOOR**  
**Revista da Sociedade**  
**Brasileira de Meio Ambiente**  
**e Controle de Qualidade do**  
**Ar de Interiores**

**Volume VI, nº1 - 2024.**

ISSN 1519-4108

ISSN-L 1519-4108

**Presidente**

Eng. Leonardo Cozac

**1º Vice-presidente**

João Paulo Keller Garcia

**2º Vice-presidente**

Amadeu Paulo de Campos

Jorge

**1º Secretário Geral**

Paulo José Marques Hoenen

**2º Secretário Geral**

Charles Valentim Domingues

**1º Tesoureiro Geral**

Hermínio Acquesta

**2º Tesoureiro Geral**

Reinaldo Keiji Fujii

**Comissão Editorial**

Adriana Gioda

Nelzair Vianna

**Foto da Capa**

Inteligência Artificial

**Direção de Arte**

Thiara Ribeiro

**Correspondência**

Av. Rio Branco, 1492.

Campos Elíseos.

CEP 01206-001.

São Paulo/SP - Brasil

Tel.: (11) 99114.0332

E-mail: comiterevista@

brasindoor.com.br

www.brasindoor.com.br

Recentemente a Organização Pan-americana de Saúde (OPAS) inseriu no seu escopo, além da qualidade do ar ambiente (ar externo, que preconiza padrões de poluentes químicos), também a qualidade do ar interior (que inclui a contaminação biológica). Isto deverá trazer avanços significativos para induzir políticas públicas neste campo.

A pesquisa sobre qualidade do ar interno ganhou impulso significativo na década de 1990. Estudos epidemiológicos e toxicológicos destacaram os efeitos adversos para a saúde causados por poluentes como formaldeído, compostos orgânicos voláteis (COV), partículas finas e dióxido de carbono. A OMS e agências ambientais e de saúde passaram a desenvolver diretrizes e regulamentos para abordar a poluição do ar interno. Nos anos 2000 avanços na tecnologia de medição e monitoramento permitiram uma melhor compreensão dos níveis e composição dos poluentes do ar interno. Além disso, no tocante às medidas mitigadoras surgiram tecnologias de controle de poluentes mais eficazes, como sistemas de ventilação de alta eficiência, purificadores de ar e materiais de construção de baixa emissão. As regulamentações ambientais foram implementadas em muitas regiões para monitorar os poluentes internos em edifícios comerciais e residenciais.

Atualmente a qualidade do ar interno continua a ser uma preocupação global de saúde pública. A pandemia de COVID-19 destacou ainda mais a importância de ambientes internos saudáveis, levando a um aumento do interesse em tecnologias de ventilação e purificação do ar. A pesquisa científica e as iniciativas de políticas públicas estão focadas em compreender melhor os riscos para a saúde associados à poluição do ar interno e em desenvolver estratégias eficazes para mitigá-los. Ao longo das décadas, o histórico da qualidade do ar interno reflete uma progressão de conscientização, pesquisa e ação para proteger a saúde humana dos perigos da poluição do ar em ambientes fechados.

Desse modo, a ciência deve ser o suporte para as políticas públicas, que têm o papel crucial na melhoria da qualidade do ar interno, estabelecendo padrões, regulamentações e diretrizes que visam proteger a saúde humana e promover ambientes internos mais saudáveis. Os padrões de qualidade do ar interno

que especificam limites aceitáveis para a concentração de poluentes em ambientes fechados têm sido baseados em evidências científicas sobre os efeitos adversos para a saúde causados pela exposição a diferentes poluentes internos, como partículas finas, formaldeído, fungos, bactérias e outros. Algumas políticas públicas ainda são necessárias para regular as emissões de poluentes de fontes internas, o que poderá incluir restrições ao uso de produtos químicos nocivos, incentivos para o uso de materiais de baixa emissão e requisitos de rotulagem que informem aos consumidores sobre os níveis de emissões de produtos. As políticas públicas também deverão incluir campanhas de educação e conscientização pública sobre os riscos para a saúde associados à poluição do ar interno e as medidas que os indivíduos podem tomar para proteger a si mesmos e suas famílias. Isso pode envolver a divulgação de informações sobre fontes comuns de poluição interna, estratégias de ventilação e purificação do ar e práticas de uso de produtos seguros. Ainda se faz necessário induzir políticas no sentido de implementar os programas de monitoramento do ar e fiscalização conforme a legislação e normas vigentes para garantir a qualidade do ar interno.

Considerando que a ciência seja o suporte para a tomada de decisão, neste editorial apresentamos com grande satisfação o relançamento da revista *Brasindoor* como um espaço de discussão científica acerca do tema qualidade do ar interno, com foco em ciência e decisão, tendo como propósito a aproximação entre ciência e tomada de decisão, seja no âmbito da gestão pública ou organizacionais,

estimulando o envolvimento de todas as partes interessadas. O corpo editorial desta revista reconhece que políticas públicas são essenciais para proteger a saúde humana e promover ambientes internos seguros e saudáveis. Para tanto é importante que essas políticas sejam baseadas em evidências científicas sólidas, aplicadas de maneira eficaz e acompanhadas por medidas de monitoramento e regulamentação necessárias para garantir sua eficácia.

## REFERÊNCIAS

- Chen W, Zhang N, Wei J, Yen HL, Li Y. Short-range airborne route dominates exposure of respiratory infection during close contact, Building, and Environment, Volume 176, 2020, 106859, ISSN 0360-1323, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106859>
- Jimenez JL, Marr LC, Randall K, et al. What were the historical reasons for the resistance to recognizing airborne transmission during the COVID-19 pandemic? *Indoor Air*. 2022; 32(8):e13070. <https://doi.org/10.1111/ina.13070>
- Starr D. The air investigator. *Science*. Aug 2021. Volume 373, Issue 6555. <https://www.science.org/content/article/scientist-says-cleaning-indoor-air-could-make-us-healthier-and-smarter>
- Tang JW, Bahnfleth WP, Bluysen PM, Buonanno G, Jimenez JL, Kurnitski J, Li Y, Miller S, Sekhar C, Morawska L, Marr LC, Melikov AK, Nazaroff WW, Nielsen PV, Tellier R, Wargocki P, Dancer SJ. Dismantling myths on the airborne transmission of severe acute respiratory syndrome coronavirus-2 (SARS-CoV-2). *J Hosp Infect*. 2021 Apr;110:89-96. doi: 10.1016/j.jhin.2020.12.022. Epub 2021 Jan 13. PMID: 33453351; PMCID: PMC7805396. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2020.12.022>

## ARTIGO

- 8** QUALIDADE DO AR DE INTERIORES (QAI) NO BRASIL: ORIGEM E HISTÓRICO PARCIAL DOS PRIMEIROS 10 ANOS DA BRASINDOOR NA VISÃO DE UM DOS FUNDADORES  
*Prof. Emérito Dr. Francisco Radler de Aquino Neto*
- 14** ESTUDO DA CONCENTRAÇÃO DE RADÔNIO NO AR EM IMÓVEIS DA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO, BRASIL  
*Robson Petroni*  
*Leonardo Cozac de Oliveira Neto*
- 28** AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR INTERNO DE RESIDÊNCIAS BRASILEIRAS COM SISTEMAS DE VENTILAÇÃO INTELIGENTE  
*Marcos Batistella Lopes*  
*Denner Ribeiro Machado*  
*Daniela Mortari*  
*Nathan Mendes*
- 41** AVALIAÇÃO DOS NÍVEIS DE POLUIÇÃO DO AR EM UM AMBIENTE HOSPITALAR DURANTE A PANDEMIA  
*Gabriel G. De Barros*  
*Eduarda Santa-Helena*  
*Anna De Falco*  
*Carlos Leonny R. Fragoso*  
*Adriana Gioda*



**51 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR DE INTERIORES (QAI) EM AMBIENTES DE UMA INSTITUIÇÃO DE ENSINO SUPERIOR (IES)**

*Luiz Felipe de M. C. Da Silva*

*Pedro Emanuel Tosato*

*Robson Petroni*

*Leonardo Cozac*

*Nelzair Vianna*

*Adriana Gioda*

## ARTIGO DE REVISÃO

**66 MOFO E QUALIDADE DO AR INTERNO: UMA REVISÃO NARRATIVA SOBRE OS EFEITOS NA SAÚDE**

*Alessandra Lima Costa*

*Gabriela Reis Silva Paes*

*Jair Brandão de Souza Meira Júnior*

*Marcos de Assis Moura*

*Nelzair Araújo Vianna*

**80 QUALIDADE DO AR INTERNO E EFEITOS NA SAÚDE HUMANA**

*Jair Brandão de Souza Meira Júnior*

*Alessandra Lima Costa*

*Gabriela Reis Silva Paes*

*Marcos de Assis Moura*

*Nelzair Araújo Vianna*

## RETROSPECTIVA

Qualidade do ar de interiores (QAI) no Brasil: origem e histórico parcial dos primeiros 10 anos da BRASINDOOR na visão de um dos fundadores

**Prof. Emérito Dr. Francisco Radler de Aquino Neto\***

Autor convidado.

Coordenador do LADETEC & LA / IQ – UFRJ

Laboratório de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico do

Instituto de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro

Av Horácio Macedo, 1281, Bloco C, Polo de Química da UFRJ,

Rio de Janeiro, RJ, Brasil CEP 21941-598 [www.ladetec.iq.ufrj.br](http://www.ladetec.iq.ufrj.br)

\*Autor correspondente: [radler@iq.ufrj](mailto:radler@iq.ufrj)

## RESUMO

O início da pesquisa em QAI deu-se no Brasil quatro anos após a Organização Mundial da Saúde (OMS, WHO) haver reconhecido sua relevância num anexo a um Guia para a Comunidade Europeia em 1987. A união de Grupo de Pesquisas e empresa em microbiologia, com o Grupo de qualidade do ar da USP e o Grupo de análises químicas e ambientais da UFRJ, levou à evolução rápida desta ciência no país. Como resultado, a conscientização da população e dos setores produtivo e de serviços, criou a demanda por uma abordagem holística e organizada para abordar esta problemática. Despontando daí naturalmente a proposta de criação de uma Sociedade Científica que respaldasse as iniciativas necessárias, sendo criada a BRASINDOOR.

### O INÍCIO DA CIÊNCIA INDOOR NO BRASIL

A Ciência Ambiental de Interiores no Brasil, ironicamente começou com o incentivo de um programa científico Latino-Americano bancado por um escritório de advocacia, Covington & Burling (C&B), relacionado à empresa de cigarros Phillip Morris. Com um discurso sobre a necessidade de conhecer a dinâmica de poluição interior, tentava-se criar estudos sobre a Qualidade do Ar de Interiores (QAI, IAQ – Indoor Air Quality). Contatos foram feitos com o LADETEC / IQ – UFRJ (05/07/1991) para desenvolvimentos de estudos sobre a prevalência de fumaça de tabaco em ambientes internos, devido à preocupação crescente com a proposta dos ambientalistas relacionadas ao “fumante passivo”. Esse esforço certamente estava ligado à definição recente de QAI emitida pela Organização Mundial da Saúde (anexo de QAI em WHO, 1987) e um movimento crescente antitabagista desenvolvido nos Estados Unidos da América.

A C&B sediou um seminário de dois dias (30/09 a 01/10/1991) no Hotel Sheraton no Rio de Janeiro com quatro representantes do Brasil (LADETEC / IQ – UFRJ (2), IQ-

USP e um dermatologista), Argentina (3 delegados), Chile (2), Costa Rica (2), Ecuador (2) e Venezuela (2) para avaliar a QAI e prioridades ambientais na América Latina. Seguiu-se um segundo seminário em Miami, Flórida USA (24 a 26/02/1992) onde os participantes da 1ª deveriam apresentar propostas de pesquisas relacionadas à QAI. Para possíveis financiamentos, inclusive devido ao perfil dos brasileiros, montar um projeto conjunto IQ – USP (Prof. Antonio Horácio Miguel) & LADETEC / IQ – UFRJ (Profs. Francisco Radler de Aquino Neto e Jari Nóbrega Cardoso).

Com financiamento do CIAR (Center for Indoor Air Analysis), entre 1992 e 1993, foi realizada pesquisa de poluentes em ambientes internos nas Cidades do Rio de Janeiro e São Paulo. Como não podia deixar de ser, os resultados foram publicados com independência científica. Aparentemente frustraram as expectativas da indústria de tabaco que depois se veio a saber financiava iniciativas na tentativa de demonstrar que a Fumaça Ambiental do Tabaco, FAT, seria inócua. Os resultados mostraram que os ambientes internos brasileiros eram (e ainda são!) fortemente contaminados,

inclusive pela FAT (Miguel, 1993 e 1995). E que pesquisas e conscientização da população e autoridades eram necessárias para eliminar essas fontes poluentes, além de incentivar boas práticas de gestão de ambientes interiores com esta finalidade. Assim sendo, não ocorreram mais financiamentos dessas fontes iniciais para a continuidade dos trabalhos em QAI no Brasil.

Em paralelo o Prof. Luiz Fernando de Goes Siqueira da Faculdade de Saúde Pública do Instituto de Ciências Biomédicas da Universidade de São Paulo (FSP / ICB – USP) e diretor da empresa CONTROLBIO iniciava trabalhos de avaliação microbiológica em ambientes internos.

A parceria dessas duas vertentes química e microbiológica resultou em pesquisas conjuntas e por iniciativa do Prof. Luiz Fernando, na criação da Brasindoor.

## **A GÊNESE DA BRASINDOOR**

Com a multiplicidade de pesquisas e publicações, bem como do interesse crescente por parte de gestores e usuários de ambientes internos, o Prof. Luiz Fernando de Goes Siqueira, também atuante na área de prestação de serviços com sua empresa CONTROLBIO, propôs a criação de uma Sociedade científica e técnica. Para isso foi realizado o “1º Congresso de Meio Ambiente e Controle da Qualidade de ar de interiores, INDOOR 95”, para lançamento da Brasindoor, cuja ata de criação foi lida, aprovada e eleita a Diretoria para o 10 Biênio (22 a 23/11/1995).

O segundo congresso “Indoor 1998” foi realizado também em São Paulo de 27 a 28/08/1998, com ampla divulgação e 8 (oito) mesas redondas e a “Assembléia Geral da Brasindoor” ao final. Em 1998 foram criados 6 (seis) Conselhos Consultivos (Administrativo, Empresarial, Científico, Assessor Permanente, Técnico e da Qualidade). Nesta ocasião o Prof. Francisco Radler de Aquino Neto, foi eleito Presidente da Brasindoor. O Congresso do ano 2000 foi postergado e estendido o prazo da Diretoria, e devido a isso propôs um congresso em 2001 com caráter internacional.

O 3º Congresso “Indoor 2001”, conjuntamente ao 1º Congresso Internacional da Brasindoor: International meeting on the Indoor Environment, Ventilation, Health & Confort e a 1st International Exhibition on Indoor Sciences & Technology for Indoor Environments”, ocorreram na Cidade do Rio de Janeiro de 25 a 28/3/2001. Com apoio de Petrobras, Fiocruz, ISIAQ – International Association of Indoor Air Quality e AIVC – Air Infiltration and Ventilation Centre. Na Assembléia Geral foi eleito o novo Presidente Prof. Luiz Alberto Peregrino Ferreira.

## **A BRASINDOOR NA UFRJ**

Além da participação do Prof. Francisco Radler de Aquino Neto na Presidência da Brasindoor e as atuações do LADETEC / IQ – UFRJ nesta área, foi realizado o “1º Workshop sobre pesquisa em qualidade do ar na UFRJ; articulação, qualidade científica e impacto sócio-econômico” em 26/11/1997”. Quando foi proposta a criação do “Grupo Interdisciplinar de qualidade do ar – GIQA”, envolvendo inicialmente 8 (oito)

unidades da UFRJ. O Grupo deveria ter página na internet associada à Brasindoor e ser secretariado pelo Secretário da Sociedade, Sr. Marcelo Gurgel, contratado pelo Prof. Luiz Fernando desde a fundação da Sociedade. Constituiria o embrião de uma "Regional – Rio" da Brasindoor.

## **DIVERSIDADE DAS ATIVIDADES DA BRASINDOOR**

Foram inúmeros os eventos patrocinados pela Brasindoor, nos mais diversos aspectos da QAI (Quadro 1). Desde escritórios dos mais diversos tipos, a residências, escolas, museus, bibliotecas, indústrias, hospitais, etc. Com a criação do "Certificado de Qualidade de Gestão de Ambientes Internos" foi possível interessar corporações a investirem na atualização de suas instalações e boas práticas de gestão da qualidade ambiental interior. O 1º certificado de Qualidade do Ar de Interiores, de acordo com a Portaria n. 3523 do Ministério da Saúde (em vigor a partir de 27/02/1999), foi entregue com pompa e circunstância para o "Centro Empresarial de São Paulo" (01/03/1999).

Um ponto alto na contribuição da Brasindoor, foi sua atuação firme na elaboração de normas da ANVISA e Ministério da Saúde, visando a qualidade do ar de interiores e boas práticas de sistemas de climatização. Com seu viés acadêmico – técnico a Brasindoor evitou a inserção de aspectos oportunistas sugeridos por alguns setores comerciais, no rastro da comoção pelo falecimento do então Ministro da Comunicações, alegadamente por complicações respiratórias derivadas

da qualidade baixa do ar nos escritórios do Ministério.

## **CONCLUSÕES**

A criação da Brasindoor permitiu um avanço calcado na ciência para a área de qualidade do ar de interiores e meio ambiente interior (MAI) em geral no Brasil. Através de seus membros foi canal de comunicação excelente com a comunidade internacional, trazendo para o país o conhecimento e bom senso científico numa área nova e com viés comercial relevante. Conseguiu à época controlar os parceiros comerciais, muitos deles sócios da Brasindoor, de modo a evitar excessos comerciais que não se coadunassem com princípios técnicos e éticos. Desta forma, disciplinando o mercado e conscientizando a clientela para não comprar soluções de caráter simplesmente mercadológico. Assim tornou-se referência para a orientação da sociedade brasileira em relação ao MAI, com reconhecimento do próprio Ministério da Saúde e ANVISA sobre sua competência e ética ao lidar com o assunto.

## **OPINIÃO**

Como fundador e ex-presidente, vejo como excelente esta retomada do protagonismo da Brasindoor, guardados os princípios que nortearam sua criação e ações nos primeiros anos de sua existência. Aos envolvidos, meus melhores votos de sucesso. A população brasileira agradece.

**Quadro 1. Algumas atividades da Brasindoor de divulgação, treinamento, apoio regulatório, certificação em QAI, documentos técnicos, congressos e oficinas técnicas, realizados em sua fase inicial de 1995 a 2001.**

- I Congresso Brasileiro de Meio Ambiente e Controle da Qualidade de ar de interiores (Indoor 1995) – formalização da Brasindoor, aprovação de seu estatuto (Rev. Brasindoor Edição especial de lançamento, 1995).
- Revistas Brasindoor com artigos científicos, de divulgação da Ciência da Qualidade do Ar de Interiores (QAI) no Brasil, orientação para profissionais e chamadas para eventos técnico-científicos nacionais patrocinados pela Brasindoor, bem como espaço para publicidade comercial das empresas do ramo.
- Elaboração de Guia nacional de profissionais, produtos e empresas Indoor. (Rev. Brasindoor 1 (1): 24, 1996; 1 (2):34, 1996; e fascículos posteriores).
- Workshop “A qualidade do ar na conservação de acervos”, FIOCRUZ, Rio de Janeiro, RJ (19/09/97).
- . “Síndrome de bibliotecas doentes”, Mesa redonda sobre Proteção e Saúde do Trabalhador, DVST/UFRJ (20/10/97).
- “I Workshop sobre pesquisa em qualidade do ar na UFRJ: articulação. Qualidade científica e impacto socioeconômico”, Fórum de Ciência e Cultura da UFRJ (26/11/1997).
- Livraria virtual da Brasindoor (Rev. Brasindoor 2 (8): 19, 1998).
- Simpósios (sete) Brasindoor em 1998: “O controle da Qualidade de ar de interiores: uma ciência ocupacional e de qualidade de vida”. “Adequação dos procedimentos de higienização e a boa qualidade do ar de ambientes interiores”. “As plantas nos ambientes interiores: passado, presente e futuro”. “Controle da qualidade de ambientes interiores de indústrias alimentícias e conservação de alimentos”. “Os insumos para higienização e a qualidade do ar dos ambientes internos”. “O meio ambiente interior em áreas hospitalares”. “O meio ambiente interior em áreas de escritórios”. (Rev. Brasindoor 2 (8) 21, 1998; 2 (9) 19, 1998).
- 1º Simpósio Mineiro da Qualidade do Ar de Interiores, Belo Horizonte, MG (03/12/98).
- 2º Congresso Brasileiro de meio Ambiente e controle da qualidade do ar de interiores (Brasindoor 1998; Rev. Brasindoor 2 (8): 21, 1998).
- Padrões referenciais para análise de resultados de qualidades microbiológica em interiores visando a saúde pública no Brasil (Rev. Brasindoor 2 (10): 4-21, 1998).
- Padrões referenciais para análise de resultados de qualidade físico-química do ar em interiores visando a saúde pública (Rev. Brasindoor 3 (2): 4 – 15, 1999).
- A qualidade dos ambientes interiores, auditório do MAM-SP, 1999.
- A qualidade do ar em ambientes hospitalares, auditório do MAM-SP, 1999.
- “Os poluentes de origem química e a qualidade do ar de interiores”. I Simpósio da Qualidade do Ar de Interiores do Ceará (18/05/99).
- “Padrões para a caracterização da Qualidade Físico-Química do Ar de Interiores”. I Encontro Paulista de Meio Ambiente e Controle da Qualidade do Ar de Interiores, São Paulo (26/10/99).
- SIMCONTHI – Simpósio de controle de

contaminação e higienização, São Paulo, SP (08/05/00).

- Eventos (três) A qualidade em ambientes interiores, A qualidade em ambientes hospitalares, O controle da qualidade ambiental em indústrias alimentícias. Brasindoor 1999 (Rev. Brasindoor 3 (2): 33, 1999; 3 (3): 32-33, 1999).
- Selo da Qualidade Brasindoor para ambientes (Rev. Brasindoor 3 (2): 31, 1999; 4 (1): 18-19, 2000).
- Aquino Neto, F.R.; Siqueira, L.F.G. (2000) Guidelines for indoor air quality in offices in Brazil. Proceedings of Healthy Buildings 4: 459-554.
- Apoio e participação na Simconthi – Feiconthi 2000 (Rev. Brasindoor 4 (1): 14-15, 2000).
- Eventos (cinco) Manutenção em sistemas de ar condicionado. Higienização de Interiores. O controle da qualidade ambiental em indústrias alimentícias. Ambientes saudáveis. Implantação de sistema da qualidade (Rev. Brasindoor 4 (1): 27-28, 2000; 4 (3): 23, 2000)).
- Elaboração de Glossário de termos da ciência e técnicas Indoor (A. Gioda, Rev. Brasindoor 4 (5): 17-21, 2000).
- Resolução n. 176 da ANVISA (Rev. Brasindoor 4(4):15-17, 2000).
- Participação na elaboração da resolução n 176 da ANVISA de 24/10/2000 (Rev. Brasindoor4 (4): 4-14, 2000).
- 3º Congresso de meio ambiente e controle da qualidade do ar de interiores e o I Congresso Internacional da Brasindoor (em cooperação com a ISIAQ (International Society for Indoor Air Quality & Climate) e AIVC (Air Infiltration & Ventilation Centre) e I Exposição de tecnologia para ambientes interiores. (Rev. Brasindoor 4 (2): 23-24,

2000; 4 (4): 21-23, 2000). Programa (Rev. Brasindoor 4 (5). Anais, Rev. Brasindoor 5 (2), 5 (3) E 5 (4), 2001).

- "Fontes poluentes de natureza física e química, métodos analíticos e as recomendações para controle", Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro (23/10/2001).

## REFERÊNCIAS HISTÓRICAS

Miguel A.H.; Allen, A.G.; Vasconcellos, P.C.; Aquino Neto, F.R.; Cardoso, J.N. (1993) An overview of the Southeastern Brazil Indoor Air Quality Study (SEBIAQS): Measurements of organic and inorganic aerosol and gas-phase species. Proceedings of Indoor Air'93 v. 3: 229-233.

Miguel, A.H.; Aquino Neto, F.R.; Cardoso, J.N.; Vasconcellos, P.C.; Pereira, A.S.; Marquez, K.S.G. (1995) Characterization of indoor air quality in the cities of São Paulo and Rio de Janeiro, Brazil. Environ.Sci & Technol. 29 (2): 338-345. Doi: 10.1021/es00002a009.

WHO (1987) Air quality guidelines for Europe. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 1987. (WHO Regional Publications, European Series, No. 23).

## ARTIGO

### Estudo da concentração de radônio no ar em imóveis da região metropolitana de São Paulo, Brasil

**Robson Petroni<sup>1\*</sup>**

**Leonardo Cozac de Oliveira Neto<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Departamento de Pesquisa e Desenvolvimento, Conforlab Engenharia Ambiental.

\*Autor correspondente: [robsonpetroni@yahoo.com.br](mailto:robsonpetroni@yahoo.com.br)



## RESUMO

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), o radônio (Rn) é um importante problema de saúde pública em todo o mundo, sendo classificado como a segunda principal causa de mortes referentes ao câncer de pulmão. Estima-se que mais de 21 mil pessoas morrem todos os anos somente nos Estados Unidos devido a exposição crônica a ambientes contendo elevada concentração de gás radônio. Este trabalho apresenta os resultados obtidos para a investigação da concentração de gás radônio em ambientes confinados (climatizados ou não) de imóveis localizados na região metropolitana da cidade de São Paulo (RMSP). O projeto incluiu a amostragem de ar em 61 ambientes, com amostragens realizadas entre os meses de fevereiro e agosto de 2017. Neste estudo, 7 dos 61 ambientes investigados apresentaram concentração de Rn maior que 4 pCi/L, sugerindo um iminente risco à saúde dos ocupantes desses ambientes. Em outras palavras, 11 % dos ambientes investigados apresentaram resultados não conformes para a concentração de Rn, confirmando a hipótese de que esse elemento pode ser um fator de risco à saúde da população brasileira, estando presente nos imóveis da RMSP.

**Palavras-chave:** radônio, qualidade do ar interno, análise de radônio, e-perm, câmara de ionização de elétrons

## ABSTRACT

*According to the World Health Organization (WHO), radon is an important public health problem worldwide, being classified as the second leading cause of deaths from lung cancer. It is estimated that more than 21,000 people die every year in the United States alone due to chronic exposure to environments containing high concentrations of radon gas. This work presents the results obtained to the investigation of the radon concentration in indoor environments of buildings located in the São Paulo metropolitan region (SPMR). The project included air sampling for 61 indoor environments, with sampling carried out between February and August 2017. In this study, 7 of the 61 indoor environments investigated showed radon concentrations greater than 4 pCi/L, suggesting an imminent risk to the health of the occupants of these environments. In other words, 11 % of the investigated environments presented non-conforming result for radon concentration, confirming the hypothesis that radon may be a risk factor to the health of the Brazilian population, being present in buildings in the SPMR.*

**keywords:** radon, indoor air quality, radon analysis, e-perm, electret ion chamber.

## INTRODUÇÃO

O radônio (Rn) é um gás natural quimicamente inerte, incolor, inodoro e insípido, proveniente do ciclo de decaimento radioativo do urânio, cuja principal fonte de emissão é o próprio solo. O perigo relacionado a este elemento está no fato de que devido as suas características inertes, o Rn difunde-se facilmente através do solo e rochas – devido a porosidade destes materiais, por rachaduras, tubulações, perfurações de lençóis freáticos ou até mesmo por escavações realizadas – chegando a superfície do solo. Ao ser liberado pelo solo dentro de um ambiente fechado (casas, escolas e outras construções) o radônio é pré-concentrado e passa a apresentar riscos à saúde das pessoas que utilizam estes ambientes.

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), a exposição crônica ao Rn em ambientes internos é o principal fator associado o número de óbitos por câncer de pulmão em indivíduos não fumantes, sendo de 21 mil óbitos por ano somente nos Estados Unidos (NIH, 2017) e cerca de 20 mil óbitos por ano nos países da União Europeia. Ainda de acordo com estimativas da OMS, o Rn é responsável por cerca de 15 % dos óbitos associados à incidência de câncer de pulmão em humanos (em fumantes e não fumantes) em todo o mundo.

Diante deste cenário, a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) estabeleceu o limite máximo de 4 pCi/L para a concentração de  $^{222}\text{Rn}$  em ambientes climatizados, sendo que, quando presente em concentrações acima do limite deve

haver um plano para remediação deste elemento dentro do ambiente (aumento da taxa de renovação do ar interior, modificações na planta do imóvel, etc). A OMS recomenda que a concentração de Rn em ambientes internos não ultrapasse 100 Bq/m<sup>3</sup>, isto é, cerca de 2,7 pCi/L.

No Brasil não há legislação específica ou estatísticas relacionadas ao Rn. De acordo com o Instituto Nacional de Câncer (INCA), o tumor maligno mais incidente no Brasil é o de pele não melanoma (31,3 % do total de casos), seguido pelos de mama feminina (10,5 %), próstata (10,2 %), cólon e reto (6,5 %), pulmão (4,6 %) e estômago (3,1 %). São esperados cerca de 704 mil casos novos de câncer no Brasil para cada ano do triênio 2023-2025, sendo que destes, cerca de 32.000 novos casos de câncer de pulmão, com destaque para as regiões Sul e Sudeste, que concentram cerca de 70 % da incidência (INCA, 2024).

Devido ao fato de que o Rn advém principalmente do solo e das rochas, os materiais utilizados nas construções tais como areia, brita, cimento, granito e rochas ornamentais são potenciais fontes de emissão em ambientes fechados (contudo a contribuição destas fontes é muito pequena quando comparada a contribuição do solo). Isto significa que todos os imóveis são potenciais fontes de emissão e a concentração deste elemento é única para cada ambiente investigado o que torna o problema ainda mais complexo e de difícil abordagem.

No Brasil, os dados referentes a concentração de radônio em ambientes internos são escassos. Em projeto realizado

na cidade de Poços de Caldas entre os anos de 2004 e 2013, cerca de 20 % das residências investigadas na região urbana e rural apresentaram resultados para a concentração de radônio acima dos limites estipulados pela USEPA (ANTONIAZI et. al., 2013). Estudos realizados na Dinamarca e Grécia indicam que cerca de 7 a 10 % das residências apresentam concentração de radônio acima dos limites estabelecidos pela USEPA (BRAUNNER et al., 2012; CLOUVAS et al., 2013). Em 1992, Amaral encontrou valores médios em 204 Bq/m<sup>3</sup> para análise de radônio na cidade de Poços de Caldas/MG e valor máximo de 1.046 Bq/m<sup>3</sup>. Em 2003 Veiga estudou a mesma região obtendo resultados médios de 220 Bq/m<sup>3</sup> e máximo de 1024 Bq/m<sup>3</sup>. Estudo realizado na cidade de Monte Alegre/PA obteve média aritmética dos resultados de 133 Bq/m<sup>3</sup> e valor máximo de 338 Bq/m<sup>3</sup> (NEMAN, 2004). Na cidade de São Paulo, Da Silva encontrou resultados médios em 131 Bq/m<sup>3</sup> e máximo de 615 Bq/m<sup>3</sup> (DA SILVA, 2005). Convertendo-se os resultados obtidos por Da Silva em pCi/L, tem-se o valor médio de 3,6 pCi/L e valor máximo de 17 pCi/L para amostragens realizadas na cidade de São Paulo.

Em 2006, a United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR, 2006) publicou dados com a concentração média de Rn em ambientes internos para diversos países e continentes. De acordo com os resultados apresentados, o Brasil apresenta concentração média de 82 Bq/m<sup>3</sup> com valor máximo de 310 Bq/m<sup>3</sup>. Estes valores diferem dos publicados por diversos autores que encontraram resultados bastante antagônicos.

Ainda de acordo com publicação da UNSCEAR (2006), o Irã é o país com estudo que apresentou a maior média aritmética para a concentração de radônio com resultado igual a 2.750 Bq/m<sup>3</sup> (74 pCi/L), seguido por Espanha com 749 Bq/m<sup>3</sup> (20 pCi/L) e 600 Bq/m<sup>3</sup> (16 pCi/L). Em contrapartida, países como Chipre, Cuba e Egito apresentaram as menores médias dentre todos os países estudados, com resultados de 7 Bq/m<sup>3</sup> (0,19 pCi/L), 7,7 Bq/m<sup>3</sup> (0,21 pCi/L) e 9 Bq/m<sup>3</sup> (0,24 pCi/L) respectivamente. Os maiores valores históricos foram encontrados na Suécia com ambientes apresentando concentração de 84.000 Bq/m<sup>3</sup> (2.270 pCi/L) de radônio, seguido por República Tcheca com valores de 70.000 Bq/m<sup>3</sup> (1.892 pCi/L) para resultados em duas diferentes campanhas (UNSCEAR, 2006).

O objetivo deste trabalho foi o levantamento de dados referentes à concentração de <sup>222</sup>Rn em ambientes internos de imóveis comerciais e residenciais da cidade de São Paulo/SP, de acordo com a metodologia recomendada pelos protocolos USEPA (1993) e ANSI/AARST MALB (2014), comparando os resultados obtidos ao valor máximo estabelecido pela USEPA (4 pCi/L). A região metropolitana da cidade de São Paulo é a mais populosa do país e este trabalho tem por justificativa contribuir para a compreensão do grau de exposição da população ao Rn para a elaboração de políticas públicas assertivas.

## MÉTODOS

Existem 3 isótopos conhecidos de radônio, o  $^{219}\text{Rn}$  da série do  $^{235}\text{U}$ , o  $^{220}\text{Rn}$  da série do  $^{232}\text{Th}$ , e o  $^{222}\text{Rn}$  da série do  $^{238}\text{U}$ . Dentre todos os isótopos, o  $^{222}\text{Rn}$  assume maior importância devido às suas características nucleares (tal como o tempo de meia vida e abundância isotópica) que possibilitam a correta quantificação dos níveis deste elemento em ambientes climatizados (casas, escolas, shopping centers, etc). A Figura 1 apresenta a esquematização da série de decaimento do radioisótopo do  $^{238}\text{U}$ , passando por  $^{226}\text{Ra}$  e  $^{222}\text{Rn}$ .

Neste trabalho, utilizou-se o método de amostragem passiva com detecção por diferença de potencial elétrico para a câmara de íons (electret). Neste sistema, o  $^{222}\text{Rn}$  presente no ar é transferido por difusão para o interior da câmara de amostragem, onde ocorre o evento de decaimento radioativo do  $^{222}\text{Rn}$ , por meio de emissão de partículas alfa e gama (radiação ionizante). Estas partículas emitidas são altamente energéticas e ocasionam a ionização das moléculas de ar. A quantificação de Rn ocorre da seguinte maneira. A radiação alfa emitida pelos átomos de Rn gera a ionização das moléculas de ar. Em função da diferença de potencial elétrico os elétrons oriundos do fenômeno de ionização do ar são atraídos para a câmara de íons ocasionando a aniquilação de carga elétrica e, conseqüentemente, uma variação de sinal medido. A variação de potencial elétrico observada para a câmara de íons é relativamente proporcional a quantidade de radiação incidente e conseqüentemente à concentração de Rn. Em função da

diferença de potencial elétrico e do tempo de exposição da câmara de amostragem, é possível calcular-se a concentração de  $^{222}\text{Rn}$  no ar. As Figuras 2 a 4 apresentam a metodologia utilizada neste estudo.

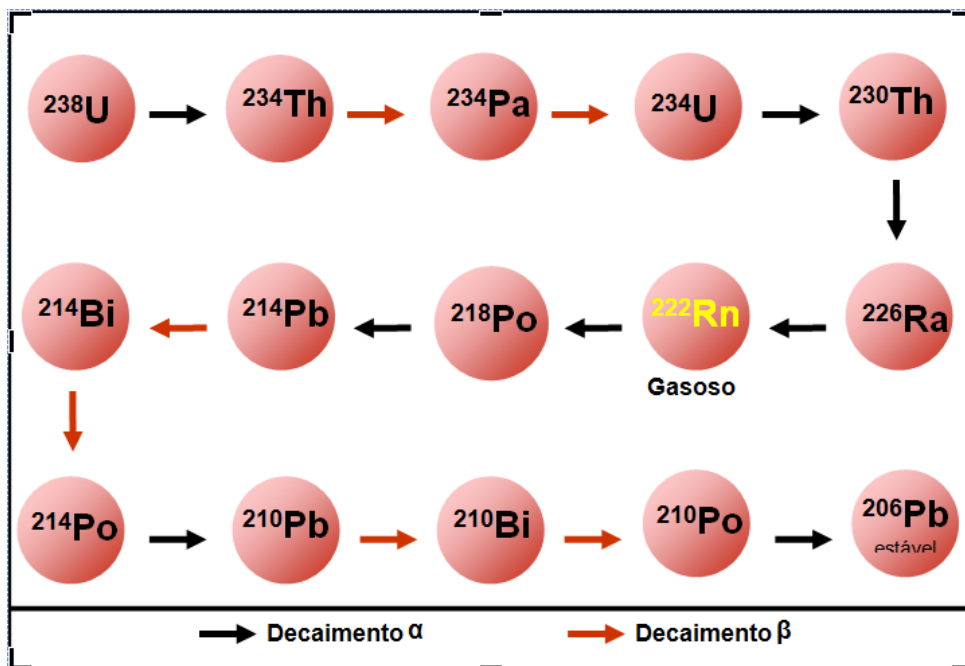


Figura 1. Série de decaimento radioativo para os isótopos de  $^{238}\text{U}$ , passando por  $^{226}\text{Ra}$  e  $^{222}\text{Rn}$   
Fonte: PEREIRA, 2009.



Figura 2. Célula de amostragem utilizada nos experimento



**Figura 3.** Caixa de amostragem (esquerda) e sistema de amostragem em operação (direita)



**Figura 4.** Sistema de detecção composto por um disco *electret* e voltímetro utilizado nas medições de radônio

O cálculo da concentração de Rn no ar se dá pela Equação 1.

$RnC = \{[(I - F) - (0,066667 t)] (fc t)^{-1}\} - 0,087BG$	(Eq. 1)
--	---------

onde:

RnC é o valor da concentração de radônio no ar (pCi/L);

I é o valor para potencial elétrico do electret antes da amostragem (V);

F é o valor para potencial elétrico do electret após da amostragem (V);

t é o tempo de amostragem (dias);

$f_c$  é o fator de correção em função da câmara de amostragem utilizada (Eq. 2);

e, BG é o valor para a radiação de fundo, background, característico para o ambiente amostrado ( $\mu\text{R}\cdot\text{h}^{-1}$ )

O termo  $f_c$  é obtido conforme Equação 2.

$f_c = A + B [0,5 (I + F)]$	(Eq. 2)
-----------------------------	---------

onde:

$f_c$  é o fator de correção em função da altitude ( $\text{pCi}/\text{L}$ );

A e B são constantes para cada sistema de amostragem. Para o sistema de amostragem utilizado temos  $A = 1,69776$  e  $B = 0,0005742$ ;

I é o valor para potencial elétrico do electret antes da amostragem (V);

e, F é o valor para potencial elétrico do electret após da amostragem (V).

Visando a padronização dos resultados, todos os experimentos foram realizados de acordo com a metodologia apresentada no protocolo de medição de Rn em residências USEPA Report EPA 402-R-92-003 Protocol for Radon and Radon Decay Products Measurements in Homes (USEPA, 1993) e protocolo de medição de radônio em escolas e edifícios ANSI/AARST MALB Protocol for Conducting Measurements of Radon and Radon Decay Products in Schools and Large Buildings (ANSI/AARST MALB, 2014).

Todos os experimentos foram realizados com o tempo de amostragem entre 48 e 72 h em ambientes climatizados localizados no térreo e/ou subsolo das residências e edificações. As caixas e células de

amostragem foram dispostas sobre uma superfície plana de altura entre 85 e 100 cm de altura, a uma distância mínima de 100 cm de paredes de divisa com ambiente exterior e portas. Ainda, foram dispostos a uma distância mínima de 30 cm de prateleiras, paredes de divisa com ambientes internos e janelas.

Os ambientes investigados permaneceram fechados por um período de 12 h antes do início da amostragem, visando o equilíbrio radioativo do Rn. Durante o período de amostragem, todas as portas e janelas do ambiente foram mantidas fechadas para preservação do ambiente de amostragem. Eventuais aberturas de portas foram permitidas para circulação mínima de pessoas e o funcionamento de sistemas

de condicionamento de ar foram mantidos em operação normal durante a realização dos procedimentos de amostragem. Ainda, todas as caixas de amostragem foram dispostas em locais abrigados quanto a incidência de luz solar direta e de fluxo direto de ar forçado, advindo dos sistemas de condicionamento de ar.

Cerca de 120 participantes foram convidados a participar do estudo, sendo

que 23 aceitaram o convite. Todos os pontos de coleta tiveram a amostragem realizada no período de fevereiro a agosto de 2017.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 1 e na Figura 5.

**Tabela 1. Concentração de radônio em diferentes imóveis da Região Metropolitana de São Paulo**

DATA DA AMOSTRAGEM	LOCAL (CEP) E IDENTIFICAÇÃO DO PONTO AMOSTRAL	CONCENTRAÇÃO DE RADÔNIO (PCI/L)
22/02/2017	04612-002 - Sala de Reunião	1,69
22/02/2017	04612-002 - Sala de Logística	2,96
22/02/2017	04612-002 - Laboratório Contagem	2,32
24/02/2017	04612-002 - Tratamento Químico	2,17
24/02/2017	04612-002 - Almoarifado	3,03
25/02/2017	04612-002 - Sala de Reunião	1,21
25/02/2017	04612-002 - Laboratório Micro II	3,02
03/03/2017	04612-002 - Laboratório Micro I	2,30
03/03/2017	04612-002 - Laboratório Físico Químico	2,76
03/03/2017	04612-002 - Laboratório Gravimetria	1,81
03/03/2017	04612-002 - Sala de Autoclave	2,27
10/03/2017	04653-210 - Dormitório	1,93
10/03/2017	04653-210 - Sala	2,10
10/03/2017	04653-210 - Estoque	1,76
18/03/2017	04559-010 - Dormitório 1	2,41
18/03/2017	04559-010 - Dormitório 2	2,86
18/03/2017	04559-010 - Dormitório 3	2,38
20/03/2017	04612-002 - Recebimento de Amostra 1	1,85
20/03/2017	04612-002 - Gravimetria	1,62
20/03/2017	04612-002 - Estoque DTA	1,85
20/03/2017	04612-002 - Sanitário Térreo	1,68
20/03/2017	04612-002 - Estoque Dutos	1,61



**Tabela 1. Concentração de radônio em diferentes imóveis da Região Metropolitana de São Paulo**

20/03/2017	06083-160 - Dormitório casal	1,75
20/03/2017	06083-160 - Dormitório filho	1,47
24/03/2017	09861-740 - Sala	1,91
24/03/2017	13760-000 - Dormitório	1,29
24/03/2017	13760-000 - Despensa	1,07
28/03/2017	06083-160 - Porão Loja	2,45
28/03/2017	06083-160 - Loja	2,06
30/06/2017	06083-160 - Criatório	<b>*24,8</b>
28/03/2017	09861-740 - Cozinha	1,89
31/03/2017	09861-740 - Despensa	<b>*4,31</b>
31/03/2017	04507-100 - Dormitório	2,88
31/03/2017	04507-100 - Garagem	2,88
31/03/2017	09350-315 - Ambiente 1	1,80
31/03/2017	09350-315 - Ambiente 2	3,61
05/04/2017	05508-010 - Entrepiso do Laboratório 1	3,85
05/04/2017	05508-010 - Laboratório 1	3,36
05/04/2017	05508-010 - Entrepiso do Laboratório 2	2,61
05/04/2017	05508-010 - Laboratório 2	2,87
05/04/2017	05508-010 - Laboratório 3	2,84
05/04/2017	05508-010 - Porão	3,56
12/04/2017	09861-740 - Porão (sob a pia)	<b>*16,2</b>
12/04/2017	09861-740 - Banheiro	2,20
13/04/2017	05508-000 - Laboratório de Abertura de Coelhos	<b>*5,96</b>
13/04/2017	05508-000 - Laboratório INAA	3,36
13/04/2017	05508-000 - Sala Pós Graduação	2,43
13/04/2017	05508-000 - Sala Coordenação	2,14
13/04/2017	05508-000 - Laboratório Homogeneização	1,45
16/04/2017	04891-000 - Amb 1	2,18
10/06/2017	09812-570 - Dormitório	2,00
10/06/2017	09812-570 - Banheiro	1,50
10/06/2017	05518-030 - Dormitório Principal	<b>*5,60</b>
24/06/2017	11740-000 - Despensa Térreo	1,11
23/06/2017	04846-010 - Loja	2,37
27/06/2017	04785-000 - Garagem	<b>*43,3</b>
09/07/2017	02308-140 - Dormitório	0,97
07/07/2017	01544-001 - Dormitório	3,26
07/07/2017	05867-390 - Dormitório	3,00
09/07/2017	05818-330 - Armário Concreto Sala do Poço	<b>*6,62</b>
29/07/2017	01206-001 - Auditório	2,48

\* Resultados em **negrito** representam ambientes com concentração de radônio acima do limite máximo de 4pCi/L estipulado pela USEPA.



**Figura 5.** Resultados para análise de radônio em ambientes localizados na região metropolitana da cidade de São Paulo.

A concentração de Rn nos ambientes investigados variou entre 0,97 pCi/L para o ambiente "02308-140 - Amb.1" e 43,3 pCi/L para o ambiente "05518-330 - Amb.1". A variação observada para os resultados referentes a concentração de Rn é interpretada como dentro da faixa aceitável, visto que ambientes localizados em locais distintos são susceptíveis a muitos fatores que podem favorecer ou não a acumulação em seu interior. A principal fonte de emissão é o próprio solo sobre o qual o imóvel foi construído, fato que por si só já justificaria a grande variação observada para os resultados. Por outro lado, o fator de acumulação de Rn em um ambiente está relacionado ao projeto de construção e com as condições de manutenção do ambiente, destacando-se que cada ambiente é um ambiente diferente.

A média aritmética dos resultados para os 61 ambientes foi  $3,75 \pm 6,22$  pCi/L. Contudo, os resultados para média e desvio padrão devem ser interpretados com cautela neste estudo. É possível observar que 54 ambientes estudados apresentaram concentração dentro do limite máximo estipulado pela USEPA ( $< 4,0$  pCi/L). Isto significa que 89 % dos ambientes apresentaram-se satisfatórios em relação a concentração de radônio. O percentual de ambientes cuja concentração de Rn esteve acima do limite máximo estipulado pela USEPA (11 %) está de acordo com a estimativa feita pela OMS de que cerca de 10 % a 15 % dos ambientes ao redor do mundo apresentem não conformidade. Resultados maiores que 4 pCi/L foram encontrados nos seguintes CEP/bairro/cidade: 06083-160/Jardim Bela Vista/

Osasco (1 ambiente), 09861-740/Chacara Dublin/São Bernardo do Campo (2 ambientes), 05508-000/Butantã/São Paulo (1 ambiente), 05518-030/Jardim Trussardi/São Paulo (1 ambiente), 04785-000/Jardim Santa Helena/São Paulo (1 ambiente) e 05818-330/Jardim Vergueiro/São Paulo (1 ambiente).

As concentrações médias de Rn obtidas nesse estudo (3,8 pCi/L) são similares às encontradas por Da Silva (2005) (3,6 pCi/L), porém superior à média nacional publicada pela UNSCEAR (2006) (2,2 pCi/L). Em relação ao valor máximo obtido, o resultado obtido neste estudo (43,3 pCi/L) é maior quando comparado ao publicado pela UNSCEAR (8,4 pCi/L) e por Da Silva (16,6 pCi/L).

As condições de amostragem podem influenciar nos resultados obtidos nas análises, sendo de grande importância a padronização dos procedimentos analíticos. Neste estudo, o tempo de amostragem para cada uma das amostras foi de 48 h, tempo característico para o método empregado, divergindo muito do tempo de amostragem prescrito por outros autores, cujo tempo de amostragem foi sazonal entre 3 e 9 meses. Visando uma rápida tomada de ação é preferível que os resultados sejam obtidos no menor intervalo de tempo possível, especialmente quando o motivo da análise for a avaliação inicial do ambiente, isto é, quando ele for analisado pela primeira vez. Foram realizadas análises em duplicata para cerca de 25 % dos ambientes investigados. Por meio da análise dos resultados em duplicata tem-se uma evidência prática quanto ao desempenho relacionado a exatidão do método. Os resultados obtidos para desvio

padrão relativo (para desvio padrão e média dos resultados para  $n = 2$  medições) foram menores que 5 % para todas as amostras investigadas, indicando uma excelente precisão do método de medição. Todos os equipamentos utilizados foram previamente calibrados e submetidos a ensaios com materiais de referência certificados visando a garantia da exatidão dos resultados. De acordo com estudos prévios realizados, a incerteza padrão expandida característica para o método de ensaio é 21 % e o limite de quantificação do método é 1 pCi/L.

Apesar de ser tratado como prioridade em países da União Europeia e Estados Unidos a investigação da concentração de Rn no Brasil é negligenciada, bem como os riscos associados à saúde da população quanto a presença deste elemento em ambientes confinados. Diante do exposto, este trabalho apresenta uma contribuição para o entendimento da dinâmica do Rn e sua respectiva concentração em imóveis comerciais e residenciais localizados na região metropolitana da cidade de São Paulo – SP, Brasil.

A USEPA recomenda que sempre que verificada a concentração de Rn acima do limite de 4 pCi/L deve ser elaborado um plano para remediação deste contaminante no ambiente, tais como aumento da taxa de renovação do ar interior, reformas estruturais, modificações na planta do imóvel, etc.. Para tanto se faz necessária a divulgação do conhecimento de que todos os ambientes confinados possuem Rn e o investimento constante na conscientização e formação técnica.

Por meio dos resultados obtidos neste

estudo espera-se dar início a um debate referente a esta questão com os profissionais responsáveis pela arquitetura, medicina, engenharia e manutenção de ambientes interiores, apresentando a importância deste tema em todas as esferas da sociedade, inclusive governamental, levando-se em consideração os riscos associados a presença deste elemento tão pouco estudado em nosso país. O Rn é o segundo maior responsável por causar câncer de pulmão em seres humanos e estudos recentes sugerem que o radônio está relacionado a 25 % dos óbitos associados a leucemia. Este tema é tratado como prioridade em diversos países do mundo e existe a iminente necessidade de ser tratado com a mesma relevância em nosso país.

## CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos neste estudo, conclui-se que cerca de 11 % dos ambientes investigados apresentaram concentração de radônio maior que 4 pCi/L, valor máximo aceitável pela USEPA. A média aritmética dos resultados obtidos para 61 ambientes analisados foi 3,75 pCi/L, estando este resultado em conformidade com o encontrado por outros estudos no país. A média dos resultados obtidos neste estudo apresentou-se superior à média nacional publicada pela UNSCEAR (2006) que obteve valor médio para a concentração de radônio igual a 2,2 pCi/L. Em relação ao valor máximo obtido, o resultado obtido neste estudo (43,3 pCi/L) é maior quando comparado ao publicado pela UNSCEAR (8,4 pCi/L) e por Da Silva (16,6 pCi/L).

Como proposta futura e continuação deste trabalho, sugere-se a realização de mais amostragens e análises de radônio dentro da Região Metropolitana de São Paulo para aumentar a representatividade e robustez do banco de dados apresentado neste estudo. Se faz necessária a realização de estudos para investigação da concentração de Rn em todos os estados federativos de modo a entender o real quadro risco a que a população brasileira está exposta em relação à exposição ao gás radônio. Ainda, é proposto pelos autores a elaboração de um *website* com o georreferenciamento e mapeamento da concentração de radônio típica para diferentes bairros da cidade, visando-se facilitar a elaboração de planos de remediação para imóveis localizados em regiões com altas concentrações de radônio, semelhantemente ao trabalho desenvolvido pela USEPA nos Estados Unidos.

## CONFLITO DE INTERESSE

Os autores deste trabalho declaram não possuir nenhum conflito de interesse.

## COLABORAÇÕES

Robson Petroni - coleta das amostras, interpretação de dados e escrita  
Leonardo Cosac - revisão do artigo

## REFERÊNCIAS

ANSI/AARST MALB (2014). Protocol for Conducting Measurements of Radon and

Radon Decay Products in Schools and Large Buildings, 2014.

Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR Report to the United Nations General Assembly. Vienna, Austria, 2006.

Brauner, E. V., Rasmussen, T. V, Gunnarsen, L. (2013). Variation in residential radon levels in new Danish homes. *Indoor Air*, v. 23, n. 4, pp. 311-317, 2013.

USEPA (United States Environmental Protection Agency) (1993). Protocols for radon and radon decay product measurements in home - Protocol. R-92-003, 1993.

Clouvas, A. et al. Follow-up study of indoor radon in Greek buildings. *Radiation Protection Dosimetry*, 2013. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23704362>. Acessado em 06/04/2024.

Da Silva, A. A. R. (2005). Radônio e filhos em residências da cidade de São Paulo. São Paulo, 2005. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 2005.

INCA (Instituto Nacional do Cancer) (2023). Estimativa 2023 – Incidência de Câncer no Brasil. Acessado em < [https://bvsms.saude.gov.br/inca-lanca-a-estimativa-2023-incidencia-de-cancer-no-brasil/#:~:text=O%20tumor%20maligno%20mais%20incidente,est%C3%B4magos%20\(3%2C1%25](https://bvsms.saude.gov.br/inca-lanca-a-estimativa-2023-incidencia-de-cancer-no-brasil/#:~:text=O%20tumor%20maligno%20mais%20incidente,est%C3%B4magos%20(3%2C1%25)>. Acessado em 12/04/2024

National Cancer Institute (NIH), 2017. Radon and câncer. Disponível em < <https://www.cancer.gov/about-cancer/causes-prevention/risk/substances/radon/radon-fact-sheet>>. Acessado em 12/04/2024. Estudo da concentração de radônio no ar em imóveis da região metropolitana de São Paulo, Brasil

Neman, R. S. (2000). Medida separada de radônio-222 e de seus filhos no ar: monitoração na cidade de Poços de Caldas - MG e comparação de atividades envolvendo 2 outras técnicas de medida de Rn-222 no ar Campinas. Campinas, SP. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, 2000.

Pereira, C.M.A. (2009). Mapeamento de aquíferos fraturados empregando métodos geoeletricos e emissão natural de radônio. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 72p

UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the effects of Atomic Radiation) (2006).

## ARTIGO

### Avaliação da qualidade do ar interno de residências brasileiras com sistemas de ventilação inteligente

**Marcos Batistella Lopes<sup>1,2\*</sup>**

**Denner Ribeiro Machado<sup>2</sup>**

**Daniela Mortari<sup>2</sup>**

**Nathan Mendes<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR), Programa de Pós-Graduação em Cidades Inteligentes e Sustentáveis (PPGCIS), R. Imaculada Conceição, 1155, 80215-901, Curitiba, Paraná, Brasil

<sup>2</sup> Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PPGEM), R. Imaculada Conceição, 1155, 80215-901, Curitiba, Paraná, Brasil

\*Autor correspondente: [marcos.blopes@pucpr.br](mailto:marcos.blopes@pucpr.br)

## RESUMO

Este estudo investiga a avaliação da qualidade do ar interno de residências com sistemas de ventilação inteligente a partir de indicadores de desempenho propostos pelo Annex 86 da Agência Internacional de Energia (IEA). O estudo de caso definido é uma residência brasileira de interesse social que foi submetida a um sistema de ventilação de referência (MEV-cav) e outro inteligente (MEV-rb). Foram conduzidas simulações da edificação para avaliar indicadores de desempenho das concentrações de CO<sub>2</sub>, PM<sub>2.5</sub> e HCHO, através do DALYs, do indicador de umidade, do percentil 95 e de indicadores de exposição do ocupante acumulada e aguda. Além disso, foram analisadas séries temporais e diagramas de caixa para a ocupação e as zonas críticas. O sistema MEV-rb reduziu as concentrações de CO<sub>2</sub> tanto na exposição do ocupante assim como no ambiente crítico, sendo que o percentil 95 foi reduzido em cerca de 40 % em relação ao MEV-cav, enquanto a exposição acumulada do ocupante foi reduzida em aproximadamente 60 %. Apesar desta melhoria, valores medianos da concentração de CO<sub>2</sub> ficaram acima de 1000 ppm. Ambos os sistemas de ventilação apresentaram concentrações *médias* diárias de PM<sub>2.5</sub> e HCHO na ordem de, respectivamente, 7 µgm<sup>-3</sup> e 25 µgm<sup>-3</sup>, ou seja, dentro dos limites aceitáveis destes contaminantes.

**Palavras-chave:** ventilação inteligente, QAI, modelagem, CO<sub>2</sub>, PM<sub>2.5</sub>, formaldeído.

## ABSTRACT

*This study assesses the indoor air quality in homes with smart ventilation systems using performance indicators proposed by Annex 86 of the International Energy Agency (IEA). The case study selected was a Brazilian social-housing with a reference ventilation system (MEV-cav) and a smart one (MEV-rb). Simulations of the building were carried out to assess performance indicators of CO<sub>2</sub>, PM<sub>2.5</sub> and HCHO concentrations through DALYs, humidity indicator, 95<sup>th</sup> percentile, and indicators of accumulated and acute occupant exposure. Additionally, time series and boxplots for occupancy and critical zones were analyzed. The MEV-rb system reduced CO<sub>2</sub> concentrations both in occupant exposure and in critical zones, with the 95<sup>th</sup> percentile reduced by about 40 % compared to MEV-cav, while the accumulated occupant exposure was reduced by approximately 60 %. Despite improvements, median CO<sub>2</sub> concentration levels remained above 1000 ppm. Both ventilation systems showed daily average concentrations of PM<sub>2.5</sub> and HCHO at around 7 µgm<sup>-3</sup> and 25 µgm<sup>-3</sup>, respectively, which are within acceptable limits for these contaminants.*

**Keywords:** smart ventilation, IAQ, modelling, CO<sub>2</sub>, PM<sub>2.5</sub>, formaldehyde.

## INTRODUÇÃO

Ventilação inteligente pode ser definida como um processo no qual a vazão do ar de um sistema de ventilação de uma edificação é continuamente ajustada no tempo e/ou espaço para proporcionar desejável Qualidade do Ar Interno (QAI) minimizando o consumo energético e outros parâmetros tais como conforto térmico, ruído e serviços (Durier *et al.*, 2018). Os ajustes de um sistema de ventilação inteligente respondem a parâmetros definidos pelo projetista e captados por sensores, diretamente ou indiretamente, no ambiente interno e/ou externo como temperatura, umidade, concentração de contaminantes, ocupação, operação e consumo de energia elétrica.

A ventilação controlada por demanda é um dos exemplos de ventilação inteligente em edificações amplamente difundido desde a década de 1980 que pode ser melhorada usando sensores e ferramentas de simulação (Justo Alonso *et al.*, 2023). Neste cerne, o uso das estratégias de controle de contaminantes não ligados à ocupação se mostram mais viáveis, principalmente com a introdução no mercado de sensores de baixo custo. Aplicar redes de IoT para controlar sistemas de AVAC-R podem reduzir em até 70 % o consumo energético (García-Monge *et al.*, 2023) e aprendizado de máquina pode auxiliar no controle da direção do escoamento de ar (Sharma *et al.*, 2023). O controle automatizado da abertura/fechamento de janelas também pode ajudar na ventilação inteligente (Grygierek *et al.*, 2023).

Definir as variáveis que serão monitoradas

e quais parâmetros serão usados para controlar a ventilação inteligente é crucial para a operação eficiente do sistema. Uma nova métrica que ganha força como indicador de desempenho de sistemas de ventilação inteligente são os *Disability-Adjusted Life Years* (DALYs) que indicam o número de anos perdidos devido a concentração elevada de poluentes no ar (Belias e Licina, 2024; De Jonge *et al.*, 2023). Outro fator de interesse e de difícil controle é o uso da ventilação para atenuar o risco de crescimento de mofo (Morishita, 2020).

Segundo Guyot (2023) ainda há poucos estudos sobre ventilação inteligente em edificações. Neste contexto, em 2020 foi proposto o *Annex 86* para o programa IEA-EBC da Agência Internacional de Energia (<https://annex86.iea-ebc.org/>, acessado em 05/05/2024) intitulado *Energy Efficient Indoor Air Quality Management in Residential Buildings*. Dentre as subtarefas do *Annex 86* encontra-se a *ST4* focando em indicadores de desempenho de sistemas de ventilação inteligente em residências. Uma das atividades desenvolvidas na *ST4* é um *Common Exercise* no qual os participantes de diferentes países propõem estudos de caso e ferramentas de simulação para resolvê-los calculando os mesmos indicadores de desempenho.

O principal objetivo desta pesquisa é apresentar o estudo de caso dos participantes brasileiros do *Annex 86 ST4* focando nos resultados dos indicadores de desempenho da QAI: DALYs, indicador de umidade, percentil 95 e indicadores de exposição do ocupante acumulada e aguda.



## MÉTODOS

Contam é um *software* desenvolvido e disponibilizado pelo *National Institute of Standards and Technology* (NIST) que aplica o modelo multizonal assumindo a hipótese de mistura homogênea do ar. A equação do balanço de massa do contaminante  $\alpha$  na zona  $i$  pode ser representada como (Dols e Polidoro, 2020):

$$\frac{dm_{\text{cont},i}^{\alpha}}{dt} = \sum_j (\dot{m}_{\text{ar},j \rightarrow i} C_j^{\alpha} - \dot{m}_{\text{ar},i \rightarrow j} C_i^{\alpha}) + S_i^{\alpha} \quad (1)$$

onde  $m_{\text{cont},i}^{\alpha}$  é a massa do contaminante [kg],  $t$  é o tempo [s],  $\dot{m}_{\text{ar},j \rightarrow i}$  é o fluxo mássico de ar da zona  $j$  para a zona  $i$  [ $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$ ],  $C$  é a concentração do contaminante [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ] e  $S$  é um termo fonte do poluente [ $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$ ].

Para resolver a Equação (1), o Contam emprega o modelo de volume de controle com método implícito padrão, resultando em equações discretizadas que são resolvidas com algoritmos iterativo

do gradiente biconjugado (BCG) e de relaxações sucessivas (SOR) conforme descrito por Dols e Polidoro (2020).

Nesta pesquisa, Contam foi aplicado na casa de interesse social proposta por Morishita (2020), com área de  $67 \text{ m}^2$  e altura de  $2,7 \text{ m}$ , como representado na Figura 1 na qual as siglas LV, KIT, BR e BD representam, respectivamente, sala, cozinha, banheiro e quarto.

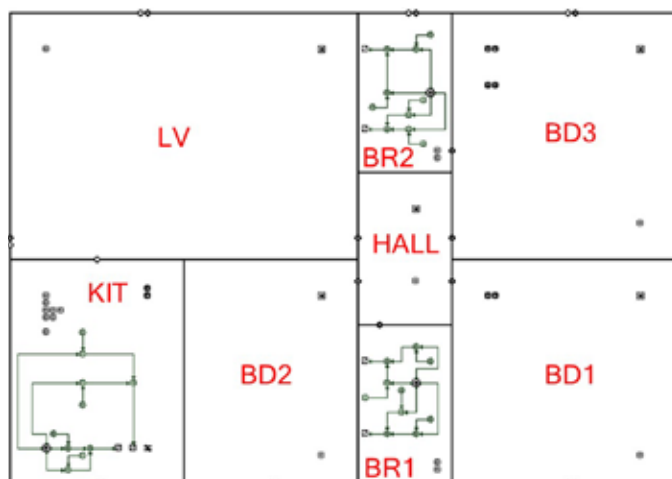


Figura 1. Modelo Contam MEV-rb e zonas.

Dois sistemas de ventilação foram propostos: um sistema de exaustão com vazão constante (MEV-cav), estudo de caso de referência, e um sistema de exaustão com controle da concentração de CO<sub>2</sub> e umidade no ambiente interno (MEV-rb), estudo de caso correspondente a ventilação inteligente. No MEV-cav a troca de ar na cozinha e nos banheiros é 5 h<sup>-1</sup> e 1 h<sup>-1</sup>, respectivamente, acionado constantemente. Já no MEV-rb o sistema de exaustão mantém as vazões do MEV-cav quando a concentração de CO<sub>2</sub> é inferior a 500 ppm ou umidade relativa inferior a 30 %, e é proporcionalmente aumentada até a concentração de CO<sub>2</sub> de 900 ppm ou a umidade relativa de 80 %, neste nível superior o sistema de ventilação mantém vazões de 10 h<sup>-1</sup> e 5 h<sup>-1</sup> na cozinha e nos banheiros, respectivamente.

apresentado na Tabela 1. Cada ocupante emite 18 L·h<sup>-1</sup> e 15 L·h<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> e gera vapor de água de 55 g·h<sup>-1</sup> e 40 g·h<sup>-1</sup> quando acordado e dormindo, respectivamente. Estes e outros cenários de emissões que serão informados a seguir foram retirados de Poirier *et al.* (2021), caso contrário a devida referência será informada.

Na residência da Figura 1 há quatro ocupantes que seguem o cronograma

**Tabela 1. Cronograma diário de ocupação da residência**

Zona	Ocupante 1 (adulto 1)	Ocupante 2 (adulto 2)	Ocupante 3 (criança 1)	Ocupante 4 (criança 2)
LV	08h00-10h00	19h00-22h00	08h00-11h00 19h30-21h00	08h00-11h00
	14h00-17h00			19h00-19h30
	19h00-22h00			20h00-21h00
BR2	07h00-08h00	06h00-07h00	-	-
BD3	22h00-06h00	22h00-06h00	-	-
Hall	12h00-14h00	-	-	-
KIT	06h00-07h00	07h00-08h00 18h00-19h00	07h00-08h00	07h00-08h00
	10h00-12h00		11h00-12h00	
	17h00-19h00		18h00-19h00	
BD2	-	-	21h00-07h00	-
BD1	-	-	-	21h00-07h00
BR1	-	-	19h00-19h30	19h30-20h00

Cronogramas específicos de preparação de refeições na cozinha e banho foram definidos. Em relação ao vapor de água, foi assumido que o café da manhã é preparado durante 15 min gerando  $1.512 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$ , o almoço gera  $2.268 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$  por 30 min e o jantar gera  $2844 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$  por 40 min. Cada ocupante toma banho por 10 min gerando  $1.440 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$  de vapor de água. Visto que a maioria das residências brasileiras utilizam combustão do gás liquefeito de petróleo (GLP) para preparar alimentos, é assumido a emissão de  $1,3 \text{ g}\cdot\text{s}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$  (Oke *et al.*, 2020) em cada preparo, assim como uma taxa emissão de  $2,55 \text{ mg}\cdot\text{min}^{-1}$  de  $\text{PM}_{2,5}$ . Por fim, ainda é assumido uma emissão de um composto orgânico volátil (COV), o formaldeído (HCHO), de  $12 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$  em todas as zonas.

O arquivo climático utilizado na simulação é um TMY (2001-2010) com dados do INMET para Curitiba no período de 20 de julho a 20 de agosto, usando um passo de tempo de 1 min. A concentração de contaminantes externos foi assumido constante com 400 ppm de  $\text{CO}_2$ ,  $2,6 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  de HCHO e  $7,3 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  de  $\text{PM}_{2,5}$  (Gidhagen *et al.*, 2021). As portas são assumidas como fechadas e as janelas permanecem abertas entre 7 h e 17 h. A infiltração do ar é assumida como  $1,8 \text{ h}^{-1}$  a 4 Pa (Rodrigues *et al.*, 2020) distribuído na fachada da casa proporcionalmente à área das superfícies externas. Por fim, o coeficiente de pressão é assumido como uma casa isolada com 0,5 na fachada do barlavento e -0,7 no sotavento (EN 16798-7, 2017).

Para comparar os sistemas de ventilação MEV-cav e MEV-rb foram usados alguns indicadores de desempenho propostos no

Annex 86 ST4 do programa IEA-EBC. Os DALYs foram calculados do seguinte modo (De Jonge e Laverge, 2022):

$$\text{DALYs} = \sum_{i=0}^{i=n} \text{EF}_i \times V_{\text{br}} \times \int_{t_0}^t C_i(t) dt \quad (2)$$

onde  $i$  corresponde ao poluente (neste estudo foram considerados somente o  $\text{PM}_{2,5}$  e o HCHO), EF é uma constante que depende do contaminante ( $118,6 \text{ DALY}\cdot\text{kg}^{-1}$  para o  $\text{PM}_{2,5}$  e  $18,0 \text{ DALY}\cdot\text{kg}^{-1}$  para o HCHO),  $V_{\text{br}}$  é a taxa de respiração ( $16 \text{ m}^3\cdot\text{dia}^{-1}$ ) e C é a exposição do ocupante ao contaminante ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ).

O indicador de umidade utilizado define a porcentagem do tempo que o pior cômodo permanece fora da faixa entre 25 % e 60 %:

$$E_{\text{RH}} = \frac{100}{d} \sum_{t=0}^{t=d} \Delta t \begin{cases} \text{se } \phi(t) > 60\% \\ \text{se } \phi(t) < 25\% \end{cases} \quad (3)$$

onde  $d$  é o período simulado (768 h),  $\Delta t$  é o passo de tempo da simulação (60 s) e  $\phi$  é a umidade relativa (-).

Para comparar os efeitos da ventilação nas concentrações de  $\text{CO}_2$ , HCHO e  $\text{PM}_{2,5}$  foram utilizados a exposição acumulada ( $E_{\text{poluente}}$ ) e aguda ( $E_{\text{poluente, agudo}}$ ) do ocupante que está a mais tempo exposto:

$$E_{\text{poluente}} = \sum_{t=0}^{t=d} C_{\text{poluente}} \Delta t \quad (4)$$

$$E_{\text{poluente, agudo}} = \max \left( \sum_{t=0}^{t=1h} C_{\text{poluente}} \Delta t \right) \quad (5)$$

Para o  $\text{CO}_2$ , o indicador de exposição acumulada é normalizado com o período total e só é considerado se a concentração é superior a 1000 ppm na zona ( $C_{\text{CO}_2}^* = C_{\text{CO}_2} - 1000$ ). Além destes indicadores de exposição, para o  $\text{CO}_2$  considera-se o cálculo do percentil 95 ( $P_{\text{CO}_2}$ ).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A exposição crítica neste estudo deve ser do ocupante 1 que permanece na casa em tempo integral e em diferentes zonas dependendo do contaminante a ser analisado bem como das emissões e renovação de ar de cada zona. Na Tabela 2 estão os valores calculados para todos os indicadores de desempenho comparando o sistema de ventilação de referência (MEV-cav) e inteligente (MEV-rb). No geral, nota-se ganhos obtidos pelo sistema MEV-rb, sobretudo pelo controle da concentração de  $\text{CO}_2$  na cozinha (zona KIT) que indica que a renovação do ar é mais efetiva neste ambiente quando se aplica um sistema de ventilação inteligente.

Tabela 2. Indicadores de desempenho

Indicador	MEV-cav	MEV-rb
$E_{\text{CO}_2}$ [ppm]	185	72
$P_{\text{CO}_2}$ [ppm]	4018	2357
$E_{\text{RH}}$ [%]	99,41	99,44
$E_{\text{HCHO}}$ [ $\mu\text{g}\cdot\text{dia}\cdot\text{m}^{-3}$ ]	233	231
$E_{\text{HCHO, agudo}}$ [ $\mu\text{g}\cdot\text{dia}\cdot\text{m}^{-3}$ ]	1,01	1,04
$E_{\text{PM}_{2.5}}$ [ $\mu\text{g}\cdot\text{dia}\cdot\text{m}^{-3}$ ]	163	162
$E_{\text{PM}_{2.5, agudo}}$ [ $\mu\text{g}\cdot\text{dia}\cdot\text{m}^{-3}$ ]	0,24	0,22
$\text{DALYS}\times 10^5$ [ano]	37,14	36,90

Em relação a umidade relativa, dado que o clima de Curitiba é frio e úmido durante o inverno, é normal que a maior parte do tempo o indicador de umidade esteja acima de 60 %, evidenciando que este indicador precisa ser melhorado para a realidade desta cidade. Já os indicadores da exposição acumulada e aguda tanto do HCHO como do  $\text{PM}_{2.5}$  não apresentaram grandes variações entre os dois sistemas de ventilação, reforçando que para estes contaminantes seria necessário controle das fontes de emissão e/ou sistemas de filtragem para melhorias efetivas. Também não houve variação em relação aos DALYs, no entanto é importante notar que, face ao cenário considerado, para cada 100 mil pessoas devem ser perdidos cerca de 37 anos de vida saudável anualmente devido aos impactos na saúde causados pela exposição ao HCHO e  $\text{PM}_{2.5}$ , o que significa queda considerável na qualidade de vida assim como impactos na economia.

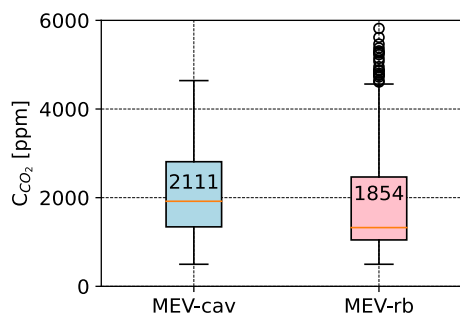
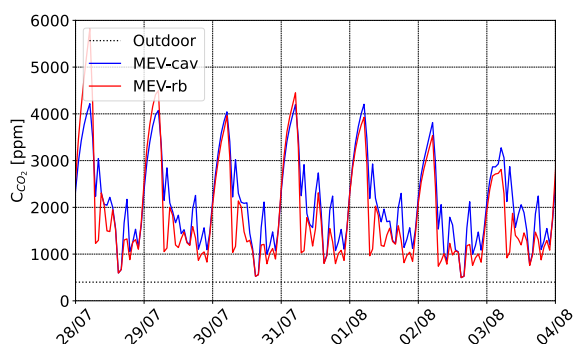
A fim de detalhar melhor os indicadores de desempenho da Tabela 2, a seguir serão apresentadas séries temporais dos contaminantes num intervalo de uma semana do período mensal simulado e diagramas de caixa para todo o período simulado, tanto para o ocupante que permanece todo o momento na residência como para as zonas mais críticas.

A exposição do ocupante 1 às concentrações de  $\text{CO}_2$  é apresentado na Figura 2a. É possível observar que os níveis de concentração ultrapassam o limite estabelecido de 1.000 ppm, sobretudo quando o ocupante 1 permanece com o ocupante 2 no quarto (zona BD3) das 22 h às 6 h (Tabela 1). É possível observar um

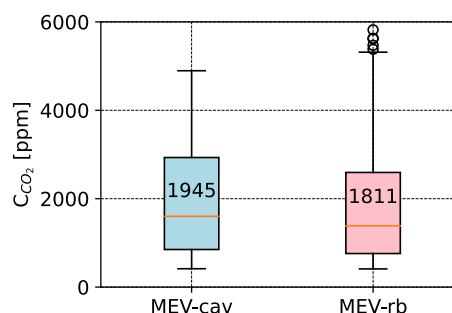
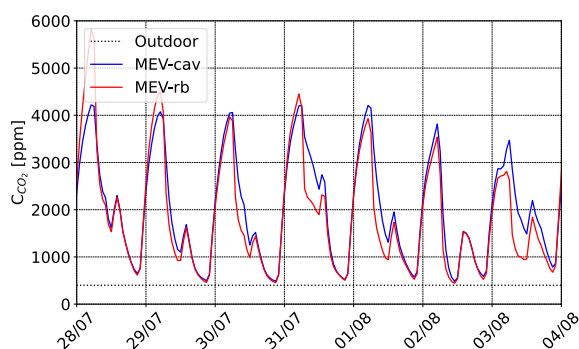
ganho oferecido pela ventilação inteligente (MEV-rb) que mantém uma mediana de aproximadamente 700 ppm, enquanto o sistema de ventilação de referência (MEV-cav) atinge uma mediana de 2.000 ppm. Em contrapartida, a Figura 2b apresenta a concentração de CO<sub>2</sub> no quarto (zona BD3) indicando ligeira melhora do sistema MEV-rb mantendo um valor mediano de cerca de 1.400 ppm face ao valor de 1.600

ppm do sistema MEV-cav. Estes níveis de concentração são atingidos porque as janelas são consideradas fechadas das 17 h às 7 h e o sistema de ventilação considerado atua somente na cozinha (zona KIT) e nos banheiros (zonas BR1 e BR2), indicando que seria necessário testar outros sistemas de ventilação para melhorar a renovação de ar neste ambiente interno.

(a) Ocupante 1



(b) Quarto (zona BD3)



**Figura 2.** Exposição ao CO<sub>2</sub> (a) do ocupante 1 e (b) no quarto (zona BD3).

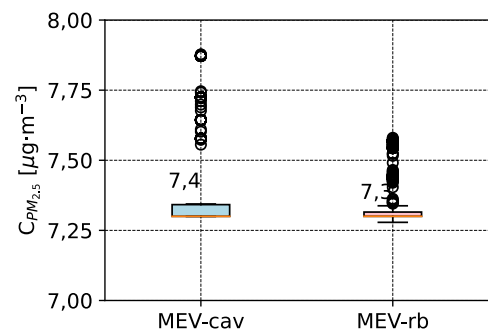
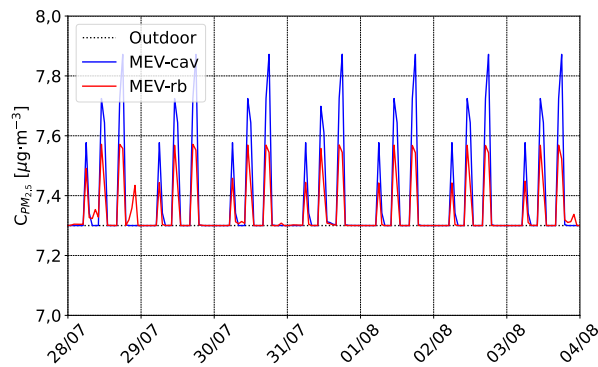
Analogamente às exposições ao CO<sub>2</sub>, é apresentado na Figura 3a a exposição do ocupante 1 às concentrações de PM<sub>2.5</sub>. Há somente emissão de PM<sub>2.5</sub> durante a preparação de alimentos na cozinha (zona KIT), portanto esta é a zona crítica para analisar as concentrações deste

contaminante, conforme pode ser visto na Figura 3b. Não foram observadas grandes variações entre os sistemas de ventilação MEV-cav e MEV-rb, sendo mantido um valor médio de cerca de 7,3 µgm<sup>-3</sup>. Na ausência de um valor de referência para a concentração de PM<sub>2.5</sub> em residências, pode-se considerar

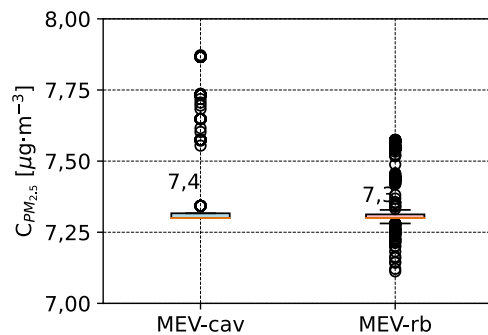
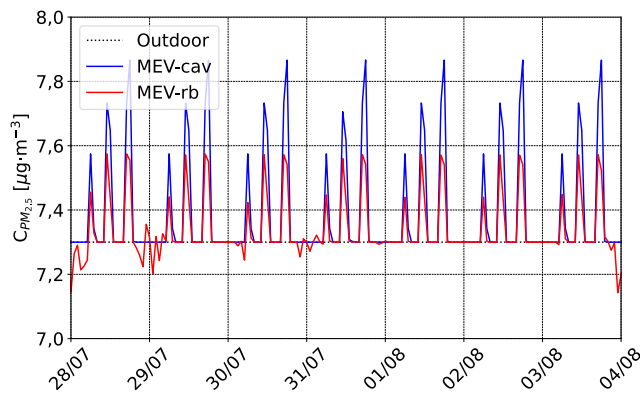
o limite de  $9 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA, 2024). Portanto, ambos sistemas de ventilação satisfazem as concentrações de  $\text{PM}_{2.5}$  nestas condições. No entanto, reforça-se que outras atividades domésticas,

como limpeza, não foram consideradas e podem afetar muito a concentração do  $\text{PM}_{2.5}$  no ambiente interno assim como a consequente exposição do ocupante a este poluente.

(a) Ocupante 1



(b) Cozinha (zona KIT)

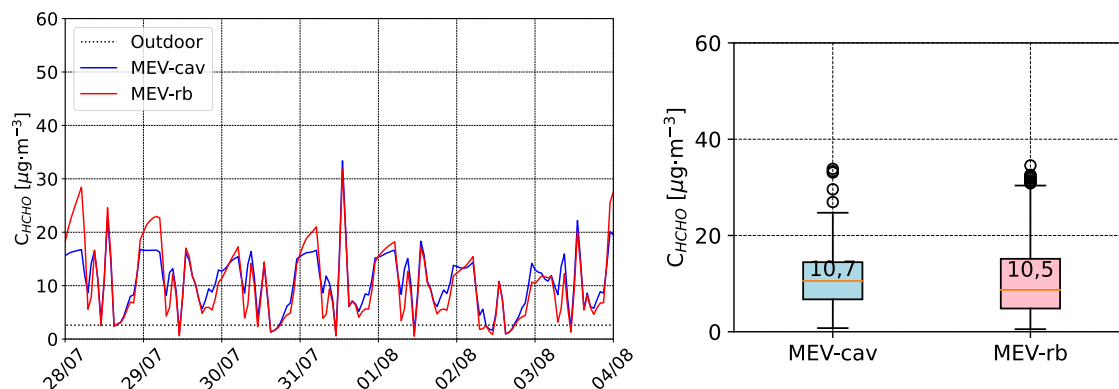


**Figura 3.** Exposição ao  $\text{PM}_{2.5}$  (a) do ocupante 1 e (b) na cozinha (zona KIT).

Por fim, as Figuras 4a e 4b apresentam concentrações de HCHO para a exposição do ocupante 1 e no quarto (zona BD2), respectivamente. O sistema MEV-rb reduz em cerca de 15 % o valor médio da concentração de HCHO neste quarto. Por outro lado, a exposição do ocupante 1 a este contaminante permanece aproximadamente a mesma independente do sistema de ventilação. A Organização Mundial da Saúde (OMS) estabelece um

limite de  $100 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  de concentração média de HCHO por 30 min (WHO, 2010). Portanto, nestas condições, é possível afirmar que não há riscos para os ocupantes. Ainda assim, é preciso considerar que pode aparecer novas fontes como limpeza, novos mobiliários e reformas da casa que não foram incluídas nas condições de contorno deste estudo de caso e que podem piorar estas concentrações.

(a) Ocupante 1



(b) Quarto (zona BD2)

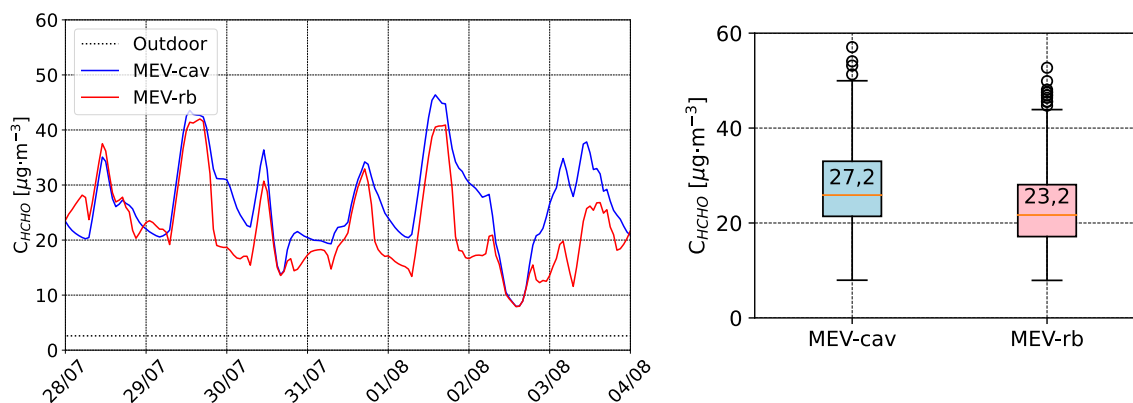


Figura 4. Exposição ao HCHO (a) do ocupante 1 e (b) no quarto (zona BD2).

## CONCLUSÕES

Neste trabalho, foi apresentado um estudo de caso de uma residência de interesse social comparando um sistema de ventilação de referência (MEV-cav) com um sistema inteligente (MEV-rb) formulado pela equipe brasileira que participa do *Annex 86* da Agência Internacional de Energia. Um dos objetivos do *Annex 86* é analisar um grupo de indicadores de desempenho de sistemas de ventilação inteligente em edifícios residenciais. Os indicadores da QAI analisados neste estudo para as concentrações de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{PM}_{2.5}$  e HCHO, foram: DALYs, indicador de umidade, percentil 95 e indicadores de exposição do ocupante acumulada e aguda. Além destes

indicadores, foram analisadas séries temporais e diagramas de caixa para a ocupação e as zonas críticas, ou sejam, nas maiores concentrações observadas.

O sistema de ventilação inteligente MEV-rb reduziu as concentrações de  $\text{CO}_2$  tanto na exposição do ocupante assim como no ambiente crítico (zona BD3). O percentil 95 foi reduzido em cerca de 40 % em relação ao sistema de ventilação de referência MEV-cav, enquanto a exposição acumulada do ocupante crítico foi reduzida em aproximadamente 60 %. No entanto, valores medianos da concentração de  $\text{CO}_2$  ficaram acima de 1.000 ppm, indicando a necessidade de testar outras estratégias de ventilação para aumentar a renovação do ar.

Não houve grandes variações em relação as concentrações de  $PM_{2.5}$  e HCHO entre os sistemas de ventilação MEV-cav e MEV-rb nas situações críticas analisadas. A concentração média de  $PM_{2.5}$  em ambos os sistemas de ventilação foi de cerca de  $7 \mu\text{gm}^{-3}$ , inferior a recomendação da EPA (2024) de  $9 \mu\text{gm}^{-3}$ . Já a concentração média de HCHO em ambos os sistemas de ventilação foi de aproximadamente  $25 \mu\text{gm}^{-3}$ , abaixo da recomendação da OMS de  $100 \mu\text{gm}^{-3}$ . Portanto, outras estratégias complementares a ventilação inteligente devem ser empregadas para melhorar estes níveis de concentração quando necessário como controle das fontes e filtragem.

Perspectivas futuras visam incluir simulações acopladas com análise energética do *software* Domus (Mazuroski *et al.*, 2022) para análise efetiva de sistemas de ventilação inteligente. Além disso, pode-se refinar as condições iniciais e de contorno incluindo outras fontes de emissão e melhorando a modelagem, assim como estender o período simulado para um ano e analisar a resiliência climática da edificação. Por fim, o indicador de umidade deve ser reformulado para ser adaptado a realidade das regiões bioclimáticas do Brasil.

#### AGRADECIMENTO/FINANCIAMENTO

Os autores gostariam de agradecer à PUCPR, à CAPES (CAPES-COFECUB nº898/18), à Fundação Araucária (CP 19/2022) e ao CNPq pelo financiamento deste projeto.

#### CONFLITO DE INTERESSES

Os autores declaram que não há conflito de interesse e são os únicos responsáveis pelo conteúdo apresentado neste artigo.

#### COLABORAÇÕES

Marcos Batistella Lopes (<https://orcid.org/0000-0002-9161-9049>): Concepção, Metodologia, Simulação, Análise, Escrita.

Denner Ribeiro Machado (<https://orcid.org/0000-0002-7298-4200>): Concepção, Análise, Revisão, Escrita.

Daniela Mortari (<https://orcid.org/0000-0002-6479-4255>): Concepção, Análise, Revisão, Escrita.

Nathan Mendes (<https://orcid.org/0000-0002-8862-9748>): Concepção, Supervisão, Revisão, Escrita.

#### REFERÊNCIAS

Belias, E.; Licina, D. (2024) European residential ventilation: Investigating the impact on health and energy demand. *Energy and Buildings*, 304, 113839. DOI: 10.1016/j.enbuild.2023.113839 .

De Jonge, K.; Ghijssels, J.; Laverge, J. (2023) Energy savings and exposure to VOCs of different household sizes for three residential smart ventilation systems with heat recovery. *Energy and Buildings*, 290, 113091, DOI: 10.1016/j.enbuild.2023.113091 .

De Jonge, K.; Laverge, J. (2022) Time-resolved dynamic disability adjusted life-years estimation. *Indoor Air*, 32(11), e13149. DOI: 10.1111/ina.13149 .



- Dols, W. S.; Polidoro, B. J. (2020) CONTAM User Guide and Program Documentation Version 3.4. NIST. 10.6028/NIST.TN.1887r1. Acessado em 6 de maio de 2024.
- Durier, F.; Carrié, R.; Sherman, M. (2018) What is smart ventilation? AIVC VIP 38. [www.aivc.org/resource/vip-38-what-smart-ventilation](http://www.aivc.org/resource/vip-38-what-smart-ventilation). Acessado em 6 de maio de 2024.
- EN 16798-7 (2017) EN 16798-7 - Energy performance of buildings - Ventilation for buildings - Part 7: Calculation methods for the determination of air flow rates in buildings including infiltration. European Standard. [www.en-standard.eu/bs-en-16798-7-2017](http://www.en-standard.eu/bs-en-16798-7-2017). Acessado em 6 de maio de 2024.
- EPA (2024) Final Rule to Strengthen the National Air Quality Health Standard for Particulate Matter Fact Sheet. U.S. Environmental Protection Agency. [www.epa.gov/system/files/documents/2024-02/pm-naaqs-overview.pdf](http://www.epa.gov/system/files/documents/2024-02/pm-naaqs-overview.pdf). Acessado em 6 de maio de 2024.
- García-Monge, M.; Zalba, B.; Casas, R.; Cano, E.; Guillén-Lambea, S.; López-Mesa, B.; Martínez, I. (2023) Is IoT monitoring key to improve building energy efficiency? Case study of a smart campus in Spain. *Energy and Buildings*, 285, 112882, 2023, DOI: 10.1016/j.enbuild.2023.112882.
- Gidhagen, L.; Krecl, P.; Targino, A.C.; Polezer, G.; Godoi, R.H.M. (2021) An integrated assessment of the impacts of PM<sub>2.5</sub> and black carbon particles on the air quality of a large Brazilian city. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 14(9), 1455–1473, DOI: 10.1007/s11869-021-01033-7.
- Grygierek, K.; Nateghi, S.; Ferdyn-Grygierek, J.; Kaczmarczyk, J. (2023) Controlling and Limiting Infection Risk, Thermal Discomfort, and Low Indoor Air Quality in a Classroom through Natural Ventilation Controlled by Smart Windows. *Energies*, 16, 592, DOI: 10.3390/en16020592.
- Guyot, G. (2023) What we know about smart ventilation. Anais do 43rd AIVC - 11th TightVent - 9th venticool Conference, Copenhagen (Denmark). [www.aivc.org/sites/default/files/003.pdf](http://www.aivc.org/sites/default/files/003.pdf). Acesso em 6 de maio de 2024.
- Justo Alonso, M.; Liu, P.; Marman, S.F.; Jørgensen, R.B.; Mathisen, H.M. (2023) Holistic methodology to reduce energy use and improve indoor air quality for demand-controlled ventilation. *Energy and Buildings*, 279, 112692, DOI: 10.1016/j.enbuild.2022.112692.
- Mazuroski, W.; Berger, J.; Delinchant, B.; Wurtz, F.; Mendes, N. (2022) A technique to improve the design of near-zero energy buildings. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 44 (6), 228, DOI: 10.1007/s40430-022-03416-y.
- Morishita, C. (2020) On the assessment of potential moisture risks in residential buildings across Brazil. Tese de doutorado. Curitiba: Pontifícia Universidade Católica do Paraná. <https://archivum.grupomarista.org.br/pergamumweb/vinculos/00009a/00009a35.pdf>. Acessado em 6 de maio de 2024.
- Oke, D.O.; Fakindele, B.S.; Sonibare, J.A.; Akeredolu, F.A. (2020) Evaluation of emission indices and air quality implications of liquefied petroleum gas burners. *Heliyon*, 6(8), e04755, DOI: 10.1016/j.heliyon.2020.e04755.
- Poirier, B.; Guyot, G.; Woloszyn, M.; Geoffroy, H.; Ondarts, M.; Gonze, E. (2021) Development of an assessment methodology for IAQ ventilation performance in residential buildings: An investigation of relevant performance indicators. *Journal of Building Engineering*, 43, 103140, DOI: 10.1016/j.jobbe.2021.103140.
- Rodrigues, L.; Tubelo, R.; Vega Pasos, A.; Gonçalves, J.C.S.; Wood, C.; Gillott, M. (2020) Quantifying airtightness in Brazilian residential buildings with focus on its contribution to thermal comfort. *Building Research & Information*, 49(6), 639–660, DOI: 10.1080/09613218.2020.1825064.
- Sharma, D.; Yadav, S.; Goap, A.; Bansal, D. (2023) SmartVent: A Smart Ventilation Solution for Comfortable Indoor Environment. *IEEE Internet of Things Journal*, 10(24), 22270–22278, DOI: 10.1080/09613218.2020.1825064.
- WHO (2010) WHO guidelines for indoor air

quality: selected pollutants. World Health Organization. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/260127/9789289002134-eng.pdf?sequence=1> . Acessado em 6 de maio de 2024.

## ARTIGO

### Avaliação dos níveis de poluição do ar em um ambiente hospitalar durante a pandemia

**Gabriel G. De Barros<sup>1</sup>**

**Eduarda Santa-Helena<sup>1,2</sup>**

**Anna De Falco<sup>1</sup>**

**Carlos Leonny R. Fragoso<sup>1</sup>**

**Adriana Gioda<sup>1\*</sup>**

<sup>1</sup> Departamento de Química, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rua Marquês de São Viveiro, 225, Gávea, Rio de Janeiro, RJ, CEP 22451-900

<sup>2</sup> Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Rio Grande (FURG), Rio Grande, RS, Brasil

\*Autor correspondente: [agioda@puc-rio.br](mailto:agioda@puc-rio.br)

## RESUMO

Pesquisas sobre a qualidade do ar em ambientes internos começaram a ganhar destaque na década de 1970, especialmente no hemisfério norte, em resposta à crise energética daquela época. Para economizar energia, foram desenvolvidos edifícios "vedados", projetados para minimizar a troca de ar interno e externo. No entanto, essa abordagem resultou em uma ventilação inadequada, que aumentou significativamente os níveis de poluentes internos. Com o advento da pandemia da COVID-19, em 2020, voltou à tona a importância da ventilação para reduzir a transmissão do vírus SARS-CoV-2. Ambientes hospitalares tiveram atenção especial nesse período. Esse trabalho buscou avaliar a qualidade do ar em um hospital universitário considerando alguns parâmetros físico-químicos (material particulado (MP), CO<sub>2</sub>, temperatura e umidade relativa) definidos pela Resolução no. 9 da Anvisa. Os resultados mostraram que, dentre os parâmetros analisados, apenas o CO<sub>2</sub> atendeu aos padrões de qualidade do ar. Os demais parâmetros não estavam em concordância com as legislações devido a maior troca interna/externa recomendados pelas agências sanitárias para evitar o acúmulo de vírus e a sua transmissão. Dessa forma, a abertura de portas e janelas para aumentar a ventilação fez com que a qualidade do ar interno e externo fosse similar.

**Palavras-chave:** *Poluentes do ar, legislação, recomendações sanitárias; COVID-19, hospitais*

## ABSTRACT

*Research on indoor air quality began to gain prominence in the 1970s, especially in the northern hemisphere, in response to the energy crisis of that time. To save energy, "sealed" buildings were developed, designed to minimize the exchange of indoor and outdoor air. However, this approach resulted in inadequate ventilation, significantly increasing the levels of indoor pollutants. With the advent of the COVID-19 pandemic in 2020, the importance of ventilation to reduce the transmission of the SARS-CoV-2 virus resurfaced. Hospital environments received special attention during this period. This study aimed to evaluate the air quality in a university hospital considering some physicochemical parameters (particulate matter (PM), CO<sub>2</sub>, temperature, and relative humidity) defined by Anvisa Resolution No. 9. The results showed that, among the analyzed parameters, only CO<sub>2</sub> met air quality standards. The other parameters did not comply with the regulations due to the increased internal/external exchange recommended by health agencies to prevent virus accumulation and transmission. Thus, the opening of doors and windows to increase ventilation made the indoor and outdoor air quality similar.*

**Keywords:** *Air pollutants, legislation, health recommendations, COVID-19, hospitals.*

## INTRODUÇÃO

A qualidade do ar, desde a Revolução Industrial, tem piorado gradativamente com o passar dos anos. Segundo estudos da Organização Mundial da Saúde (OMS), praticamente, toda a população mundial (99 %) se encontra vivendo em cidades com a qualidade do ar além dos limites recomendados (WHO, 2022). Estudos sobre a Qualidade do Ar Interno (QAI), tiveram início na década de 1970, especialmente no hemisfério norte, em resposta à crise energética daquela década. Para economizar energia, foram desenvolvidos edifícios com vedação hermética, conhecidos como "edifícios selados", projetados para minimizar a troca de ar interno e externo e, assim, reduzir os custos de aquecimento e refrigeração. No entanto, essa abordagem resultou em uma ventilação inadequada, que aumentou significativamente os níveis de poluentes internos, como compostos orgânicos voláteis (COV), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), material particulado (MP) entre outros. Esses poluentes, acumulados devido à baixa renovação do ar, começaram a causar uma série de problemas de saúde entre os ocupantes dos edifícios, incluindo dores de cabeça, irritação dos olhos, nariz e garganta, e até doenças respiratórias crônicas. Em 1982, a OMS reconheceu a "Síndrome do Edifício Doente" (*Sick Building Syndrome* - SBS), descrevendo-a como uma condição na qual os ocupantes de um edifício experimentam sintomas agudos de saúde e desconforto que parecem estar ligados ao tempo passado no edifício, mas sem uma doença específica ou causa claramente identificável. Esse reconhecimento impulsionou uma série

de estudos e regulamentações para melhorar a ventilação e a qualidade do ar interior, promovendo ambientes mais saudáveis e seguros. (Schirmer *et al.*, 2011) principalmente nos países desenvolvidos, e se destacou após a descoberta de que a diminuição das taxas de troca de ar nesses ambientes era a grande responsável pelo aumento da concentração de poluentes no ar interno. Admite-se que a ventilação seja um dos principais fatores que interferem na qualidade do ar interno e que os próprios ocupantes dos edifícios contribuem substancialmente com a poluição destes ambientes através de suas atividades. Sabe-se ainda que a má qualidade do ar interno está associada a doenças (como tosse, rinite, alergia, etc.). No Brasil, em 2001 foi publicada a Resolução no. 176 pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) que estabeleceu os padrões de qualidade do ar. Essa resolução foi atualizada em 2003 (Resolução no. 9 de 16 de janeiro de 2003, Anvisa – RE 9 Anvisa). A RE 9 Anvisa recomenda o CO<sub>2</sub> como indicador da troca de ar interno/externo e o MP como indicador do grau de pureza do ar e limpeza em ambientes climatizado.

A QAI voltou a estar em evidência em 2020 com a pandemia da COVID-19 e se tornou uma grande preocupação devido à natureza altamente contagiosa do vírus SARS-CoV-2 (Pereira *et al.*, 2021) resolutions, normative guidelines and technical standards issued mainly by the National Health Surveillance Agency (ANVISA). Essa relação do vírus com o ambiente interno é extremamente pertinente, uma vez que em ambientes fechados há uma menor troca de ar e maior acúmulo da carga viral sendo mais fácil a transmissão (Júnior *et al.*, 2023). Pesquisas

mostraram que o vírus SARS-CoV-2 pode permanecer viável por mais tempo em superfícies e no ar quando associado a partículas, aumentando potencialmente a duração da exposição e a capacidade de infectar indivíduos. Devido ao alto índice de internação, os ambientes hospitalares precisaram ter controle dobrado para manter a carga viral baixa em seus ambientes utilizando filtros e sistemas de ventilação modernos e eficientes. Pelo fato de ser uma doença respiratória grave, a boa qualidade do ar em um hospital é imprescindível.

O MP é considerado pela OMS o poluente mais tóxico dentre os contaminantes do ar. Material particulado, também conhecido como partículas em suspensão, refere-se a uma mistura de partículas sólidas e gotículas líquidas encontradas no ar. A toxicidade do MP se deve aos diferentes diâmetros, tamanhos que variam da escala nanométrica até os tamanhos micrométricos, mais representativa e perigosa para a saúde humana (Seinfeld; Pandis, 2006). O material particulado de 2,5  $\mu\text{m}$ , conhecido como  $\text{MP}_{2,5}$ , consiste em partículas com diâmetros de até 2,5  $\mu\text{m}$ , frequentemente denominadas de material particulado fino (Langenbachet *al.*, 2022). Esse diâmetro é da ordem de 30 vezes menor que um fio de cabelo, sendo assim, essas partículas possuem uma alta capacidade de penetração, podendo alcançar os pulmões e penetrar na corrente sanguínea. O  $\text{MP}_{10}$  são partículas com diâmetros de até 10  $\mu\text{m}$ , possuem menor capacidade de penetração no organismo que o  $\text{MP}_{2,5}$  (Souza *et al.*, 2010). O diâmetro dessas partículas é crucial na identificação e determinação dos efeitos de sua exposição na saúde

humana e nos diversos ecossistemas existentes (Slezakova *et al.*, 2013; Lelieveld *et al.*, 2019). A exposição a concentrações de MP acima dos limites recomendados tem sérios impactos na saúde humana, particularmente nos sistemas respiratório e cardiovascular, além de aumentar o risco de câncer e outros problemas de saúde.

Em ambientes hospitalares, a qualidade do ar é ainda mais crucial devido à vulnerabilidade dos pacientes e à necessidade de um ambiente estéril. Estudos indicam que a exposição a altos níveis de MP pode piorar as condições respiratórias existentes, induzir novos problemas respiratórios, e comprometer a recuperação dos pacientes e dos funcionários. Esse estudo teve como objetivo avaliar a qualidade do ar em um ambiente hospitalar durante a pandemia. Para isso, foi monitorada a concentração de diferentes tamanhos de material particulado ( $\text{MP}_{10}$  e  $\text{MP}_{2,5}$ ) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), além de temperatura (T) e umidade relativa (UR) no hospital universitário Dr. Miguel Riet Corrêa Jr (HU-FURG/Ebserh), em Rio Grande, RS.

## MÉTODOS

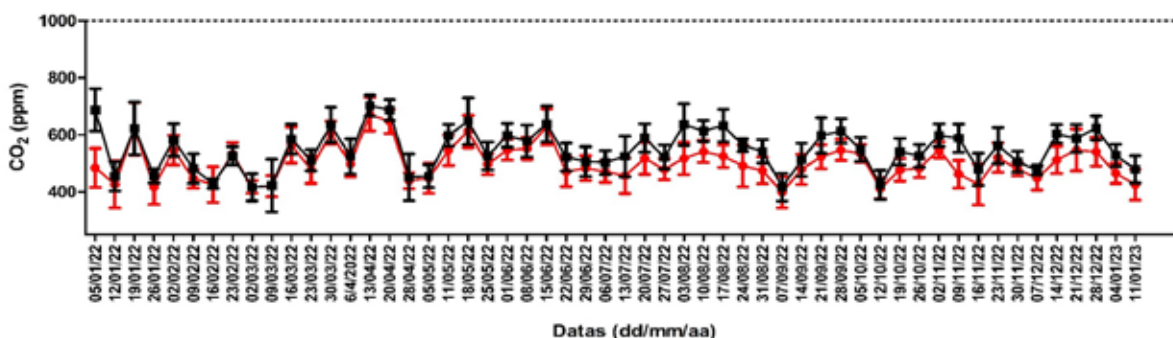
O local do estudo foi a ala de enfermagem do Hospital Universitário Dr. Miguel Riet Corrêa Jr. (HU-FURG/Ebserh), localizado na cidade de Rio Grande, RS, que estava recebendo pacientes de todas as regiões para o tratamento da COVID-19. A amostragem foi realizada na área interna e externa do hospital de janeiro de 2022 a janeiro de 2023. As amostras foram coletadas semanalmente, resultando em um total de 54 amostras de cada local.

As medidas de  $MP_{2,5}$ ,  $MP_{10}$ ,  $CO_2$ , temperatura (T) e umidade relativa (UR) foram realizadas utilizando o equipamento Temtop M2000 (2ª geração). O equipamento mede em tempo real os parâmetros a cada 1 min e registra em uma base de dados. Para a amostragem interna, o dispositivo foi posicionado na recepção localizada na ala da enfermaria. Por ser uma área de passagem junto com um corredor, o ambiente apresentava grande circulação de pessoas. Como as medições foram realizadas no ápice da pandemia, os quartos e a ala da enfermaria foram orientados a manter suas janelas e portas abertas, a fim de manter o ambiente arejado. A amostragem externa foi realizada nas proximidades da porta de entrada do hospital. Os resultados obtidos foram transferidos para o computador e analisados através de ferramentas estatísticas contidas no software GraphPad.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

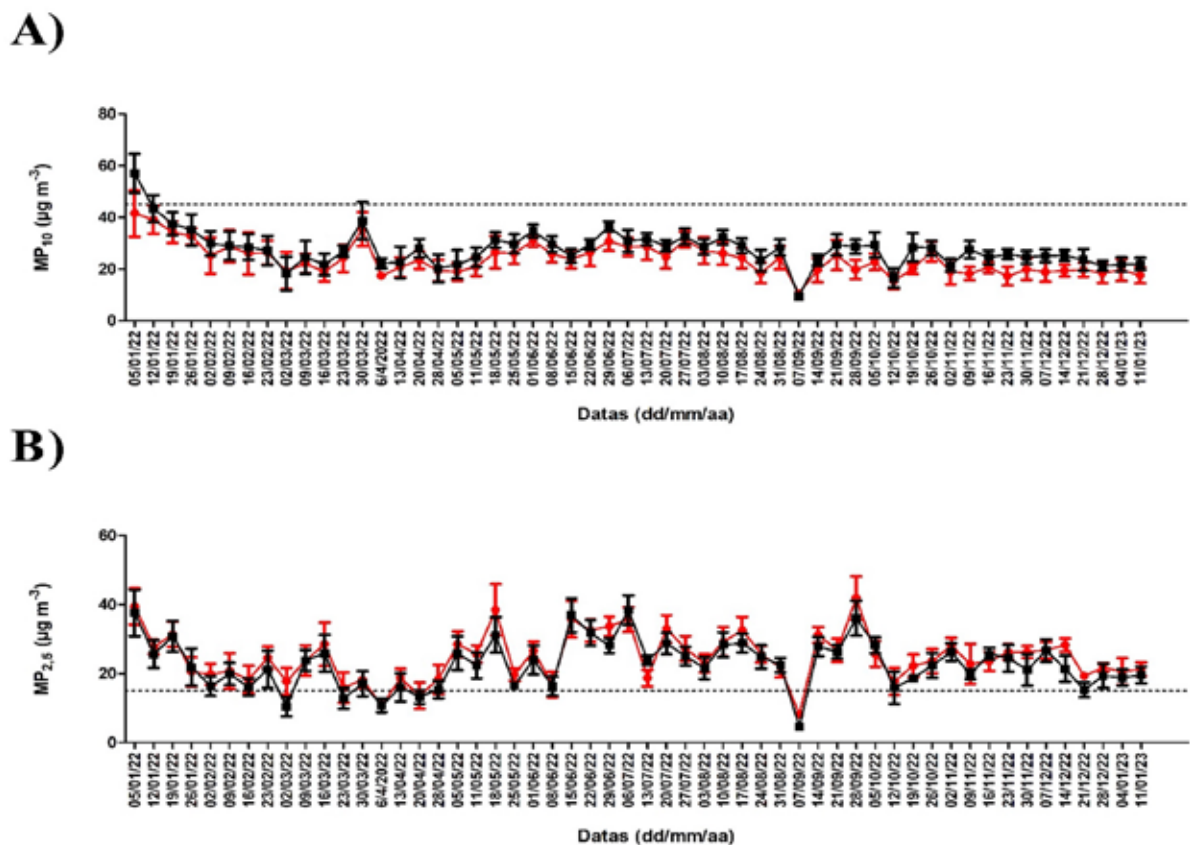
A avaliação da qualidade do ar na ala da enfermaria no período de janeiro de 2022 a janeiro de 2023 foi realizada através de medidas de  $CO_2$  e MP, além de temperatura e umidade relativa. A comparação com o ambiente externo foi usada para identificar se as fontes eram internas ou externas.

As concentrações internas de  $CO_2$  variaram de 398 a 672 ppm, enquanto as externas variaram de 416 a 702 ppm. A Figura 1 mostra a variação temporal das concentrações internas e externas. O perfil é semelhante para ambos os ambientes e não há diferença estatística entre as medidas. As concentrações internas de  $CO_2$  ficaram abaixo de 800 ppm, indicando que há renovação de ar, estando de acordo com a resolução da Resolução no. 9 da Anvisa (1000 ppm).



**Figure 1.** Concentração média semanal de  $CO_2$  (ppm) de janeiro de 2022 a janeiro de 2023 medidas na área interna (vermelho) e externa (preto) do hospital. A linha tracejada representa o limite máximo permitido pela Resolução no. 9 da Anvisa (1000 ppm).

A Figura 2 mostra a variação temporal das concentrações de material particulado. O valor máximo de aerodispersóides totais no ar, que corresponde ao  $MP_{10}$ , é de  $80 \mu\text{g m}^{-3}$ , segundo a RE 9 da Anvisa. Nesse estudo também foram comparadas as concentrações de  $MP_{2,5}$  e  $MP_{10}$  com os limites diários da OMS, ou seja,  $15 \mu\text{g m}^{-3}$  para  $MP_{2,5}$  e  $45 \mu\text{g m}^{-3}$  para  $MP_{10}$ .



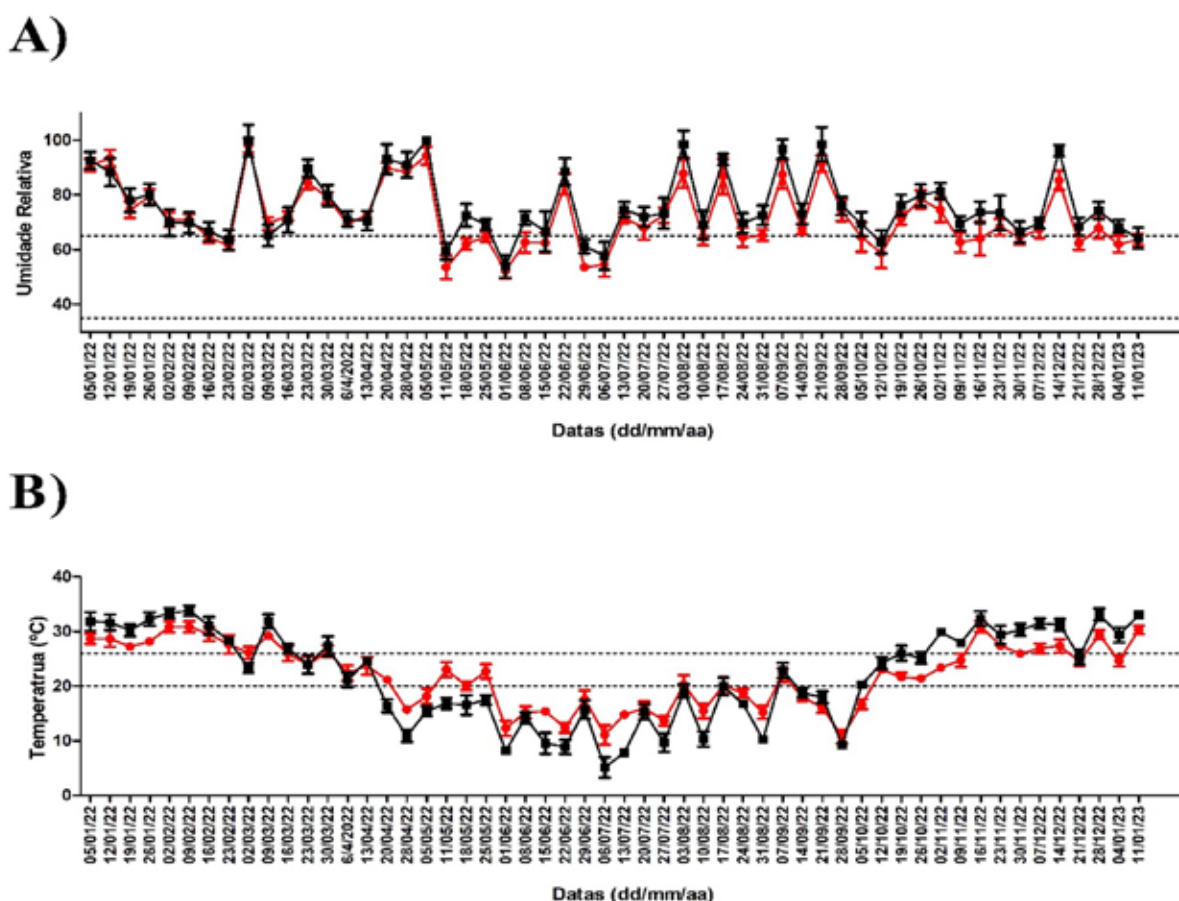
**Figure 2.** Concentração média semanal de (A)  $MP_{10}$  ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) e (B)  $MP_{2,5}$  ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) de janeiro de 2022 a janeiro de 2023 medidas na área interna (vermelho) e externa (preto) do hospital. A linha tracejada representa o limite máximo permitido pela OMS,  $MP_{10}$  é de  $45 \mu\text{g m}^{-3}$  e  $MP_{2,5}$  é de  $15 \mu\text{g m}^{-3}$ .



As concentrações de  $MP_{10}$  variaram de 9 a  $57 \mu\text{g m}^{-3}$  na área externa, e de 10 a  $42 \mu\text{g m}^{-3}$  na interna (Fig. 2A). A área externa teve alguns dias com limites acima dos recomendados pela OMS. Em ambos os ambientes o comportamento foi similar não apresentando diferença estatística. O  $MP_{2,5}$  na área externa variou de 4 a  $38 \mu\text{g m}^{-3}$  e de 8 a  $42 \mu\text{g m}^{-3}$  na interna (Fig. 2 B). Na maior

parte dos dias, as concentrações de  $MP_{2,5}$  ficaram acima do limite sugerido tanto no ambiente interno como externo, indicando riscos à população exposta.

A Figura 3 mostra a variação da umidade relativa e da temperatura ao longo dos meses de estudo.



**Figure 3.** Variação da (A) umidade relativa (UR) e (B) temperatura (T) medidas de janeiro de 2022 a janeiro de 2023 medidas na área interna (vermelho) e externa (preto) do hospital. A linha tracejada representa o limite máximo permitido pela Resolução no. 9 da Anvisa.

De acordo com a resolução, a faixa recomendável para UR no verão é de 40 % a 65 % e no inverno de 35 % a 65 %. A UR média anual interna foi de 68,6 %, enquanto a externa foi de 74,0 % nesse período. Pelo gráfico observa-se que em muitos dias a UR interna esteve acima de 70 %, indicando uma não conformidade. Os valores mais baixos de umidade são observados entre os meses de maio e julho, durante o período de inverno, que é mais seco. Ambientes úmidos são propícios ao crescimento de mofo e fungos. Esses micro-organismos podem liberar esporos e micotoxinas no ar, que podem ser inalados, causando problemas respiratórios, alergias e outras doenças. Além disso, a exposição prolongada a altos níveis de umidade pode exacerbar condições respiratórias preexistentes, como asma e bronquite.

A temperatura mínima na área interna foi de 10,7 °C e máxima de 30,9 °C e a externa foi de 5,1 °C e máxima de 33,9 °C (Fig. 3B). Nota-se que as temperaturas mais quentes foram em janeiro e fevereiro e as mais frias em junho e julho, como esperado por serem meses de verão e inverno, respectivamente. A faixa recomendável de T nas condições internas para verão é de 23 °C a 26 °C, e no inverno de 20 °C a 22 °C. As temperaturas estiveram fora das faixas recomendadas tanto no inverno quanto no verão. Assegurar que a temperatura esteja dentro da faixa recomendada é crucial para o conforto, a saúde e a eficiência energética dos ambientes internos.

Esse é um estudo inédito neste hospital e mostrou a importância do monitoramento contínuo da qualidade do ar. Os indicadores de qualidade do

ar são imprescindíveis para nortear ações preventivas e remediativas em um ambiente e assim mantê-lo saudável para os pacientes e as equipes.

## CONCLUSÕES

Nesse estudo foi realizado o monitoramento da qualidade do ar na ala da enfermaria do Hospital Universitário da FURG durante o período de pandemia. Os resultados mostraram que a faixa de concentrações de  $MP_{10}$ ,  $MP_{2,5}$  e  $CO_2$  foram similares tanto no ambiente interno quanto externo. O mesmo comportamento se observou para T e UR. Essa similaridade pode ser explicada pelo fato de ter sido em um momento pandêmico onde a abertura de portas e janelas era recomendado. Dessa forma, qualidade do ar apresentava características similares. Por um lado foi bom, pois os níveis de  $CO_2$  foram mais baixos que os recomendados, indicando troca de ar interno/externo adequado. Por outro lado, os níveis de  $MP_{2,5}$  foram maiores que os recomendados pela OMS, colocando risco os pacientes expostos. Além disso, a T e UR estavam fora dos padrões podendo causar desconforto aos ocupantes do local. O monitoramento da qualidade do ar em ambiente hospital é imprescindível para a boa saúde dos pacientes e funcionários.

## AGRADECIMENTOS/FINANCIAMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) - código de financiamento 001. Os autores agradecem

a FAPERJ e CNPq pelo financiamento. A.D.F. e E.S.H. gostariam de agradecer à FAPERJ pelas bolsas de pós-doutorado e auxílio científico (E\_02/2016 - CNM -MCTI/FINEP/FNDCT/FAPERJ-2017). G.G.d.B. agradece à FAPERJ pela bolsa de iniciação científica (E-26/ SEI-260003/012358/2021). A.G. gostaria de agradecer ao CNPq pela Bolsa de Produtividade e à FAPERJ pelo auxílio Cientista do Nosso Estado. Os autores gostariam de agradecer todos os membros do Laboratório e o Hospital Universitário Dr. Miguel Riet Corrêa Jr. (HU-FURG/Ebserh) por terem permitido o desenvolvimento do projeto.

## COLABORAÇÕES

Gabriel G. De Barros - Escrita do artigo/análise/tratamento de dados: <https://orcid.org/0000-0003-0983-2623>

Eduarda Santa Helena – Coorientação, coletas, escrita e revisão <https://orcid.org/0000-0003-3286-8771>

Anna De Falco - Coorientação, escrita e revisão-<https://orcid.org/0000-0001-9549-2711>

Carlos Leonny R. Fragoso - Tratamento estatístico-<https://orcid.org/0000-0001-9495-3889>

Adriana Gioda – Orientação e revisão do artigo - <https://orcid.org/0000-0002-5315-5650>

## CONFLITO DE INTERESSES

Os autores não têm conflitos de interesses financeiros ou não financeiros a serem declarados.

## REFERÊNCIAS

ANVISA. 2003. Resolução-RENo9, de 16 de Janeiro de 2003. Revisa e atualiza a RE/ANVISA No 176, de 24 de outubro de 2000, sobre Padrões Referenciais de Qualidade do Ar Interior em Ambientes Climatizados Artificialmente de Uso Público e Coletivo. 2003: 1-1. [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2003/rdc0009\\_16\\_01\\_2003.html](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2003/rdc0009_16_01_2003.html). Acessado em 1 abril 2024.

Júnior, M.E.dos R.; De Paula; L.D.R.; Rosa, D.de J.Q. (2023). Engenharia civil e a criação de ambientes hospitalares promotores da prevenção de infecções: fatores de projeto em foco, 2023. <https://periodicos.famig.edu.br/index.php/parametrica/article/view/436>. Acessado em 30 março 2024.

Langenbach, T.; Alfredo, H. M.; Maize, M. C.; De Falco, A.; Aucélio, R.; Campos, T.M. e Caldas, Q. A.L.; (2022). The use of hedgerows to mitigate pesticide exposure of a population living in a rural area. *Integrated Environmental Assessment and Management* 18 (1): 19-24. DOI:[10.1002/ieam.4452](https://doi.org/10.1002/ieam.4452).

Lelieveld, J., Klingmüller, K., Pozzer, A., Pöschl, U., Fnais, M., Daiber, A. and Münzel, T. (2019). Cardiovascular disease burden from ambient air pollution in Europe reassessed using novel hazard ratio functions. *European Heart Journal*, 40(20). DOI:[10.1093/eurheartj/ehz135](https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehz135)

Pereira, M. V.E.; Machado, L.; Duarte, W.M.; Cançado, K.N.; (2021). Inovação Tecnológica: Os novos rumos da Engenharia Mecânica e Industrial. *Qualidade Do Ar Em Ambiente Hospitalar No Contexto Da Covid-19 Sob A Perspectiva Da Norma NBR ABNT 7256/2021*". In , 1-11. São Paulo: Anais do XXII CONEMI - Congresso Internacional de Engenharia Mecânica e Industrial. <https://www.even3>.

com.br/anais/xxiiconemi/568604-qualidade-do-ar-em-ambiente-hospitalar-no-contexto-da-covid-19-sob-a-perspectiva-da-norma-nbr-abnt-72562021/. Acessado em 2 abril 2024.

Schirmer, W.N., Pian, L.B., Szymanski, M.S.E. and Gauer, M.A. (2011). A poluição do ar em ambientes internos e a síndrome dos edifícios doentes. *Ciência & Saúde Coletiva*, [online] 16, pp.3583–3590. DOI:[10.1590/S1413-81232011000900026](https://doi.org/10.1590/S1413-81232011000900026)

Seinfeld, J, e Spyros, N. P. (2006). *Atmospheric Chemistry And Physics From Air Pollution To Climate Change*. John Wiley & Sons, Inc. 2º ed. New Jersey: JOHN WILEY & SONS, INC. <https://download.e-bookshelf.de/download/0000/7532/93/L-G-0000753293-0002366430.pdf>. Acessado em 2 março 2024.

Slezakova, K., Morais, S. and Carmo Pereir, M. (2013). Atmospheric Nanoparticles and Their Impacts on Public Health. *Current Topics in Public Health*. [online] DOI:<https://doi.org/10.5772/54775>

Souza, P.; Mello, W.R.M.; e Sella,S. (2010). Caracterização Do Material Particulado Fino E Grosso E Composição Da Fração Inorgânica Solúvel Em Água Em São José Dos Campos (SP). *Química Nova*, fevereiro. <https://www.scielo.br/j/qn/a/kQfNG6NsTrPNMNkVNYfs4ZM/?format=pdf&lang=pt>. Acessado em 2 abril 2024.

Vanetti, M.D., Oliveira, C.D.C., Almeida, B.C. and Vanetti, M.C.D. (2020). Bioaerossóis em ambientes hospitalares. *Boletim do Curso de Medicina da UFSC*, 6(2), pp.24–30. DOI: 10.32963/bcmufsc.v6i2.4346

WHO, World Health Organization (2022). Over 6000 cities now monitor air quality. <https://www.who.int/news/item/04-04-2022-billions-of-people-still-breathe-unhealthy-air-new-who-data>. Acessado em 2 abril 2024.

## ARTIGO

### Avaliação da qualidade do ar de interiores (QAI) em ambientes de uma instituição de ensino superior (IES)

**Luiz Felipe de M. C. Da Silva<sup>1</sup>**

**Pedro Emanuel Tosato<sup>1</sup>**

**Robson Petroni<sup>2</sup>**

**Leonardo Cozac<sup>2</sup>**

**Nelzair Vianna<sup>3</sup>**

**Adriana Gioda<sup>1\*</sup>**

<sup>1</sup>Departamento de Química, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rua Marquês de São Vicente, 225, Gávea, Rio de Janeiro, RJ, CEP: 22451-900

<sup>2</sup>Conforlab Engenharia Ambiental, localizado à Rua Baronesa de Bela Vista, 475 – Vila Congonhas, São Paulo/SP

<sup>3</sup>FIOCRUZ – Laboratório de Epidemiologia Molecular e Bioestatística. Rua Waldemar Falcão, 121, Candeal, CEP 40296-210 Salvador-Bahia

\*Autor correspondente: [agioda@puc-rio.br](mailto:agioda@puc-rio.br)

## RESUMO

A má qualidade do ar em ambientes fechados pode causar muitos danos à saúde. Em se tratando de ambientes internos de universidades, a presença de poluentes pode afetar a concentração e o desempenho dos alunos e profissionais. Este estudo teve como objetivo monitorar os níveis de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), formaldeído (HCHO), material particulado (MP), fungos, bactérias e também os parâmetros físicos, temperatura e umidade relativa em ambientes internos da PUC-Rio (biblioteca, sala de aula, restaurante universitário e laboratório de pesquisa). Também foi monitorado o ambiente externo para fins de comparação. O monitoramento foi realizado durante os meses de novembro de 2023 e abril de 2024 utilizando sensores de medição em tempo real para os poluentes químicos e coletores ativos para material biológico. Os resultados mostraram a presença de fungos e bactérias e o acúmulo de CO<sub>2</sub> nos locais mais densamente ocupados e sugerem que os sistemas de renovação do ar são ineficientes. Algumas medidas foram sugeridas para a melhoria da qualidade do ar nesses ambientes.

**Palavras-chaves:** Qualidade do ar interno; ventilação do ar; saúde; monitoramento; legislação; desempenho acadêmico

## ABSTRACT

*Poor indoor air quality can cause many health issues. In university environments, the presence of pollutants can affect the concentration and performance of students and professionals. This study aimed to monitor the levels of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), formaldehyde (HCHO), particulate matter (PM), fungi, bacteria, and also the physical parameters, temperature, and relative humidity in indoor environments at PUC-Rio (library, classroom, university restaurant, and research laboratory). Outdoor was also monitored for comparison purposes. Monitoring was conducted during the months of November 2023 and April 2024 using real-time sensors for chemical pollutants and active collectors for biological material. The results showed the presence of fungi and bacteria and the accumulation of CO<sub>2</sub> in the most densely occupied locations, suggesting that the air renewal systems are inefficient. Some measures were suggested to improve air quality in these environments.*

**Keywords:** *Indoor air quality; air ventilation; health; monitoring; legislation; academic performance*

## INTRODUÇÃO

O termo qualidade do ar de interiores (QAI) refere-se à condição do ar presente em residências, edifícios, restaurantes, escritórios, escolas, faculdades, ou seja, ambientes fechados. A presença de determinados poluentes acima das concentrações recomendadas, como formaldeído (HCHO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), ozônio (O<sub>3</sub>) e material particulado (MP<sub>1,0</sub>; MP<sub>2,5</sub>; MP<sub>10</sub>) está associado ao desencadeamento de diversas doenças e na Síndrome dos Edifícios Doentes (SED) (Schirmer *et al.*, 2011). Diversos estudos têm associado a baixa qualidade do ar interno com diminuição na concentração e produtividade dos indivíduos, além de maior incidência de reações alérgicas e problemas respiratórios (Saleem *et al.*, 2020; Herrera *et al.*, 2011).

Nesse contexto, a Resolução nº 9 de 16 de janeiro de 2003 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) (RE 9 Anvisa, Brasil, 2003) estabeleceu Padrões Referenciais de Qualidade do Ar Interior em ambientes climatizados de uso público e coletivo. Essa resolução estipulou valores limites de poluentes físico-químicos (CO<sub>2</sub> e material particulado) e microbiológicos (fungos), além de parâmetros físicos (temperatura, umidade relativa e velocidade do ar). A Resolução considera o CO<sub>2</sub> um indicador da taxa de renovação do ar interior, recomendado para conforto e bem-estar. Os aerodispersóides totais no ar, partículas líquidas ou sólidas, são usados como indicador do grau de pureza do ar e limpeza do ambiente climatizado.

A exposição crônica ao CO<sub>2</sub> tem sido

associada a diversos problemas de saúde. Estudos constataram que exposição a níveis superiores a 800 ppm em ambiente interno desse gás resultou no aumento de casos de irritação ocular e doenças do sistema respiratório entre trabalhadores de escritórios (Azuma *et al.*, 2018; Vehviläinen, *et al.*, 2016). Outros autores observaram que exposições de curto e médio prazo para concentrações superiores a 1000 ppm estão relacionadas ao aumento do ritmo cardíaco, dores de cabeça, alergias e diminuição na produtividade dos indivíduos (Wei *et al.*, 2020; Azuma *et al.*, 2018 e Satish, *et al.*, 2012).

O material particulado (MP) é uma mistura complexa de partículas sólidas com diferentes tamanhos. Para avaliação da qualidade do ar são considerados os diâmetros aerodinâmicos de 2,5 (MP<sub>2,5</sub>) e 10 (MP<sub>10</sub>) micrometros (µm). Devido ao seu tamanho diminuto e composição química variada, é capaz de penetrar na corrente sanguínea e atingir órgãos vitais, como coração, pulmão e cérebro e desencadear diversos problemas a saúde humana, que podem ser intensificados por longos períodos de exposição. As principais fontes desses poluentes no ambiente interno são relativas a atividades como varrer, limpar, cozinhar e infiltrações do ar externo.

A presença de agentes microbiológicos, como bactérias e fungos, está fortemente relacionada aos parâmetros físicos, umidade, temperatura e taxa de renovação do ar. Dessa maneira, os ambientes climatizados fora das normas técnicas e hermeticamente fechados podem oferecer riscos à saúde humana quando os sistemas de ventilação, filtração

e renovação do ar interno não forem eficientes e devidamente inspecionados. A RE 9 Anvisa considera contaminação por fungos quando em um ambiente interno a relação Interno/Externo for igual ou maior 1,5 ou concentração maior que 750 UFC m<sup>-3</sup>. A maioria dos fungos são saprófitas de vida livre que vivem no meio ambiente. Eles participam dos ciclos geoquímicos globais e são componentes-chave de um ecossistema saudável, entretanto um número limitado pode causar doenças graves (Sun *et al.* 2004). Os mais comuns são *Aspergillus*, *Candida*, *Criptococcus*, fungos dimórficos (*Coccidioides*), *Pneumocystis*, *Cladosporium* e *Penicillium*. As alterações climáticas têm favorecido o surgimento de novos fungos patogênicos e podem estar associados a tipos de doenças diferentes daqueles que estamos familiarizados hoje. Fungos patogênicos normalmente causam diferentes doenças, dependendo do órgão afetado e do curso da infecção, como por exemplo criptococose, histoplasmose (causada por *Histoplasma capsulatum*), coccidioidomicose (causada por *Coccidioides spp.*) e aspergilose (causada por *Aspergillus spp.*), que são doenças distintas resultantes de diferentes tipos das interações hospedeiro-micróbio (Casadevall, *et al.* 2023).

A qualidade do ar interno é crucial em ambientes universitários devido ao grande número de pessoas que passam muitas horas em salas de aula, bibliotecas, laboratórios e outras instalações. A exposição prolongada a poluentes do ar interno pode levar a problemas de saúde, como doenças respiratórias, alergias, e até mesmo comprometimento cognitivo, afetando o desempenho acadêmico e o

bem-estar geral. Através de monitoramento contínuo e implementação de estratégias eficazes de mitigação, é possível criar ambientes internos mais saudáveis e produtivos.

A fim de compreender o nível de exposição dos alunos e funcionários da PUC-Rio a poluentes do ar em ambientes fechados foi proposto esse monitoramento. O objetivo deste estudo foi quantificar os diferentes parâmetros da qualidade do ar interno - concentrações de material particulado (MP<sub>2,5</sub> e MP<sub>10</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), formaldeído (HCHO), fungos, além de temperatura (T) e umidade relativa (UR), a fim de compreender o perfil temporal e propor alternativas de remediação, caso necessário. Esse é o primeiro estudo realizado na Instituição e servirá para nortear estratégias para outros ambientes do campus.

## MÉTODOS

Nesse estudo foi realizado o monitoramento da qualidade do ar em quatro locais da PUC-Rio. Os locais de amostragem foram selecionados devido ao fluxo e permanência de alunos e funcionários, são eles: 1) biblioteca; 2) laboratório de Química e 3) sala de aula e 4) refeitório (bandeirão). Amostras ao ar livre também foram tomadas para fins de comparação. Nesses pontos as amostragens aconteceram por um período médio de 2 horas. A biblioteca é uma sala de estudos climatizada (ar condicionado split e ventiladores) com aproximadamente 90 m<sup>2</sup>. O laboratório de Química é utilizado para pesquisa, com cerca de 60 m<sup>2</sup> e



localizado no subsolo; é climatizado com splits e sistema de exaustão utilizado nas atividades laborais (capela); compartilhado por alunos de graduação e pós-graduação. A sala de aula possui cerca de 10 m<sup>2</sup> e um split para climatização. O restaurante universitário funciona no subsolo de um dos prédios da PUC-Rio, com cerca 120 m<sup>2</sup>, possui vários splits e ventiladores e é utilizado por alunos e funcionários. O monitoramento ao ar livre foi realizado nas dependências externas da PUC-Rio.

Utilizou-se o medidor da qualidade do ar TEMTOPm2000, previamente calibrado, para medição em tempo real da concentração de material particulado (MP<sub>2,5</sub> e MP<sub>10</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), formaldeído (HCHO), além de temperatura (T) e umidade relativa (UR) do ar. As medidas foram tomadas a cada 1 minuto resultando em aproximadamente 120 medidas (n = 120) por parâmetro para cada ponto. Os dados foram registrados no equipamento e após a amostragem foram transferidos para o computador para as análises estatísticas.

Durante a amostragem, registrou-se para cada ponto o número de pessoas presentes e as características do sistema de ventilação (ar condicionado, janelas, ventiladores, sistemas de exaustão e etc.). O equipamento foi mantido a altura de 1,5 m do chão próximo ao centro da sala e longe de paredes e outros obstáculos que pudessem interferir nas medidas.

O procedimento de amostragem de ar para análise da concentração de bactérias e fungos viáveis foi realizado utilizando-se uma bomba de sucção de ar calibrada, com fluxo de 28,3 L min<sup>-1</sup>, um tripé com

altura de 1,5 m, um impactador modelo Andersen e uma placa de Petri com meio de cultura seletivo. Para amostragem de bactérias utilizou-se placa de Petri confeccionada com meio de cultura PCA (Plate Count Agar), enquanto que para amostragem de fungos viáveis utilizou-se placa de Petri confeccionada com meio de cultura SDA (Sabouraud Dextrose Agar). A amostragem de fungos e bactérias foi realizada de maneira independente, sempre com amostragem de bactérias antes da amostragem de fungos viáveis. Antes de cada amostragem, realizou-se a limpeza e higienização do amostrador (impactador de Andersen) com álcool etílico comercial 70 % v/v e papel toalha.

Durante a manipulação das placas de Petri e procedimento de amostragem utilizou-se luvas higienizadas com álcool etílico comercial 70 % v/v. Após coletadas, as amostras foram acondicionadas em caixas de isopor previamente limpas e higienizadas e encaminhadas para análise ao laboratório de microbiologia em São Paulo, por transporte aéreo. As análises laboratoriais foram desenvolvidas conforme procedimento descrito na Norma Técnica 001 da RE 9 Anvisa, com incubação a (25 ± 2) °C por 7 dias. Amostras de bactérias foram analisadas conforme norma ABNT 17037/2023, com incubação a (35 ± 2) °C por (48 ± 3) horas. Ao término do período de incubação fez-se a contagem do número de colônias em cada placa de Petri para cálculo da concentração de microrganismos no ar em UFC m<sup>-3</sup>.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### *Parâmetros físico-químicos*

As concentrações de CO<sub>2</sub>, MP<sub>2,5</sub>, MP<sub>10</sub>, HCHO e os parâmetros físicos de temperatura e umidade relativa dos locais monitorados na PUC-Rio estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Concentração média e desvio padrão de material particulado (MP<sub>2,5</sub> e MP<sub>10</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), formaldeído (HCHO), além de temperatura (T) e umidade relativa (UR) para os locais monitorados na PUC-Rio.

Local	CO <sub>2</sub> (ppm)	MP <sub>10</sub> (µg m <sup>-3</sup> )	MP <sub>2,5</sub> (µg m <sup>-3</sup> )	HCHO (mg m <sup>-3</sup> )	T (°C)	UR (%)
Ar livre	511±11	10 ± 7	6 ± 4	0,0010 ± 0,0004	28 ± 1	75 ± 1
Biblioteca	3.415 ±259	3 ± 2	2 ± 1	0,01 ± 0,003	25 ± 1	71 ± 6
Laboratório	890 ± 55	42 ± 7	27 ± 6	0,06 ± 0,01	26 ± 1	80 ± 5
Sala de aula	1.147± 301	15 ± 2	10 ± 2	0,009 ± 0,004	24 ± 2	63 ± 7
Restaurante Universitário	1.584 ±735	20 ±8	12 ± 5	0,010 ± 0,010	25 ± 1	83 ± 4
Valores de referência  (Anvisa, 2003)	1000	80*	-	-	23 a 26 (verão)  20 a 22 (inverno)	40 a 65 (verão)  35 a 65 (inverno)

\*A Resolução estabelece como valor máximo 80 µg m<sup>-3</sup> de aerodispersóides totais no ar, que é considerado como MP<sub>10</sub>.

A concentração média de  $\text{CO}_2$  ao ar livre foi de 511 ppm, de  $\text{MP}_{2,5}$  e  $\text{MP}_{10}$  foram de  $6 \mu\text{g m}^{-3}$  e  $10 \mu\text{g m}^{-3}$ , respectivamente. Os valores médios de temperatura e umidade relativa registrado foram, nessa ordem, de  $28^\circ\text{C}$  e 75 %. Para parâmetros externos não há padrão de qualidade do ar para  $\text{CO}_2$ , HCHO, T e UR. No Brasil o  $\text{MP}_{2,5}$  e  $\text{MP}_{10}$  no ar externo são legislados pela Resolução CONAMA No. 491 de 19 de novembro de 2018. As concentrações de  $\text{MP}_{2,5}$  em 24 h não devem ultrapassar  $60 \mu\text{g m}^{-3}$  e para  $\text{MP}_{10}$   $120 \mu\text{g m}^{-3}$ . A Organização Mundial da Saúde (OMS), em 2021, atualizou as diretrizes globais de qualidade do ar para  $\text{MP}_{2,5}$ ,  $\text{MP}_{10}$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  e CO sem distinção entre os níveis internos e externos (WHO, 2021). Os níveis foram reduzidos para  $15 \mu\text{g m}^{-3}$  ( $\text{MP}_{2,5}$ ) e  $45 \mu\text{g m}^{-3}$  ( $\text{MP}_{10}$ ) para uma média de 24 h. No ambiente externo da universidade os níveis de MP estavam abaixo dos recomendados pelas duas agências.

Durante o período de amostragem na biblioteca estiveram nesse local o máximo de 35 pessoas ao mesmo tempo. A concentração média de  $\text{CO}_2$  foi de 3.554 ppm, com picos acima de 4.000 ppm após o horário do almoço (13 h-15 h) devido ao maior número de usuários. Durante todo o monitoramento o ar condicionado esteve ligado e as janelas e portas fechadas. Estudos mostram que a capacidade dos sistemas de climatização na renovação do ar em ambientes fechados é proporcional ao número de pessoas presentes. Portanto, os picos de  $\text{CO}_2$  acima de 4.000 ppm sugerem ineficiência dos sistemas de renovação de ar, quando comparados ao valor de referência ( $\text{CO}_2 < 1000$  ppm). Por outro lado, os níveis de MP foram baixos não ultrapassando os limites recomendados da

Anvisa e da OMS. A umidade relativa média 67 % esteve levemente acima dos valores de referência.

O laboratório de pesquisa de Química funciona com portas e janelas fechadas e ar condicionado ligado para manutenção dos equipamentos. No dia da amostragem o laboratório foi utilizado por poucas pessoas (máximo de 3 pessoas). As concentrações médias para o material particulado foram de  $42 \mu\text{g m}^{-3}$  e  $27 \mu\text{g m}^{-3}$  para o  $\text{MP}_{10}$  e  $\text{MP}_{2,5}$ , respectivamente. Os valores médios estão acima dos recomendados pela OMS para ambos os tamanhos de partículas. No entanto, a concentração média de  $\text{MP}_{10}$  não ultrapassa a RE 9 Anvisa. A razão entre concentrações internas e externas apontam que as fontes de MP são internas, uma vez que as concentrações foram maiores do laboratório. Dessa forma, é necessário investigar quais são as fontes para fazer a remediação, uma vez que os níveis médios, principalmente de  $\text{MP}_{2,5}$ , estão acima dos recomendados e podem desencadear problemas de saúde. A temperatura média registrada foi de  $25^\circ\text{C}$ , estando dentro do aceitável, enquanto que o valor médio da umidade relativa (80 %) ultrapassou o limite sugerido pela resolução. Os valores de  $\text{CO}_2$  não ultrapassaram o limite estipulado pela Anvisa.

A sala de aula funcionou durante todo o período com ar condicionado e portas e janelas fechadas. Durante a coleta aproximadamente 10 pessoas estiveram no local ao mesmo tempo. A concentração média de  $\text{CO}_2$  no interior da sala de aula durante a amostragem foi de 1.147 ppm, atingindo picos de mais de 1.500 ppm quando com a capacidade máxima. Esses

valores mostram que a renovação do ar não estava sendo realizada de forma eficiente. Os demais parâmetros não ultrapassaram os limites recomendados.

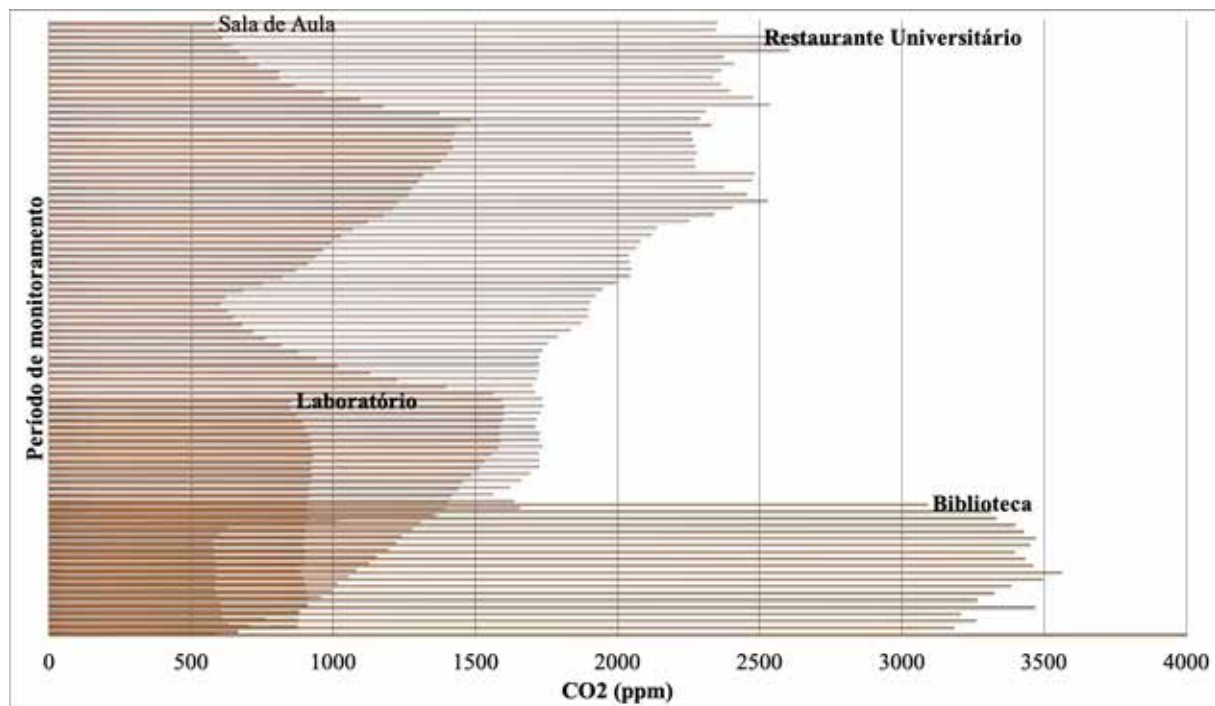
No restaurante universitário também os níveis de CO<sub>2</sub> foram maiores que os recomendados pela RE 9 Anvisa, novamente indicando taxa de renovação do ar inadequada. Durante a amostragem 4 splits estavam ligados e 4 desligados. As janelas estavam fechadas e os ventiladores também desligados, reduzindo a possibilidade de renovação. A umidade relativa também estava acima dos valores recomendados pela RE 9 Anvisa.

O HCHO não tem limite pela RE 9 Anvisa, mas a OMS sugere 0,100 mg m<sup>-3</sup> e nos locais amostrados a concentração ficou abaixo desse valor (WHO, 2010). Na maioria dos locais a umidade relativa ficou acima do recomendado, devido a influência externa. Diversos autores associam altos níveis de umidade relativa e temperatura à contaminação microbológica e efeitos adversos à saúde. O CO<sub>2</sub> foi o poluente que extrapolou os padrões recomendados.

A Figura 1 mostra o perfil temporal da concentração de CO<sub>2</sub> nos pontos de coleta durante o monitoramento. O acúmulo de CO<sub>2</sub> verificado na biblioteca e na sala de aula, onde há maior permanência de alunos por períodos longos (< 1 h), sugere sistemas de ventilação e renovação do ar interno ineficientes para a quantidade de indivíduos presentes nesses locais, de modo que se verificou concentração desse poluente até três vezes maior que o valor recomendando pela Anvisa (1.000 ppm). O tamanho das salas, a densidade de pessoas, o sistema

de ventilação e as condições climáticas do ar externo não permitiram que o arejamento desses compartimentos reduzisse as concentrações de CO<sub>2</sub> a valores aceitáveis.

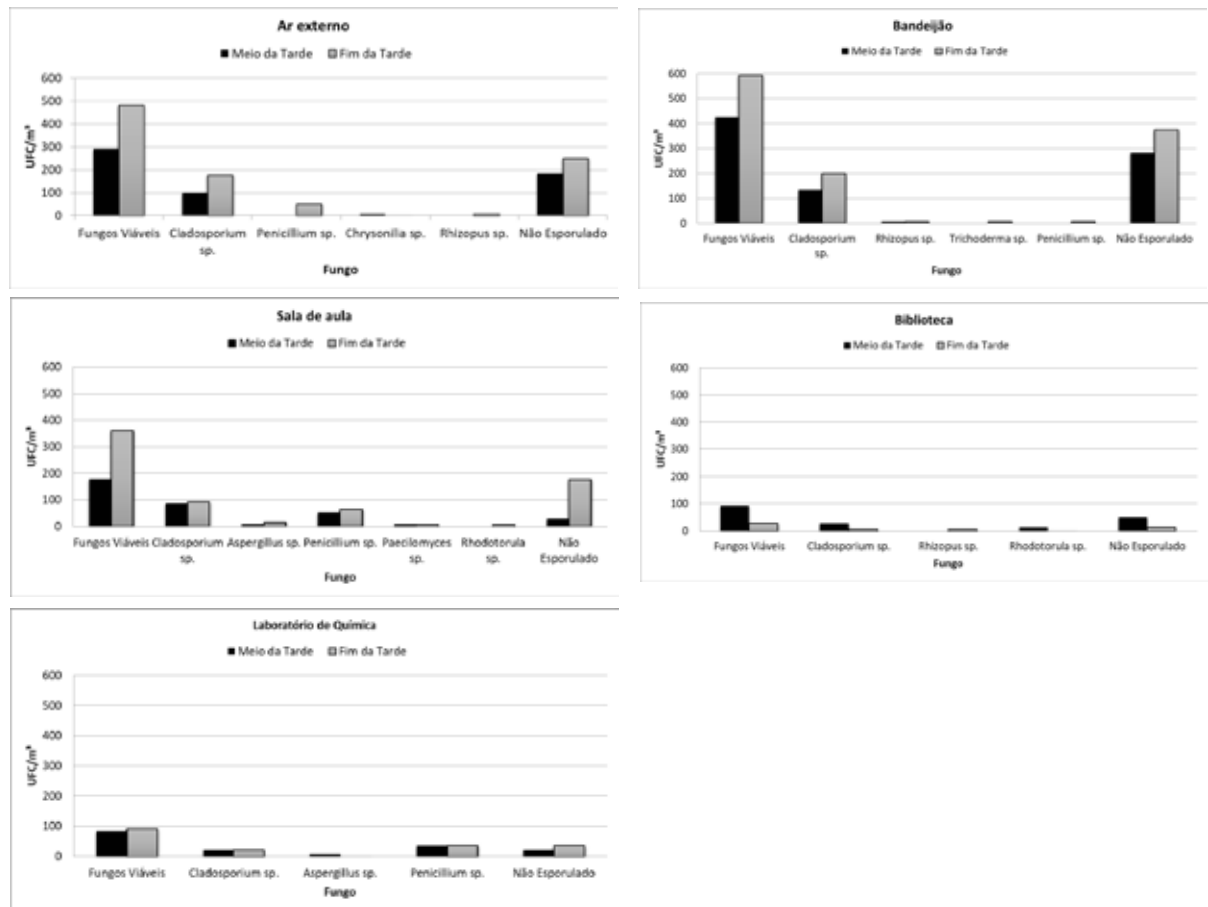
Estudos mostram que exposição ao CO<sub>2</sub> na faixa de 1.000 ppm a 2.000 ppm, mesmo em períodos curtos, pode ocasionar dores de cabeça, fadiga, sonolência e aumento da frequência cardíaca; valores acima de 5.000 ppm podem levar a privação de oxigênio e, conseqüentemente, a perda da consciência (Azuma *et al.*, 2018). Estudos similares constaram o aparecimento de crises de espirros, rinite alérgica e tosse em pessoas submetidas a concentrações de CO<sub>2</sub> além do recomendado (Azuma *et al.*, 2018). Nesse viés, outros autores verificaram que a falta de concentração está associada a concentrações superiores a 980 ppm de CO<sub>2</sub> no interior de salas de aula (Morais *et al.*, 2010). Segundo esses autores, crianças expostas a esses níveis de CO<sub>2</sub> têm falta de concentração até 2,4 vezes maior do que crianças não expostas.



**Figura 1.** Perfil da concentração de CO2 (ppm) na biblioteca, na sala da aula, no laboratório de pesquisa e no restaurante universitário da PUC-Rio.

### Poluentes microbiológicos

Com relação aos agentes microbiológicos o monitoramento feito ao ar livre serviu como parâmetro para análise nos demais compartimentos. No ambiente externo foram detectadas a presença das espécies *Cladosporium sp.* (177 UFC m<sup>-3</sup>), *Rhizopus sp.* (7 UFC m<sup>-3</sup>) e *Penicillium sp.* (50 UFC m<sup>-3</sup>), que são gêneros de fungos raramente patogênicos a seres humanos e comumente encontrados ao ar livre. Observou-se aumento na presença desses microorganismos no decorrer do dia, conforme evidenciado na Figura 2



**Figura 2.** Presença de espécies fúngicas presentes no ar dos diferentes ambientes da PUC-Rio no início e final da tarde.

As análises de agentes microbiológicos na biblioteca revelaram a presença das espécies fúngicas *Cladosporium sp.*, *Rhodotorula sp.* e não esporulado, além de fungos viáveis. Um maior número de colônias de fungos e bactérias (2.831 UFC m<sup>-3</sup>) foram encontradas no início da tarde, momento que a biblioteca esteve com maior fluxo de pessoas (40 pessoas) (Figura 2). No laboratório de pesquisa foi detectada a presença de fungos viáveis *Cladosporium sp.*, *Penicillium s.*, *Aspergillus sp.* e não esporulado (Figura 2). Os resultados indicam o acúmulo desses micro-organismos no decorrer do período de amostragem.

Para a sala de aula, foi constatada a presença das espécies fungos viáveis *Cladosporium sp.*, *Aspergillus sp.*, *Penicillium sp.*, *Paecilomyces sp.* e não esporulado. Para as espécies fúngicas também foi observado o mesmo comportamento com o aumento da presença no decorrer da tarde, com valores máximos de 177 UFC m<sup>-3</sup> no início da tarde e 361 UFC m<sup>-3</sup> ao final da tarde (Figura 2). Morais, *et al.*, (2009) identificou a presença de diversos micro-organismos em salas de aula de uma universidade em Minas Gerais, dentre eles *S.aureu*; *Staphylococcus coagulase negativo* e *Escherichia coli*. Nesse estudo, 51 % das salas analisadas apresentavam contagem de fungos e

bactérias acima do limites estipulados pela RE 9 da Anvisa.

As concentrações de material biológico mais relevantes foram registradas no restaurante universitário, de modo que no início da tarde o valor de I/E para fungos viáveis estava no limite do estipulado pela RE 9 da Anvisa, isto é, I/E = 1,5. No final da tarde esse valor reduziu para I/E=1,2.

O aumento das concentrações de fungos no ar no final da tarde é resultado de uma interação complexa entre fatores ambientais, como umidade e temperatura, padrões de movimentação atmosférica, e atividades humanas. No entanto, os valores não ultrapassaram o limite estipulado pela RE 9 da Anvisa, exceto para o restaurante universitário que teve valor de I/E = 1,5, que indica a presença de fungos no ambiente interno foi superior ao recomendado quando comparado ao ar livre. Estudos associam essas espécies a diversos problemas de saúde.

A espécie *Rhodotorula sp.* é patógeno humano e estudos têm sido relacionado a casos de endocardite, meningite e alergias no trato respiratório (Loss *et al.*, 2011 ;Calumby *et al.*, 2019). Portanto, a presença dessas espécies em ambientes fechados é nocivo a saúde dos indivíduos. Tanto *Aspergillus sp.* quanto *Cladosporium sp.* podem ser patogênicos quando presentes no ar interno, representando riscos à saúde, especialmente para indivíduos com alergias, asma ou sistemas imunológicos comprometidos. Embora detectados nos ambientes as concentrações estiveram abaixo do valor recomendado (750 UFC m<sup>-3</sup>).

A presença de bactérias aeróbicas também foi constatada nos ambientes monitorados. A presença dessas espécies ao ar livre também se acumula ao longo do dia, de modo que a concentração registrada no início da tarde foi de 502 UFC m<sup>-3</sup> e ao final da tarde 2.831 UFC m<sup>-3</sup>. A Tabela 2 traz o comparativo das colônias bacterianas coletadas nos pontos de amostragem.

**Tabela 2. Colônias de bactérias coletadas nos pontos de amostragem**

Ponto de coleta	Bactérias (UFC m <sup>-3</sup> )
<b>Ar livre</b> Meio da tarde Fim da tarde	502 < 2.830
<b>Biblioteca</b> Meio da Tarde Fim da Tarde	< 2.830 50
<b>Laboratório</b> Meio da tarde Fim da tarde	156 1.472
<b>Sala de aula</b> Meio da tarde Fim da Tarde	318 170
<b>Restaurante Universitário</b> Meio da tarde Fim da tarde	< 2.830 623

Por outro lado, maior número de colônias bacterianas foram coletadas no início da tarde para a biblioteca, sala de aula e restaurante universitário, período de maior trânsito de pessoas nesses locais. Dentre esses, o restaurante universitário

apresentou maior contaminação por agentes biológicos, provavelmente devido ao intenso fluxo de pessoas e as atividades desenvolvidas nesse local. Importante considerar que neste local foi registrado o maior valor médio de umidade relativa (83 %), o que segundo a literatura, facilita a proliferação de agentes microbiológicos. Para o laboratório de pesquisa o perfil da presença de bactérias foi similar ao meio externo, isto é, maior número de cultura coletado na parte final da tarde.

Os níveis de bactérias aumentam ao ar livre e diminuem em ambientes internos ao longo do dia devido a uma combinação de atividades humanas, condições ambientais e características biológicas dos microrganismos. Enquanto a movimentação e a atividade ao ar livre dispersam mais bactérias no ar, os ambientes internos beneficiam-se de filtragem, ventilação controlada, e práticas de limpeza que reduzem a concentração de bactérias no ar interno.

## PLANO DE MELHORIAS

Os parâmetros medidos que não estavam em conformidade com a RE 9 Anvisa foram CO<sub>2</sub>, UR e fungos. O CO<sub>2</sub> está associado a falta de troca de ar interno-externo. A umidade interna em ambientes universitários é influenciada, principalmente pela umidade do ar externo. Como alternativas para melhorar a qualidade do ar nesses ambientes, sugere-se:

**Ventilação adequada:** Garantir uma boa circulação de ar abrindo janelas e portas sempre que possível para permitir a

entrada de ar fresco. Instalar ventiladores ou sistemas de ventilação mecânica por profissionais ou empresas capacitadas para ajudar na circulação do ar.

**Instalação de sensores nas salas.** Instalar sensores de CO<sub>2</sub> que possuam alarme evitará concentrações altas desse poluente nos ambientes.

**Controle da umidade:** Desumidificadores e umidificadores podem ser utilizados conforme necessário para alcançar esses níveis.

**Monitoramento da qualidade do ar:** Instalação de sensores de monitoramento online da qualidade do ar, conforme requisitos da ABNT 17037 e realizar análise semestral da qualidade do ar conforme RE 9 da Anvisa.

**Educação e conscientização:** Educar os ocupantes sobre a importância da qualidade do ar interior e promova práticas que ajudem a manter um ambiente saudável.

**Práticas de limpeza eficientes:** Implementar práticas de limpeza regulares e eficientes para remover poeira e alérgenos das superfícies.

**Produtos de limpeza verdes:** Utilizar produtos de limpeza ecológicos e de baixa emissão de compostos orgânicos voláteis (COV) para reduzir a introdução de poluentes no ar interno.

**Limitação de ocupação:** Controlar o número de pessoas em salas de aula e outros espaços fechados para evitar a superlotação e garantir uma ventilação adequada.



**Uso de máscaras:** Em épocas de alta transmissão de doenças respiratórias, considerar a recomendação do uso de máscaras para reduzir a dispersão de patógenos.

**Elaborar e implementar um Plano de Manutenção, Operação e Controle (PMOC)** dos sistemas de climatização de acordo com a Lei Federal 13.589/18 e a Portaria 3.523, que visam regular a manutenção dos sistemas de climatização, assegurando a qualidade do ar interno e protegendo a saúde dos ocupantes de edifícios de uso público e coletivo.

## CONCLUSÕES

Nesse estudo foram monitorados os níveis de CO<sub>2</sub>, HCHO, MP, fungos, bactérias e também os parâmetros físicos, temperatura e umidade relativa em ambientes internos e externos da Universidade. Dentre esses parâmetros, o CO<sub>2</sub> foi o poluente detectado acima dos valores recomendados (> 1.000 ppm) em todos os locais monitorados. Conforme esperado, locais com maior densidade de pessoas, como a biblioteca e a sala de aula, tiveram maiores concentrações médias de CO<sub>2</sub> indicando a ineficiência na renovação do ar interno para a quantidade de indivíduos presentes nos ambientes.

Para os parâmetros físicos, a faixa de temperatura de todos os pontos monitorados esteve dentro dos padrões recomendado. Por outro lado, a umidade relativa do ar esteve fora da faixa de 40 % - 65 % estipulado pela RE 9 Anvisa o que pode facilitar a proliferação de agente

microbiológicos nocivos à saúde humana. Destaca-se que a presença excessiva de vapor de água no ar ambiente facilita a sobrevivência e reprodução de bactérias e fungos. A presença de microrganismos patogênicos contraria também a RE 9, que classifica como inaceitável a presença de qualquer organismo microbiológicos capaz de causar prejuízos à saúde humana. O valor máximo de contaminação microbiológica (UFC > 750 UFC m<sup>-3</sup>), no entanto, não foi superado em nenhum dos locais monitorados.

O uso dos equipamentos de ar condicionado nas construções atuais tem como objetivo apenas o conforto térmico dos usuários. As normas técnicas e legislações em vigor determinam que o uso desses sistemas deve focar além do conforto térmico, na saúde dos ocupantes. Essa situação ficou evidente nessa pesquisa, onde observa-se que na escolha do sistema de ar condicionado dos ambientes do tipo Split. Da forma que foi feita a instalação, não há renovação, filtragem e controle de umidade relativa do ar. Um sistema de ar condicionado instalado dentro das normas técnicas vigentes traia esse benefício a saúde dos usuários.

As estratégias de melhoria da qualidade do ar interno exigem esforços gerenciais e educacionais que perpassam pelo nível individual, coletivo e de políticas públicas. Durante a pandemia da COVID-19, em 2021, a Anvisa emitiu nota técnica alertando para o aumento de infecção fúngica (Aspergilose Pulmonar, Candidemia e Mucomurcose) em diversas regiões do País. Portanto, estudos futuros são necessários para caracterizar espécies de fungos patogênicos que sejam

relevantes para o cenário epidemiológico, considerando a necessidade de orientar alertas de endemidade regionais.

O cenário pós pandêmico trouxe reflexões que estão no pêndulo da história sobre a transmissão de doenças pelo ar, o que vem requerendo uma verdadeira força tarefa entre ciência e tomada de decisão. Portanto há uma necessidade de engajamento dos diferentes *stakeholders*, no sentido de utilizar as bases científicas para garantir ar puro e saudável, como um direito humano.

Esse foi um estudo inicial realizado em alguns ambientes da universidade. No entanto, para uma avaliação mais precisa é necessário o monitoramento contínuo para confirmar se os níveis aqui registrados foram pontuais ou se se mantém ao longo do ano.

#### AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) – código de financiamento 001. Os autores agradecem a FAPERJ e CNPq pelo financiamento. A.G. agradece ao CNPq pela Bolsa de Produtividade e à FAPERJ pelo auxílio Cientista do Nosso Estado.

#### CONFLITO DE INTERESSE

Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

#### COLABORAÇÕES

Adriana Gioda<sup>a</sup> - Orientação e revisão do artigo – ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5315-5650>

Luiz Felipe Menezes: organização dos dados e elaboração de gráficos e tabelas; pesquisa bibliográfica escrita. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2977-1493>

Pedro Emanuel Tosato: monitoramento dos ambientes, revisão do texto. ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-1377-872X>

Robson Petroni - análises microbiológicas e revisão do artigo

Leonardo Cozac - análises microbiológicas e revisão do artigo

Nelzair Vianna - discussão sobre fungos e revisão do artigo ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5183-6671>

#### REFERÊNCIAS

- Azuma K.; Kagi N, Yanagi U.; Osawa H. (2018) Effects of low-level inhalation exposure to carbon dioxide in indoor environments: A short review on human health and psychomotor performance, 121:51-56.DOI: 10.1016/j.envint.2018.08.059.
- Bencko, V. (2019) Hygiene and Epidemiology. Charles University: Karolinum Press.
- Calumby, R. J. N.; Silva, J. A.; Silva, D. P. da; Moreira, R. T. de F.; Araujo, M. A. dos S.; Almeida, L. M. de; Grillo, L. A. M.; Alvino, V. (2019). Isolamento e identificação da microbiota fúngica anemófila em Unidade de Terapia Intensiva/ Isolation and identification of anemophilic fungal microbiota in an Intensive Care Unit. Brazilian Journal of

- Development, 5: 19708–19722. DOI:10.34117/bjdv5n10-186
- Casadevall A. (2023) Global warming could drive the emergence of new fungal pathogens. *Nat Microbiol*,12: 2217-2219. DOI: 10.1038/s41564-023-01512-w.
- Herrera A. B.; Rodríguez, L. A.; Niederbacher, J. (2011) Contaminación biológica intradomiciliaria y su relación con síntomas respiratorios indicativos de asma bronquial en preescolares de Bucaramanga, Colombia. *Biomedica*,31:(3),357-371. DOI:10.7705/biomedica.v31i3.364
- Loss, S.H.; A.; Roehrig, C.; Castro, P.; Maccari, J. (2011) Meningite e endocardite infecciosa causada por *Rhodotorula mucilaginosa* em paciente imunocompetente. *Revista Brasileira de Terapia Intensiva*, 23:(4), 507-509. DOI:10.1590/S0103-507X2011000400017.
- Morais, G.R., Silva, M.A.D., Carvalho, M.V. de, Santos, J.G.S., Dolinger, E.J.O. von, & Brito, D. von D. (2010) Qualidade do ar interno de uma instituição de ensino superior. *Bioscience Journal* [online], 26:(2), 305-310. <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/7112>.
- Saleem, M.; Kausar, M. A.; Khatoon, F.; Anwar, S.; Shahid, S. M. A.; Ginawi, T.; Hossain, A.; Al Anizy, A. A. S. A., A.; Alswaidan, M. A.; Saleh Aseeri, A.; Saloom Alturjmi, M. H. B.; Abdulkarim, D. F.; Kuddus, M. (2020) Association between human health and indoor air pollution in Saudi Arabia: Indoor environmental quality survey. *Journal of Pharmaceutical Research International*, 32:(34), 57-66. DOI:10.9734/jpri/2020/v32i3430965.
- Rizzo K.; Camilleri M.; Gatt D.; Yousif C. (2024) Optimising Mechanical Ventilation for Indoor Air Quality and Thermal Comfort in a Mediterranean School Building, *Sustainability*, 16: (2), 766-778. DOI:10.3390/su16020766
- Schirmer, W.N.; Pian, L. B.; Szymanski, M. S. E.; Gauer, M. A. (2011) A poluição do ar em ambientes internos e a síndrome dos edifícios doentes. *Ciência & Saúde Coletiva*, 16(8), 3583–3590. DOI:10.1590/S1413-81232011000900026
- Sun, S.; Hoy, M.J.; Heitman, J. (2020) Fungal pathogens. *Curr Biol*, 30:(19), R1163-R1169. DOI:10.1016/j.cub.2020.07.032.
- Vehviläinen T.; Lindholm H.; Rintamäki H.; Pääkkönen R.; Hirvonen A.; Niemi O.; Vinha J.(2016) High indoor CO2 concentrations in an office environment increases the transcutaneous CO2 level and sleepiness during cognitive work, *Journal Occup Environ Hyg*,13(1):19-29. DOI:10.1080/15459624.2015.1076160.
- Wei, W.; Wargocki, P.; Zirngibl, J.; Bendžalová, J.; Mandin, C. (2020) Review of parameters used to assess the quality of the indoor environment in Green Building certification schemes for offices and hotels. *Energy and Buildings*, 209, 109683. DOI:10.1016/j.enbuild.2019.109683.
- WHO - World Health Organization. (2021) WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Licença: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329>. Acessado em 16 de junho de 2024.
- WHO - World Health Organization. (2010) WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants. World Health Organization. Regional Office for Europe. Licença: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. [https://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0009/128169/e94535.pdf](https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0009/128169/e94535.pdf). Acessado em 16 de junho de 2024.

## ARTIGO DE REVISÃO

### Mofo e qualidade do ar interno: uma revisão narrativa sobre os efeitos na saúde

**Alessandra Lima Costa<sup>1,2\*</sup>**

**Gabriela Reis Silva Paes<sup>1,3</sup>**

**Jair Brandão de Souza Meira Júnior<sup>1,4</sup>**

**Marcos de Assis Moura<sup>1,5,6</sup>**

**Nelzair Araújo Vianna<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Instituto Gonçalo Moniz, FIOCRUZ – Bahia

<sup>2</sup> Escola Bahiana de  
Medicina e Saúde Pública

<sup>3</sup> Universidade Federal da Bahia - Faculdade de Medicina da Bahia

<sup>4</sup> Centro Universitário Dom Pedro II – UNIDOMPEDRO

<sup>5</sup> Universidade Federal  
de Juiz de Fora

<sup>6</sup> Faculdades de Ciências Médicas e da Saúde  
de Juiz de Fora

\*Autor correspondente: [alessandracosta21.1@bahiana.edu.br](mailto:alessandracosta21.1@bahiana.edu.br)

## RESUMO

Fungos são estruturas microscópicas com capacidade de crescimento no formato de filamentos multicelulares, chamados de hifas que dão origem ao mofo. O crescimento do mofo é favorecido pelo excesso de umidade, vazamentos ou degradação de materiais, que ocorrem a partir de diversos aspectos estruturais que compõem os ambientes internos. A concentração desses seres vivos e de seus metabólitos é transportada pelo ar em diferentes ambientes como residências, escolas, hospitais, edifícios comerciais, dentre outros espaços "fechados", e afeta diretamente a qualidade do ar interno, relacionando-se com efeitos respiratórios e outros aspectos na saúde. A reação fisiológica a patógenos, através da inflamação e das respostas imunes inata e adaptativa, também ocorre diante das micotoxinas do mofo. Estas, por sua vez, agem no organismo e provocam uma cascata de eventos inflamatórios e imunes a nível molecular, refletindo sob a forma de doenças e quadros sintomáticos importantes na saúde dos seres vivos, como formas respiratórias, atópicas, emocionais, neurológicas, entre outras. Portanto, a presente revisão narrativa tem o objetivo de discutir evidências científicas sobre os efeitos dos fungos na saúde humana, bem como promover uma base de orientação clínica e geral para medidas preventivas que possam evitar a exposição aos perigosos bioaerossóis.

**Palavras-chave:** mofo, fungos, qualidade do ar interno, efeitos na saúde, poluição do ar.

## ABSTRACT

*Fungi are microscopic structures capable of growing in the form of multicellular filaments, called hyphae, that give rise to mold. The growth of mold is favored by excess moisture, leaks or degradation of materials, which occur from various structural aspects that make up the internal environments. The concentration of these living beings and their metabolites is airborne in residential environments, schools, hospitals, among other "closed" spaces and directly affects indoor air quality, relating to respiratory effects and other aspects of health. The physiological reaction to pathogens, which occurs through inflammation and innate and adaptive immune responses, also occurs in the face of mold mycotoxins. They act in the body and cause a cascade of inflammatory and immune events at a molecular level, reflecting in the form of diseases and symptomatic conditions in the health of living beings, in respiratory, atopic, emotional, and neurological forms, among others. Therefore, this narrative review aims to discuss scientific evidence on the effects of fungi on human health and promote clinical and general guidance for preventive measures that can avoid exposure to dangerous bioaerosols.*

**Keywords:** mold, fungi, indoor air quality, health effects, air pollution.

## INTRODUÇÃO

Misturas complexas de micro-organismos vivos, fragmentos, toxinas, alérgenos, compostos orgânicos microbianos voláteis e outros produtos químicos são encontrados nos ambientes internos, incluindo esporos precursores do mofo (Mosley *et al.*, 2001). Mofo ou bolor é uma das estruturas que alguns fungos podem formar. Seu aspecto esverdeado e semelhante à poeira é resultado da formação de esporos que contém metabólitos secundários de fungos, sendo os esporos as unidades de dispersão dos fungos (Moore *et al.*, 2011). A concentração desses componentes, transportada pelo ar em ambientes residenciais, escolares, hospitalares, entre outros espaços "fechados", afeta diretamente a qualidade do ar interno, relacionando-se com efeitos respiratórios e outros aspectos na saúde, podendo influenciar o surgimento de quadros sindrômicos (Kumar *et al.*, 2022). Sob essa óptica, estudos mostram que exposições a esporos e fragmentos de hifas podem atuar como alérgenos e mediadores pró-inflamatórios e danificar as vias aéreas pela produção de toxinas, enzimas e compostos orgânicos voláteis (COV). A fração de fragmentos de hifas fúngicas no ar interno é muito maior do que a de esporos transportados, e os fragmentos de hifas geralmente têm um maior potencial pró-inflamatório, sendo potencialmente uma ameaça à saúde daqueles que são submetidos a constantes exposições a essas estruturas (Holme *et al.*, 2020). Contudo, o impacto potencial dessa exposição à saúde deve ser melhor explorado através da avaliação de informações de estudos experimentais que

elucidam possíveis mecanismos biológicos podendo aumentar nossa compreensão do papel potencial da exposição ao mofo. Portanto, essa revisão se propõe a discutir evidências científicas sobre os efeitos de fungos na saúde humana e servirá como base de orientação clínica e geral para medidas preventivas que possam evitar a exposição aos perigosos bioaerossóis.

## MÉTODOS

Este trabalho se trata de uma revisão narrativa, que visa avaliar e sintetizar, sob a ótica do conhecimento científico, dados de estudos de maior relevância para que haja a obtenção de informações sobre o mofo e qualidade do ar interno, além de suas repercussões na saúde humana. A pesquisa se deu através da navegação nas bases de dados das plataformas virtuais *Pubmed* e *Cochrane* com a utilização dos descritores: "Fungi" OR "Mould" OR "Mold" AND "Air Pollution, Indoor" OR "Air Quality, Indoor" OR "Indoor Air Pollution" OR "Indoor Air Quality" OR "Pollution, Indoor Air" AND "Health Effects" OR "Adverse Effects". O total de 30 referências foram incluídas no presente trabalho, listadas na Tabela 1.

**Tabela 1. Características dos estudos selecionados para a revisão narrativa.**

<b>AUTOR, ANO</b>	<b>DATABASE</b>	<b>TÓPICO</b>
<b>Anyanwu, 2003</b>	Scientific World Journal	Sistema neural em resposta às toxinas do mofo
<b>Ashrae, 2007</b>	American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers	Qualidade do ar interno
<b>Barnes, 2019</b>	Clinical Review in Allergy and Immunology	Fungos e atopia
<b>Coulburn, 2022</b>	International Journal of Environmental Research and Public Health	Mofo em residências
<b>Crago, 2003</b>	Environmental Health	Neurofisiologia e efeitos eletrocorticais do mofo
<b>Cruvinel, 2010</b>	Revista Brasileira de Reumatologia	Imunidade inata
<b>Felipo, 2022</b>	International Journal of Environmental Research and Public Health	Fatores de risco para o mofo em residências
<b>Golofit-Szymczak, 2023</b>	Environmental Science and Pollution Research International	Toxinas do mofo em automóveis
<b>Guo, 2020</b>	Indoor air	Níveis de mofo em ambientes fechados
<b>Harding, 2023</b>	Behavioural Brain Research	Efeitos neurológicos do mofo
<b>Holme, 2020</b>	Indoor Air	Mofo e qualidade do ar interno
<b>Will Cole, 2023</b>	Change the Air Summit	Mecanismo autoimune contra o mofo
<b>Kilburn, 2003</b>	Archives of Environmental & Occupational Health	Exposição ao mofo e efeitos neurológicos e respiratórios
<b>Kumar, 2022</b>	Plos One	Risco de micro-organismos no ar interno
<b>Lee, 2024</b>	Nature	Mofo no ar interno e alergias
<b>Lu, 2020</b>	Environment International	Mofo e rinite
<b>Madigan, 2012</b>	Biology of Microorganisms	Propriedades do mofo
<b>Moore, 2011</b>	Century Guidebook to Fungi	Descrição dos aspectos do mofo
<b>Mosley, 2001</b>	Aerosol Science and Technology	Penetração do ar interno por partículas
<b>Oya, 2019</b>	International Journal of Environmental Research and Public Health	Bronquite induzida por esporos
<b>Prapamontol, 2023</b>	Environmental Research	Mofo em escolas e reações respiratórias

<b>Puhlmann, 2023</b>	Microorganisms	Exposição ao mofo em hospital
<b>Schaller, 2019</b>	Revue des Maladies Respiratoires	Alergias respiratórias relacionadas ao mofo
<b>Shenassa, 2007</b>	American Journal of Public Health	Depressão e mofo em residência
<b>Sothorn, 2022</b>	Annals Of the American Thoracic Society	Antígenos de mofo encontrados em residências
<b>Suojalehto, 2021</b>	International Journal of Molecular Science	Mofo relacionado com sintomas de asma
<b>Vesper, 2023</b>	International Journal of Hygiene and Environmental Health	Queixas respiratórias em ambientes com mofo
<b>Vílen, 2022</b>	Environmental Research	Melhora de função pulmonar em ambientes livres de mofo
<b>Wang, 2019</b>	European Respiratory Journal	Exposição ao mofo e sintomas respiratórios

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Descrição e propriedades do mofo

O mofo é caracterizado pelas espécies de fungos microscópicos que crescem na forma de filamentos multicelulares, chamados de hifas, diferentemente dos fungos microscópicos que crescem como células únicas, chamados de leveduras (Madigan *et al.*, 2012). O crescimento do mofo é favorecido pelo excesso de umidade, vazamentos ou degradação de materiais, que ocorrem a partir de diversos aspectos estruturais que compõem os ambientes internos (Ashrae *et al.*, 2007). Medidas de conservação de energia que não são devidamente implementadas (envelopes de edifícios apertados, *déficits* de ventilação, isolamento inadequado); urbanização (migração, tipo e densidade de edificação, degradação urbana, disponibilidade e

desigualdade social); alterações climáticas (aumento da frequência de condições meteorológicas extremas, mudança de zonas climáticas); e a má qualidade e globalização dos materiais e componentes de construção, conceitos e técnicas de construção são condições que aumentam o crescimento e os riscos de efeitos adversos à saúde pelo mofo (Ashrae *et al.*, 2007).

### Mofo e qualidade do ar interno

Fragmentos de hifas de fungos com forte potencial pró-inflamatório podem ser candidatos relevantes para doenças respiratórias associadas ao ar interno úmido e contaminado pelo mofo. Nessas estruturas, existem efeitos sinérgicos de toxicidade pró-inflamatória do material particulado do ar interno e fragmentos de hifas de espécies patogênicas e não patogênicas de mofo (Holme *et al.*, 2020).



A exposição ao ar interno que contém esporos e fragmentos de hifas permite o contato com alérgenos e mediadores químicos naturais que podem danificar as vias aéreas pela produção de toxinas, enzimas e compostos orgânicos voláteis (COV) (Holme *et al.*, 2020).

Ambientes residenciais, comerciais, escolas, hospitais e automóveis são sujeitos à circulação do ar interno, muitas vezes contaminado e contribuinte para a proliferação de diversas doenças. Em um estudo realizado na Austrália, observou-se que más condições de moradia como tetos e janelas antigos, ausência de aquecimento ou resfriamento funcional, aumento da umidade, pintura descascada, telhados com vazamento, tubulações e tetos com vazamento, amenidades quebradas, problemas estruturais, grandes rachaduras e superlotação predisuseram o aumento do mofo e sua estrutura visível em paredes (Coulburn *et al.*, 2022). De acordo com Coulburn e colaboradores, a prevalência de moradias afetadas por mofo foi relatada em aproximadamente metade dos estudos incluídos em sua pesquisa. Além disso, análise dos dados realizada por Felipe *et al.* demonstrou que os defeitos de construção foram a causa proeminente da proliferação de mofo no ambiente residencial e, entre esses defeitos, a infiltração de água por vazamentos em telhados ou paredes foi a principal razão (Felipe *et al.*, 2022).

O impacto do mofo na qualidade do ar interno também é resultado de aparelhos de ar-condicionado sem devida manutenção, e diferenças de temperatura entre um espaço condicionado e não condicionado, gerando excesso de umidade na superfície das

paredes e, por consequência, proliferação de mofo (Coulburn *et al.*, 2022). Estudos mostraram que a concentração de fungos varia de 12 a 9730 UFC m<sup>-3</sup>, com mediana de 526 UFC m<sup>-3</sup> nos ambientes fechados, sendo que o nível de concentração de contaminantes varia em diferentes zonas climáticas, com maiores concentrações de fungos na zona quente de verão e inverno quente (Guo *et al.*, 2020).

Dessa forma, a água que abastece moradias também é vetor de contaminantes potenciais para a proliferação de mofo, quando relacionada a dano residencial. Em uma avaliação de dados de cultura de 24.455 amostras de ar interno de 7.547 residências, cinco espécies de *Penicillium* (*P. aurantiogriseum*, *P. brevicompactum*, *P. citrinum*, *P. crustosum* e *P. variabile*) e três de *Aspergillus* (*A. versicolor*, *A. sydowii* e *A. niger*) foram identificadas como fungos predominantes relacionados a danos causados pela água em ambientes fechados (Sorthern *et al.*, 2022).

No que tange a qualidade do ar interno em hospitais, Puhmann e colaboradores observaram nos meses de verão europeu (maio-outubro) o aumento da contaminação por mofo no ar interno em comparação com os meses de inverno (novembro-abril). Os níveis de mofo nos quartos dos pacientes de seu estudo seguiram o mesmo padrão climático apresentando duas infecções nosocomiais por *Aspergillus*, uma infecção nosocomial por *Mucorales* (*Rhizopus spp.*) e cinco infecções por *Aspergillus spp.* (Puhmann *et al.*, 2023). Dados como esse demonstram o risco à exposição ao ar interno contaminado, sobretudo aos indivíduos imunossuprimidos, vulneráveis

a infecções. Os fatores de risco, efeitos na saúde e meios de exposição relacionados ao mofo estão ilustrados na Figura 1. Dentre os principais tipos de fungos, precursores do mofo que afetam a qualidade do ar interno, destacam-se: *Aspergillus spp.*, *Penicillium*, *Alternaria*, *Fusarium* e *Mucor*. Eles estão em maior frequência nos ambientes internos e podem atuar significativamente no sistema imune, ocasionando doenças como alergias e atopias, sintomas respiratórios, asma, dermatite e rinite alérgica (Kumar *et al.*, 2022).



**Figura 1.** Fatores de risco, efeitos na saúde e meios de exposição relacionados ao mofo.  
**Autor da figura:** Os próprios autores do artigo.

## Resposta fisiológica contra patógenos

A reação fisiológica a patógenos e corpos estranhos se dá através da inflamação, concomitantemente às respostas imunes inata e adaptativa, com participação celular e humoral. Na inflamação, ocorre aumento no fluxo sanguíneo, permeabilidade vascular e exsudação de líquido derivado do sangue, com acúmulo de leucócitos e proteínas plasmáticas, que são representadas pela dor, calor, rubor e edema da região afetada. Já na formulação de respostas imunes, o processo também envolve diversas células de defesa, como granulócitos, células natural *killer*, células dendríticas, linfócitos, monócitos, entre outras estruturas que participam dessa resposta (Abbas *et al.*, 2019).

Diante de um corpo estranho, ocorre fagocitose, com liberação de mediadores inflamatórios, ativação de proteínas do sistema complemento, citocinas e quimiocinas. Esses mecanismos são ativados por estímulos específicos, representados por estruturas moleculares presentes nos microrganismos, como as micotoxinas, por exemplo (Cruvinel *et al.*, 2010). Essas estruturas recebem o nome de Padrões Moleculares Associados a Patógenos (PAMPs) e ativam a resposta imune inata, com produção de grânulos, entre outras substâncias, que desencadeiam uma cascata contra o patógeno, mas que repercute sistemicamente com alguns efeitos no organismo.

As micotoxinas do mofo, por sua vez, agem no organismo e provocam uma cascata de eventos inflamatórios e imunes a nível molecular, refletindo sob a forma de

algumas doenças e quadros sintomáticos importantes na saúde dos seres vivos (Cruvinel *et al.*, 2010; Abbas *et al.*, 2019). Em adição, a microbiota que faz parte do organismo de forma natural, quando em contato com outras toxinas presentes no ar, são determinantes para características do sistema nervoso, na participação do espectro de inflamação autoimune nesse tecido e em outros afetados por toxinas presentes no ar interno (Will Cole, 2023).

### Atopia

Os mecanismos do sistema imune inato em relação à atopia atuam na sensibilidade fúngica tanto de indivíduos atópicos quanto dos não atópicos. A exposição através de esporos intactos, bem como fragmentos de esporos e micélios produzem um quadro alérgico intenso, que faz parte da atopia relacionada à exposição ao mofo (Barnes *et al.*, 2019).

Os níveis de mofo em ambientes fechados, resultado de danos residenciais, causados pela água e seu excesso de umidade, por exemplo, podem se relacionar com o aumento da atopia dos indivíduos expostos. Schaller mostrou que quadros de dermatite atópica associaram-se com andares de maior nível de mofo interno assim como casos de doenças alérgicas, definidas como um grupo de casos que já sofreram duas em cada três doenças alérgicas, como por exemplo asma e rinite alérgica e dermatite (Schaller *et al.*, 2019).

### Asma e outros efeitos respiratórios

A umidade e o mofo pioram casos de sintomas respiratórios além de dificultar sua

remissão. Sob essa visão, estudos mostram que o odor de mofo está associado ao início dos sintomas respiratórios e ao diagnóstico médico de doenças como asma. Dessa forma, a exposição à umidade presente no ambiente interno, tanto em casa quanto no trabalho, escolas e hospitais aumenta o risco de aparecimento de sintomas de rinite, asma e redução da função pulmonar (Wang *et al.*, 2019). Somado a isso, residentes de condomínios cujos níveis de mofo são mais elevados no ar interno estão associados a maior frequência de queixas respiratórias (Vesper *et al.*, 2023).

Por conseguinte, foi observado por Lee que o mofo age como gatilho dos sintomas de asma. Seu estudo mostrou a exposição ao mofo como fator desencadeante de sintomas respiratórios e, em um contexto molecular, interagiu de forma significativa com o locus 17q12-21, que participa de doenças de ordem respiratória (Lee *et al.*, 2024). Outras pesquisas também exploram o aspecto molecular da ação do mofo, apresentando, inclusive, possível relação com expressão gênica desencadeada por algumas micotoxinas (Suojalehto *et al.*, 2021).

No que tange à infância, o ar interno contaminado pelo mofo é fator de risco maior para asma em indivíduos atópicos ou não. A exposição ou sensibilização a fungos atua em quadros de exacerbações em crianças, sugerindo uma relação causal entre exposição, asma e outras condições como rinite (Schaller *et al.*, 2019; Lu *et al.*, 2020). Esta ligação parece menos significativa em adultos, embora nessa faixa etária a asma sensível ao mofo apresente fenótipo grave e, muitas vezes,

associada a doença pulmonar obstrutiva mais acentuada (Schaller *et al.*, 2019).

Em um aspecto de cascata inflamatória, os fungos podem estimular a imunidade inata ou adquirida, sendo eles os responsáveis por uma inflamação através de linfócitos Th2 mais acentuada, que leva a asma mais grave, considerando também os mecanismos imunológicos e tóxicos que participam do processo (Schaller *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2019). De acordo com Oya e colaboradores, fragmentos de hifas de *A. fumigatus* e *P. chrysogenum* aumentaram a expressão de IL-1 $\alpha$ , IL-1 $\beta$  e fator de necrose tumoral (TNF)- $\alpha$ , participantes dos processos inflamatórios intrínsecos (Oya *et al.*, 2019). Esse quadro ainda é intensificado

em estações secas, umidade doméstica e conseqüentemente ao aumento do mofo interno (Prapamontol *et al.*, 2023).

A redução da exposição a ambientes internos contaminados pelo mofo é benéfica e preventiva. Nesse sentido, Vilén e colaboradores constataram que após a transferência para instalações temporárias livres de mofo, dos 50 % participantes de sua pesquisa que tiveram a função pulmonar diminuída no início do estudo expostos ao mofo em ambientes internos, 82 % sentiram que seus sintomas melhoraram ou se resolveram (Vilén *et al.*, 2021). As recomendações clínicas e gerais para medidas preventivas e de mitigação estão apresentadas na Tabela 2.

**Tabela 2. Meios de exposição, fatores de risco, efeitos na saúde e recomendações clínicas para o ar interno contaminado pelo mofo.**

AMBIENTES COMO MEIO DE EXPOSIÇÃO	FATORES DE RISCO	EFEITOS NA SAÚDE	RECOMENDAÇÕES	ARTIGOS
<b>Residência</b>	Má circulação de ar, tetos e janelas antigos, ausência de aquecimento ou resfriamento funcional, aumento da umidade, pintura descascada, telhados com vazamento, tubulações e tetos com vazamento, amenidades quebradas, problemas estruturais, grandes rachaduras.	Atopias, asma, bronquite, rinite, depressão e distúrbios neurológicos.	Residências com ventilação natural e menos propensas à aumento da umidade, como casas de madeira. Solicitação de inspeções residenciais por agentes da saúde e profissionais que possam focar nos problemas estruturais que proliferam o mofo.	Crago <i>et al.</i> , 2003; Kilburn, 2003; Shenassa 2007; Schaller <i>et al.</i> , 2019; Oya <i>et al.</i> , 2019; Guo <i>et al.</i> , 2020; Coulburn <i>et al.</i> , 2022; Sorthern <i>et al.</i> , 2022; Felipo <i>et al.</i> , 2022; Harding <i>et al.</i> , 2023; Lee <i>et al.</i> , 2024.

<b>Escolas e Escritórios de trabalho</b>	Superlotação, umidade excessiva e mofo preexistente.	Rinite, asma e alergias.	Solicitação de inspeções por agentes da saúde e profissionais que possam focar nos problemas estruturais que proliferam o mofo. Optar pela ventilação com circulação do ar. Transferência para ambientes saudáveis e menos contaminados.	Lu <i>et al.</i> , 2020; Guo <i>et al.</i> , 2020; Vilen <i>et al.</i> , 2022; Propamantol <i>et al.</i> , 2023.
<b>Hospitais</b>	Pacientes hematolológicos, umidade excessiva e colonização preexistente.	Infecções nosocomiais; piora da imunidade em imunossuprimidos.	Optar pela ventilação com circulação do ar. Optar por alocar pacientes imunossuprimidos em áreas menos contaminadas.	Puhmann <i>et al.</i> , 2023.
<b>Automóveis</b>	Refrigeração por aparelhos sem devida manutenção, como ar-condicionado com filtro sujo.	Rinite, asma e alergias.	Trocar filtro de ar-condicionado com frequência, evitar umidade.	Gołofit-Szymczak <i>et al.</i> , 2023.

### Repercussões psiquiátricas e neurológicas

Além das repercussões respiratórias, estudos também mostram a associação entre exposição ao mofo e risco de desenvolvimento de repercussões psiquiátricas e neurológicas. A exposição ao ar contaminado pelas micotoxinas pode desregular as emoções através de uma hipotivação do córtex frontal, levando a distúrbios depressivos, por exemplo (Crago *et al.*, 2003). Shenassa *et al.* observou que umidade e mofo foram associados à depressão, independentemente das características individuais da moradia.

Ademais, esse quadro foi mais proeminente entre indivíduos mais velhos, mulheres e desempregados (Shenassa *et al.*, 2007).

O mecanismo de ação do ar interno contaminado pelo mofo também interfere no desempenho cognitivo. Pela inalação de mofo, há interferência no processamento da cognição, decorrente de inflamação cerebral que condiciona significativamente mudanças comportamentais. A nível molecular, células imunorreativas à interleucina-1 $\beta$  em muitas áreas do hipocampo são afetadas e geram impacto na realização de atividades psicomotoras

(Harding *et al.*, 2023). Esses distúrbios do sistema imunológico, encontrados em pacientes que apresentam exposição às toxinas oriundas do mofo são resultantes de uma atividade anormal das células natural killer (Anyanwu *et al.*, 2003; Harding *et al.*, 2023). Dentre outros sinais e sintomas nessa anormalidade estão tosse, perda de memória, depressão, alterações de humor, distúrbios do sono, ansiedade, fadiga crônica, vertigem, tontura, e, em alguns casos, convulsões. Inclusive, o sono, participante de processos essenciais para o funcionamento do sistema imunológico, quando afetado pelas micotoxinas do mofo, corrobora com uma piora da imunidade (Anyanwu *et al.*, 2003).

Por fim, no ínterim das repercussões neurológicas, a ativação de uma resposta imune neural gerada pela exposição a ambientes fechados e contaminados por esporos e micotoxinas predispõe o comprometimento da concentração e repercussões neurocomportamentais, emocionais, e psicomotoras como equilíbrio, tempo de reação, latência do reflexo de piscar, discriminação de cores, campos visuais e preensão (Kilburn., 2003; Harding *et al.*, 2023).

## CONCLUSÕES

Diversos estudos têm estabelecido a relação entre repercussões na saúde relacionadas à exposição ao ar interno contaminado pelo mofo. A qualidade do ar interno é afetada por diversos fatores além das toxinas liberadas por esporos e hifas. Portanto, nesta revisão narrativa, infere-se que o mofo pode afetar

diferentes sistemas do organismo humano, bem como seu sinergismo com outras partículas presentes no ar, sugerindo que essa exposição está associada a comprometimentos respiratórios, dermatológicos, neurocomportamentais e outros que provavelmente resultam da presença de micotoxinas no ambiente interno. Diante disso, é importante que os parâmetros de contaminação por mofo sejam considerados, no que tange à qualidade do ar interno, tendo em vista as evidências científicas para recomendações clínicas e gerais, que visam reduzir a exposição e prevenir as doenças relacionadas aos diversos tipos de fungos.

## AGRADECIMENTOS/ FINANCIAMENTO

Os autores agradecem ao Instituto Gonçalo Moniz-Fiocruz, ao Programa institucional de Iniciação Científica, à Fapesb, pelo auxílio e incentivo à pesquisa.

## CONFLITO DE INTERESSE

Os autores deste trabalho declaram não possuir nenhum conflito de interesse.

## COLABORAÇÕES

Alessandra Lima Costa, Escola Bahiana de Medicina e Saúde Pública: responsável pela busca dos estudos, síntese, revisão e escrita de seus dados. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9152-4245>

**Gabriela Paes, Universidade Federal da Bahia: responsável pela estratégia de busca e contribuição na discussão. ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-4597-054X>**

**Jair Brandão de Souza Meira Júnior, Centro Universitário Dom Pedro II – UNIDOMPEDRO, Salvador: responsável pela estratégia de busca e contribuição na discussão. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-6032-054X>**

**Marcos de Assis Moura - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdades de Ciências Médicas e de Saúde de Juiz de Fora - contribuição na discussão, estrutura e revisão do artigo. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0641-504X>**

**Nelzair Araújo Vianna, Instituto Gonçalo Moniz, Fiocruz - Bahia: Desenvolvimento do tema, orientação da escrita, contribuição na discussão, estrutura e revisão do artigo. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5183-6671>**

## REFERÊNCIAS

Abbas, Abul K.; PILLAI, Shiv; LICHTMAN, Andrew H.. *Imunologia: Celular e Molecular*. 9 ed. Rio De Janeiro: Editora Elsevier Ltda, 2019.

Anyanwu E, Campbell AW, Jones J, Ehiri JE, Akpan AI. The neurological significance of abnormal natural killer cell activity in chronic toxigenic mold exposures. *ScientificWorldJournal*. 2003 Nov 13; 3:1128-37. doi: 10.1100/tsw.2003.98. PMID: 14625399; PMCID: PMC5974762.

ASHRAE (2007b). ANSI/ASHRAE standard 62.2-2007: Ventilation and acceptable indoor air quality in low-rise residential buildings. Atlanta, American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers.

Barnes C. Fungi and Atopy. *Clin Rev Allergy Immunol*. 2019 Dec;57(3):439-448. doi: 10.1007/s12016-019-08750-z. PMID: 31321665.

Change the Air Summit, 2023; Cole W. Disponível em: <https://www.changetheairsummit.org/videos/health-focused/the-autoimmune-inflammation-spectrum/>. Acesso em: 11 de março de 2024.

Coulburn L, Miller W. Prevalence, Risk Factors and Impacts Related to Mould-Affected Housing: An Australian Integrative Review. *Int J Environ Res Public Health*. 2022 Feb 7;19(3):1854. doi: 10.3390/ijerph19031854. PMID: 35162876; PMCID: PMC8835129.

Crago BR, Gray MR, Nelson LA, Davis M, Arnold L, Thrasher JD. Psychological, neuropsychological, and electrocortical effects of mixed mold exposure. *Arch Environ Health*. 2003 Aug;58(8):452-63. doi: 10.3200/AEOH.58.8.452-463. PMID: 15259424.

Cruvinel W de M, Mesquita Júnior D, Araújo JAP, Catelan TTT, Souza AWS de, Silva NP da, et al. Sistema imunitário: Parte I. Fundamentos da imunidade inata com ênfase nos mecanismos moleculares e celulares da resposta inflamatória. *Rev Bras Reumatol [Internet]*. 2010 Jul;50(4):434-47. Available from: <https://doi.org/10.1590/S0482-50042010000400008>

Felipo R, Charpin D. Structural Home Defects Are the Leading Cause of Mold in Buildings: The Housing and Health Service Experience. *Int J Environ Res Public Health*. 2022 Dec 12;19(24):16692. doi: 10.3390/ijerph192416692. PMID: 36554570; PMCID: PMC9779167.

Gołofit-Szymczak M, Wójcik-Fatla A, Stobnicka-Kupiec A, Górny RL. Filters of automobile air conditioning systems as in-car source of exposure to infections and toxic moulds. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2023 Oct;30(49):108188-108200. doi: 10.1007/s11356-023-29947-y. Epub 2023 Sep 25. PMID: 37749467; PMCID: PMC10611836.

Guo K, Qian H, Zhao D, Ye J, Zhang Y, Kan H, Zhao Z, Deng F, Huang C, Zhao B, Zeng X, Sun Y, Liu W,

- Mo J, Sun C, Guo J, Zheng X. Indoor exposure levels of bacteria and fungi in residences, schools, and offices in China: A systematic review. *Indoor Air*. 2020 Nov;30(6):1147-1165. doi: 10.1111/ina.12734. Epub 2020 Sep 25. PMID: 32845998.
- Harding CF, Liao D, Persaud R, DeStefano RA, Page KG, Stalbow LL, Roa T, Ford JC, Goman KD, Pytte CL. Differential effects of exposure to toxic or nontoxic mold spores on brain inflammation and Morri's water maze performance. *Behav Brain Res*. 2023 Mar 28; 442:114294. doi: 10.1016/j.bbr.2023.114294. Epub 2023 Jan 10. PMID: 36638914; PMCID: PMC10460635.
- Holme JA, Øya E, Afanou AKJ, Øvrevik J, Eduard W. Characterization and pro-inflammatory potential of indoor mold particles. *Indoor Air*. 2020 Jul;30(4):662-681. doi: 10.1111/ina.12656. Epub 2020 Mar 18. PMID: 32078193.
- Kilburn KH. Indoor mold exposure associated with neurobehavioral and pulmonary impairment: a preliminary report. *Arch Environ Health*. 2003 Jul;58(7):390-8. doi: 10.1080/00039896.2003.11879139. PMID: 15143851.
- Kumar P, Singh AB, Singh R. Comprehensive health risk assessment of microbial indoor air quality in microenvironments. *PLoS One*. 2022 Feb 25;17(2): e0264226. doi: 10.1371/journal.pone.0264226. PMID: 35213573; PMCID: PMC8880710.
- Lee S, Ryu SH, Sul WJ, Kim S, Kim D, Seo S. Association of exposure to indoor molds and dampness with allergic diseases at water-damaged dwellings in Korea. *Sci Rep*. 2024 Jan 2;14(1):135. doi: 10.1038/s41598-023-50226-w. PMID: 38167981; PMCID: PMC10762174.
- Lu C, Norbäck D, Zhang Y, Li B, Zhao Z, Huang C, Zhang X, Qian H, Sun Y, Wang J, Liu W, Sundell J, Deng Q. Furry pet-related wheeze and rhinitis in pre-school children across China: Associations with early life dampness and mould, furry pet keeping, outdoor temperature, PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub>. *Environ Int*. 2020 Nov; 144:106033. doi: 10.1016/j.envint.2020.106033. Epub 2020 Aug 11. PMID: 32795753.
- Madigan M. T., Martinko J. M., Stahl D. A. ***Brock Biology of Microorganisms***. San Fransisco: Pearsons Education Inc; 2012.
- ASHRAE (2007a). ANSI/ASHRAE standard 62.1-2007: Ventilation for acceptable indoor air quality. Atlanta, American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers.
- Moore D, Robson GD, Trinci AP, eds. (2011). 21 st Century Guidebook to Fungi (1<sup>st</sup> ed.). Cambridge University Press. ISBN 978-0521186967.
- Mosley RB et al. (2001). Penetration of ambient fine particles into the indoor environment. *Aerosol Science and Technology*, 34:127–136.
- Øya E, Becher R, Ekeren L, Afanou AKJ, Øvrevik J, Holme JA. Pro-Inflammatory Responses in Human Bronchial Epithelial Cells Induced by Spores and Hyphal Fragments of Common Damp Indoor Molds. *Int J Environ Res Public Health*. 2019 Mar 26;16(6):1085. doi: 10.3390/ijerph16061085. PMID: 30917597; PMCID: PMC6466608.
- Prapamontol T, Norbäck D, Thongjan N, Suwannarin N, Somsunun K, Ponsawansong P, Radarit K, Kawichai S, Naksen W. Respiratory infections among junior high school students in upper northern Thailand: The role of building dampness and mould, biomass burning and outdoor relative air humidity (RH). *Environ Res*. 2023 Aug 15;231(Pt 1):116065. doi: 10.1016/j.envres.2023.116065. Epub 2023 May 4. PMID: 37149023.
- Puhlmann D, Bergmann D, Besier S, Hogardt M, Wichelhaus TA, Langhans S, Hack D, Reinheimer C, Vehreschild MJGT, Jung J, Kempf VAJ. Analysis of Mould Exposure of Immunosuppressed Patients at a German University Hospital. *Microorganisms*. 2023 Oct 28;11(11):2652. doi: 10.3390/microorganisms11112652. PMID: 38004663; PMCID: PMC10672964.
- Schaller A, Delmas C, De Blay F. Pathologies allergiques respiratoires liées aux moisissures de l'habitat [Allergic respiratory diseases related to mould in the home]. *Rev Mal*



Respir. 2019 Sep;36(7):889-901. French. doi: 10.1016/j.rmr.2018.10.619. Epub 2019 Jul 11. PMID: 31303366.

Shenassa ED, Daskalakis C, Liebhaber A, Braubach M, Brown M. Dampness and mold in the home and depression: an examination of mold-related illness and perceived control of one's home as possible depression pathways. *Am J Public Health*. 2007 Oct;97(10):1893-9. doi: 10.2105/AJPH.2006.093773. Epub 2007 Aug 29. PMID: 17761567; PMCID: PMC1994167.

Sothorn WM, O'Beirne SL, Berg M, Devine D, Khandaker N, Mikrut C, Kaner RJ. Misalignment between Clinical Mold Antigen Extracts and Airborne Molds Found in Water-damaged Homes. *Ann Am Thorac Soc*. 2022 May;19(5):746-755. doi: 10.1513/AnnalsATS.202101-096OC. PMID: 34788190.

Suojalehto H, Ndika J, Lindström I, Airaksinen L, Karvala K, Kauppi P, Lauerma A, Toppila-Salmi S, Karisola P, Alenius H. Transcriptomic Profiling of Adult-Onset Asthma Related to Damp and Moldy Buildings and Idiopathic Environmental Intolerance. *Int J Mol Sci*. 2021 Oct 1;22(19):10679. doi: 10.3390/ijms221910679. PMID: 34639020; PMCID: PMC8508786.

Vesper S, Carter E, Oke O, Rehder T, Eriksen S, Wymer L, Nye M. Higher mold levels found in the deteriorated housing in the Sun Valley neighborhood of Denver, Colorado compared to other Denver housing and higher rates of health insurance claims for some diseases documented for the Sun Valley residents compared to other Denver residents. *Int J Hyg Environ Health*. 2023 Apr; 249:114141. doi: 10.1016/j.ijheh.2023.114141. Epub 2023 Feb 20. PMID: 36812733; PMCID: PMC10023461.

Vilén L, Päivinen M, Atosuo J, Putus T. Transferring from moisture damaged school building to clean facilities - The avoidance of mold exposure induces a decline in symptoms and improvement in lung function among personnel. *Environ Res*. 2022 Sep;212(Pt D):113598. doi: 10.1016/j.envres.2022.113598. Epub 2022 May 31. PMID: 35660408.

Wang J, Pindus M, Janson C, Sigsgaard T, Kim

JL, Holm M, Sommar J, Orru H, Gislason T, Johannessen A, Bertelsen RJ, Norbäck D. Dampness, mould, onset and remission of adult respiratory symptoms, asthma and rhinitis. *Eur Respir J*. 2019 May 23;53(5):1801921. doi: 10.1183/13993003.01921-2018. PMID: 30880288.

## ARTIGO DE REVISÃO

### Qualidade do ar interno e efeitos na saúde humana

**Jair Brandão de Souza Meira Júnior** <sup>1, 4\*</sup>

**Alessandra Lima Costa** <sup>1,2</sup>

**Gabriela Reis Silva Paes** <sup>1,3</sup>

**Marcos de Assis Moura** <sup>1, 5, 6</sup>

**Nelzair Araújo Vianna** <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Gonçalo Moniz, FIOCRUZ – Bahia

<sup>2</sup> Escola Bahiana de Medicina e Saúde Pública

<sup>3</sup> Universidade Federal da Bahia - Faculdade de Medicina da Bahia

<sup>4</sup> Centro Universitário Dom Pedro II – UNIDOMPEDRO

<sup>5</sup> Universidade Federal de Juiz de Fora

<sup>6</sup> Faculdades de Ciências Médicas e da Saúde de Juiz de Fora

\*Autor correspondente: [jairmeirajr@gmail.com](mailto:jairmeirajr@gmail.com)

## RESUMO

A Qualidade do Ar Interno (QAI) possui um conceito amplo, sendo multifatorial e complexa, podendo ser afetada por diversas fontes, provenientes do ambiente externo e do próprio ambiente interno (residências, edifícios comerciais, escolas, meios de transportes, etc. ). As pessoas permanecem a maior parte de suas vidas em espaços fechados, estando expostas a diversos poluentes causadores de doenças. Diversos estudos têm evidenciado a relação entre QAI e seus efeitos na saúde humana. O trabalho teve como objetivo verificar evidências de desfechos clínicos associados a QAI. Para isso, foi realizada uma revisão narrativa da literatura, através da seleção de artigos científicos com desfechos clínicos em diferentes bases de dados, incluindo *Pubmed* e *Scielo*, bem como relatórios da Organização Mundial da Saúde (OMS) e a legislação brasileira. As evidências trazidas neste artigo demonstram que a QAI afeta diversos sistemas contribuindo para o surgimento de doenças respiratórias, doenças cardiovasculares, *déficits* cognitivos, alterações congênitas, baixo peso ao nascer, alergias e atopia. Os estudos reportam que diversos poluentes são associados aos desfechos de saúde, portanto, faz-se necessário o controle e monitoramento das fontes emissoras para assegurar um ar de qualidade nos ambientes internos. As evidências apontadas neste artigo podem subsidiar e fundamentar decisões clínicas na prevenção e no controle de doenças promovendo saúde e bem-estar.

**Palavras-chave:** Qualidade do Ar Interior, Qualidade do Ar em Ambientes Fechados, Saúde, Poluentes Atmosféricos, Poluição do Ar

## ABSTRACT

*Indoor Air Quality (IAQ) has a broad concept, being multifactorial and complex, and can be affected by different sources, coming from the external environment and the internal environment itself (residences, commercial buildings, schools, means of transport etc. ). People spend most of their lives in closed spaces, being exposed to various pollutants that cause diseases. Several studies have highlighted the relationship between IAQ and its effects on human health. To understand how IAQ affects human health, describing and discussing the "state of the art" on the topic. Narrative review of the literature, through selection of scientific articles in different databases, including Pubmed and Scielo, as well as reports from the World Health Organization (WHO) and Brazilian legislation. Evidence has shown that indoor air pollution affects several systems, causing: respiratory diseases, cardiovascular diseases, cognitive deficits, congenital changes, low birth weight, allergies, among other conditions that affect well-being. The state of the art reveals that IAQ has a relevant impact on human health, affecting different systems. Studies report several pollutants that are associated with health outcomes and, therefore, control of emission sources and parameters established by legislation must be monitored to ensure quality air in indoor environments. The evidence highlighted in this article can support and support clinical decisions in the prevention and control of diseases, promoting health and well-being.*

**Keywords:** *Indoor Air Quality, Household Air Quality, Health, Atmospheric Pollutants, Air Pollution*

## INTRODUÇÃO

Diversos termos são utilizados para se referir à Qualidade do Ar Interno (QAI), inclusive alguns estudos têm apontado para a poluição do ar doméstica quando se refere à exposição por queima de biomassa utilizada para a cocção (Wang *et al.*, 2014). A temática, no entanto, não está limitada às moradias, pois o próprio conceito de ar interno é amplo, devendo englobar todos os ambientes fechados, tais como edifícios comerciais, escolas, meios de transportes etc. Entretanto, cada um desses ambientes possui peculiaridades no que concerne aos contaminantes do ar e emissão de poluentes específicos.

A QAI é influenciada pela qualidade do ar externo. Os poluentes externos podem se concentrar nos ambientes internos em diferentes níveis a depender da taxa de ventilação e das fontes emissoras presentes no local. Atualmente 90 % do tempo dos seres humanos são despendidos em ambientes internos, como residências, locais de trabalho, ginásios, escolas e veículos de transporte (Cincinelli *et al.*, 2017). Assim, o tempo de exposição em ambientes internos pode ser maior do que em ambientes externos. A possibilidade de maior concentração de diversos poluentes em ambientes internos, deve-se à menor renovação do ar e a presença de componentes específicos, ligados ao ambiente e ao comportamento dos ocupantes.

Portanto, em ambientes internos são encontrados uma mistura de poluentes vindos do ambiente externo, predominantemente associados ao

tráfego de veículos bem como de atividades industriais, que penetra por infiltrações e/ou através de sistemas de ventilação natural e mecânica (Cincinelli *et al.*, 2020). Além disso, há contaminantes que se originam da área interna, também provenientes da queima de combustíveis para cocção, tabaco, velas, emissões de materiais de construção, de sistemas de aquecimento e refrigeração central, dos dispositivos de umidificação, dos equipamentos eletrônicos, de produtos para limpeza doméstica, além dos animais de estimação e das atividades dos ocupantes (Wallner *et al.*, 2017). Os contaminantes do ar são categorizados de acordo com sua composição: compostos orgânicos voláteis (COV), material particulado (MP), fibras, contaminantes orgânicos e inorgânicos, partículas biológicas, como bactérias, fungos e pólen (ANVISA, 2003).

Edifícios vedados, embora favoreçam a refrigeração/calefação do ambiente, tornam-se locais de alta concentração de poluentes químicos e biológicos, gerando a Síndrome do Edifício Doente (SED) (Kapfhammer, 2003). A escolha de materiais de construção e mobiliário emitem formaldeído, influenciando na saúde dos ocupantes. Sintomas vegetativos (tonturas, náuseas, dores de cabeça) foram associados com concentrações de formaldeído em edifícios vedados (Wallner *et al.*, 2017). Propostas de edifícios "verdes", seja na construção ou na reforma, têm apontado para níveis seguros de poluentes, através da renovação do ar e materiais adequados (Kapfhammer, 2003).

Estudos apontam que os países predomi-

nantemente desenvolvidos demonstram um interesse mais proeminente no estudo da QAI em relação ao seu impacto na saúde humana. Enquanto isso, os países subdesenvolvidos ainda carecem de pesquisas focalizadas na QAI. A análise dos padrões de poluentes do ar interior em países em desenvolvimento, bem como suas implicações para a saúde, carecem de aprofundamento. Essa abordagem mais detalhada pode servir como base para a formulação de políticas de QAI mais benéficas nessas regiões (La Guardia *et al.*, 2017).

Estima-se que 2,3 bilhões de pessoas dependem da queima de biomassa para cozinhar e se aquecer. A tendência sugere que, até 2030, 1,9 bilhões de pessoas ainda dependerão do uso, p. ex., de madeira, carvão e querosene. Em 2050, com o crescimento da população, retornaremos ao número de 2,3 bilhões de pessoas que ainda não terão acesso a combustíveis limpos para as atividades domésticas (IEA *et al.*, 2022).

O presente artigo tem como objetivo verificar evidências de desfechos clínicos associadas a QAI identificando os tipos de contaminantes do ar e suas repercussões na saúde humana, bem como discutir as estratégias e ações que possam reduzir a exposição.

## MÉTODO

A qualidade do ar interno possui um conceito amplo, sendo multifatorial e complexa, portanto, a revisão narrativa mostrou-se mais adequada ao seu estudo,

visto que possibilita descrever, sob um ponto de vista teórico, explorando seus diferentes componentes e seus impactos na saúde humana. Devido ao caráter discursivo, a revisão narrativa possibilitou maior liberdade para elaboração da própria opinião dos autores, segundo suas percepções subjetivas, sem que critérios rígidos tenham impossibilitado o melhor alcance do objetivo do presente trabalho. Estudos com semelhantes resultados foram escolhidos os mais representativos no sentido de ilustrar os diferentes desfechos clínicos. Não foram considerados estudos com abordagem apenas de caracterização ambiental, mas somente aqueles que no seu desenho incluía método de avaliação para desfecho clínico.

Para tanto, foi realizada busca na literatura em diferentes bases de dados, incluindo *Pubmed* e *Scielo*, de artigos científicos e ensaios clínicos, adotando e combinando-se os seguintes descritores em inglês: "indoor air pollution" OR "indoor air quality" AND "health". Dessa forma, pôde-se construir uma revisão narrativa para o conhecimento do estado da arte acerca do tema. Por se tratar de uma temática abrangente, foi necessário consultar outras fontes para fins de conceituação e regulamentações específicas, em especial relatórios da Organização Mundial de Saúde (OMS) e legislação brasileira sobre qualidade do ar interno.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Principais poluentes internos

A OMS, inicialmente, em 1988, categorizou como contaminantes microbiológicos encontrados em ambientes fechados: pólen, fungos e mofo, bactérias e vírus, bactérias termófilas, pelos e cabelos e excretas de animais (WHO,1990). Além desses, também classificou os principais compostos químicos: benzeno ( $C_6H_6$ ), monóxido de carbono (CO), formaldeído ( $CH_2O$ ), naftaleno ( $C_{10}H_8$ ), dióxido de nitrogênio ( $NO_2$ ), hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAP), especialmente benzopireno ( $C_{20}H_{12}$ ), radônio (Rn), tricloroetileno ( $C_2HCl_3$ ) e tetracloroetileno ( $C_2Cl_4$ ) (WHO, 2010).

A Resolução-RE nº 09 (RE9), de 16 de janeiro de 2003, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), fixou padrões referenciais de qualidade do ar interior em ambientes climatizados artificialmente, de uso público e coletivo, e classificou as possíveis fontes de poluentes internos em duas categorias: os biológicos e os químicos (ANVISA, 2003). A RE9 classificou os agentes químicos e biológicos da OMS como sendo os de maior incidência no ambiente interior. No entanto, a RE9 recomenda padrões de qualidade do ar apenas para alguns parâmetros químicos e biológicos (MP, partículas biológicas e  $CO_2$ ), além de parâmetros físicos ( temperatura, umidade, velocidade e taxa de renovação do ar) (ANVISA, 2003).

O MP se destaca como um poluente de grande interesse clínico, sendo considerado pela Organização Mundial de Saúde o poluente mais consistentemente associado aos desfechos de saúde, pois penetra nos alvéolos e na corrente sanguínea, causando estresse oxidativo e inflamação sistêmica (Brook *et al.*, 2010). O MP é uma

partícula formada por uma complexidade de componentes, orgânicos e inorgânicos, sólidos e líquidos, que ficam em suspensão no ar, podendo ser classificados de acordo com o seu tamanho em micrômetros ( $\mu m$ ):  $MP_{10}$ ,  $MP_{2,5}$  e  $MP_{0,1}$ . A título de comparação, o MP possui diâmetro menor do que um fio de cabelo, sendo o  $MP_{2,5}$  menor que uma hemácia. A emissão do MP está associada ao uso de fogões a lenha, tráfego de veículos, fábricas, queimadas florestais, dentre outros; sendo considerado como fator de risco para as doenças crônicas não transmissíveis (DCNT), pois desencadeia cascatas de reações fisiológicas (Floss M *et al.*, 2022).

Em ambientes climatizados públicos e com grande fluxo de pessoas, a QAI deve ser constantemente fiscalizada pelas autoridades competentes. Em instalações hospitalares, especialmente, deve-se manter um rigoroso controle, aplicando as normas e regulamentos específicos de higiene e filtros adequados, devido ao incremento do risco que representam para a saúde humana (ANVISA, 2003).

### Impactos na saúde

As evidências têm demonstrado que a poluição do ar interno afeta diversos sistemas, causando doenças respiratórias, doenças cardiovasculares, *déficits* cognitivos, alterações congênitas, baixo peso ao nascer, dentre outros sintomas que afetam o bem-estar, conforme ilustrado na Figura 1:



**Figura 1.** Qualidade do ar interno e efeitos na saúde.  
**Fonte:** autoria própria.

### a) Doenças respiratórias

A queima de lenha emite material particulado fino, com diâmetro  $< MP_{2,5}$  e grosso, com diâmetros  $<10 \mu m$  e  $>2,5 \mu m$  (MPg), que, em grande quantidade, podem provocar as doenças respiratórias, particularmente em populações suscetíveis. O material particulado contém endotoxina, componente da parede celular das bactérias Gram-negativas, capaz de desencadear sintomas de asma, especialmente em crianças. (McNamara et al., 2017).

A combustão de combustíveis sólidos também libera outros poluentes como o monóxido de carbono (CO),

dióxido de nitrogênio ( $NO_2$ ), partículas e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAPs), o que aumenta o risco de câncer de pulmão e asma infantil (Kapfhammer, 2003). Os locais que usam fogão a lenha geralmente estão relacionados à habitações multifamiliares, em que há grande concentração de fungos e bactérias, o que potencializa a vulnerabilidade dos residentes (Kapfhammer, 2003).

As crianças são ainda mais vulneráveis aos poluentes internos e decorrentes do tabagismo. Assim, investigando a relação de doenças em crianças que possuem exposição passiva ao fumo, com pais/responsáveis que fumavam em casa, percebeu-se que a maioria das crianças expostas sofriam de: "asma (76 %), bronquite crônica, estertores/sibilos (69 %), crises de espirros (56 %), rinite alérgica (65 %), estresse (66,7 %), tonturas (85,7 %), irritabilidade (71,4 %), dores de cabeça (75,0 %) irritação das mucosas e dos olhos (66,7 %), tosse seca (53 %), insônia (72,7 %), dificuldades respiratórias (70,5 %) e falta de concentração (62,2 %)" (Ferreira et al., 2014).

Um estudo realizado no norte da cidade de Delhi, capital da Índia, conhecida como uma das cidades mais poluídas do mundo, avaliou diversos ambientes como casas, salas de aula, laboratórios e academias de ginástica, onde verificou a concentração de bactérias e fungos e sua influência na saúde humana. Os ocupantes desses ambientes relataram, predominantemente problemas respiratórios (crises de espirros, congestão nasal, coriza, dor de garganta ou garganta seca, tosse frequente, peito apertado, dificuldades respiratórias, enfisema) e

outros sintomas (lábios rachados, sede incomum, alergias, enxaquecas, dor de cabeça, resfriados e olhos secos, com coceira, irritados e lacrimejantes), estando as mulheres mais vulneráveis, visto que passam mais tempo em ambientes fechados (Kumar *et al.*, 2022). Neste estudo os gêneros de bactérias mais dominantes em ambientes internos encontrados foram: *Staphylococcus*, *Streptobacillus*, *Micrococcus*. Nas residências, destacaram-se as seguintes espécies: *Aspergillus spp*, *Cladosporium*, *Candida*, *Penicillium*, *Rhizopus* e *Alternaria*; sendo os três primeiros encontrados em todos os ambientes.

A utilização de filtros de ar também foi testada em um ensaio clínico com ex-fumantes portadores de doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC), o qual constatou que houve uma redução de pelo menos 30-40 % nas concentrações internas de  $MP_{2,5}$  no subgrupo que utilizou filtros de ar. Esta intervenção resultou em uma melhoria significativa na qualidade de vida específica do sistema respiratório e na sintomatologia respiratória (Woo *et al.*, 2023).

#### b) Déficit cognitivo

Reuniões em ambientes fechados, em prédios isolados das flutuações de temperatura, da umidade, da radiação solar e sem renovação do ar, prejudicam a saúde dos ocupantes, influenciando a tomada de decisão. A exposição contínua e prolongada às partículas poluentes com menos de 2,5  $\mu m$  compromete a função cognitiva, uma vez que reduz o fluxo sanguíneo cortical e o processamento sensorial, bem como causa excitação do sistema simpático que

atua em situações de perigo e estresse, prejudicando, conseqüentemente, a seleção da ação (Torres *et al.*, 2022).

Os neurotransmissores interagem entre si e com o ambiente para produzir uma experiência sensorial subjetiva. Assim, a atenção, a memória, a emoção, a análise do ambiente social, a tomada de decisão e a memória declarativa (de longo prazo) são intimamente influenciadas pelos estímulos externos, em especial, pela qualidade do ar, podendo a tomada de decisão em ambiente interno ser prejudicada por fatores como a má ventilação, o acúmulo de bioaerossóis (fungos e bactérias), gases e partículas relacionadas ao tabaco (Torres *et al.*, 2022).

As partículas provenientes do fumo, por exemplo, têm como efeitos a hipóxia celular e tecidual. A concentração de gás carbônico em nível maior que 5 % ou 5000 ppm, por sua vez, diminui o desempenho cognitivo, a memória, a concentração e o aprendizado. Assim, o menor fornecimento de oxigênio gera a apoptose e necrose de neurônios, bem como a eliminação de conexões finas (axionais) (Keogan *et al.*, 2023).

Avaliando-se 1.019 alunos de 51 escolas de ensino básico de Coimbra, Portugal, foram identificadas altas concentrações de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) em salas de aula, principalmente no período do outono/inverno, quando há uma maior concentração desse poluente em comparação com a primavera/verão. Deste modo, associou-se a falta de concentração naquelas crianças expostas em salas de aula com concentrações superiores à máxima de referência, possuindo um risco aumentado de 2.143



vezes em relação às crianças expostas dentro do limite tolerável ( $\text{CO}_2 < 994$  ppm) (Ferreira *et al.*, 2014).

Verificou-se ainda também a existência de relação direta da má qualidade do ar em diversas funções cognitivas, tanto na realização de trabalhos escolares como no trabalho de escritório (Allen *et al.*, 2016).

### **c) Alterações congênitas e baixo peso ao nascer**

A exposição aos poluentes que comprometem a QAI pode manifestar efeitos mesmo antes do nascimento. A melhoria da intervenção sobre fogões nas zonas rurais do Malawi reduziu o número de bebês nascidos com baixo peso em 30 %. A análise realizada no estudo sugeriu que a opção por fogões que utilizam fontes limpas de energia reduziu o número de bebês nascidos prematuramente ou com restrição de crescimento intra-uterino, indicando que fogões melhorados podem ser uma intervenção útil para a saúde materna (Best *et al.*, 2022; Younger *et al.*, 2023).

Analisando 534 mães-caso, que tiveram filhos com defeitos de formação do tubo neural e outras 534 mães-controle, que tiveram filhos a termo saudáveis, suas variantes genéticas e seus hábitos de vida das mães, em especial o histórico de tabagismo materno (ativo ou passivo) e do uso de doméstico de combustível para cozimento de alimento e aquecimento, um estudo concluiu que a exposição de gestantes à poluição do ar interior gera maior risco no desenvolvimento de defeitos de formação no tubo neural nos embriões.

Para tanto, foram examinadas amostras placentárias com HPA, composto emitido pela combustão incompleta de combustíveis sólidos, biomassa e carvão, que gera risco aumentado ao desenvolvimento de câncer e teratogenicidade. Deste modo, identificou-se que a variante genética CYP1B1 (enzima metabólica envolvida na bioativação de produtos químicos ambientais), presente na fase embrionária inicial, interage com os HPA, aumentando o risco de desenvolvimento de defeitos de formação do tubo neural (Wang *et al.*, 2014).

Estudos desses perfis são de grande importância na melhor compreensão de malformações congênitas durante o desenvolvimento embrionário inicial, momento em que o feto não possui grande capacidade de desintoxicação e é mais vulnerável às exposições maternas. No entanto, vários fatores de risco estão associados, a exemplo de doenças pré-existentes, suscetibilidade genética e nutrição adequada (Wang *et al.*, 2014; Best *et al.*, 2022)

### **d) Doenças cardiovasculares**

A exposição a curto e médio prazo ao MP aumenta o risco a doenças cardiovasculares e respiratórias, desencadeando processos patológicos diversos, envolvendo inflamação sistêmica e local, coagulação sanguínea, aumento da pressão arterial, aumento da frequência cardíaca, função pulmonar prejudicada e aumento do estresse oxidativo (Guo *et al.*, 2021). Neste estudo foram selecionados biomarcadores do sistema circulatório e pulmonar. Verificou-se ainda que os purificadores de ar podem reduzir significativamente

a concentração de MP em centros de cuidados a idosos, melhorando a circulação e a saúde cardiovascular (Guo *et al.*, 2021).

Um estudo de larga escala, que acompanhou 50.045 indivíduos, distribuídos nos diversos níveis socioeconômicos, associou a exposição à queima de combustível doméstico para cozinhar e aquecer ao longo da vida à mortalidade por doenças cardiovasculares, encontrando maior risco com a queima de querosene/diesel e, de outro lado, menor com gás-natural (Mitter *et al.*, 2016).

Das 1.578 mortes atribuíveis à doenças cardiovasculares, as de maior destaque foram às relacionadas à doença cardíaca isquêmica (59 %) e ao acidente vascular cerebral (33 %), sendo o restante (8 %) atribuíveis à(s): "morte súbita cardíaca, insuficiência cardíaca congestiva, hipertensão, doença cardíaca reumática crônica, embolia pulmonar e outras doenças do sistema cardiovascular." (Mitter *et al.*, 2016)

#### e) Alergias e atopia

Nos ambientes fechados, a qualidade do ar interno comprometida pela proliferação do mofo pode causar problemas de alergia e atopia significativos. Como o mofo é uma fonte comum de alérgenos através de suas micotoxinas que contaminam o ar interno, manifestações de rinites, asma e dermatite atópica são frequentemente associados à essas estruturas (Cruvinel *et al.*, 2010). A resposta imune relacionada ao desenvolvimento de alergias envolve a produção de imunoglobulina e anticorpo que se liga às toxinas inflamatórias, como

os esporos de mofo presentes no ambiente interno, desencadeando a liberação de mediadores inflamatórios, por exemplo, a histamina, substância envolvida nos principais sintomas alérgicos: espirros, corrimento nasal, prurido ocular e tosse (Cruvinel *et al.*, 2010; Barnes *et al.*, 2019).

Nesse sentido, sendo a atopia uma consequência de alergias e asma, a exposição precoce ao mofo pode aumentar o risco de desenvolver essas condições em indivíduos geneticamente predispostos. A exposição a esporos de mofo no ar interno está significativamente associada a sintomas de rinite alérgica e asma em crianças (Reponen *et al.*, 2013; Tischer *et al.*, 2011). Diante disso, a prevenção da exposição ao mofo e a redução dos níveis de umidade em ambientes fechados são medidas importantes para reduzir o risco de problemas de saúde associados a alergias e atopias.

#### CONCLUSÕES

A QAI é, portanto, uma resultante multifatorial e complexa, determinada por diversas variantes e constituída de numerosos contaminantes. Os estudos reportam relevante impacto na saúde humana considerando os diversos poluentes que são associados aos desfechos clínicos, podendo afetar diversos sistemas orgânicos: doenças respiratórias, déficits cognitivos, alterações congênitas, baixo peso ao nascer, doenças cardiovasculares, dentre outros sintomas que afetam o bem-estar.

Fatores como condições de habitação, socioeconômicos, geográficos, culturais, métodos construtivos, hábitos de vida e número de ocupantes também são variáveis que influenciam na QAI, gerando maiores impactos à saúde da população mais exposta e vulnerável.

A adoção de medidas de controle das fontes emissoras e o cumprimento dos parâmetros legais de monitoramento de poluentes em ambientes fechados a níveis toleráveis na prevenção de doenças são necessárias. Para tanto, deve ser mitigada a exposição em ambientes fechados, adotando-se as seguintes medidas: a) restrição ao tabagismo; b) utilização com limpeza e troca periódica dos filtros de captação de ar externo; c) correção da umidade do ar; d) renovação periódica do ar; e) higienização local de superfícies, piso e mobiliários, evitando-se o uso de vassouras, escovas e espanadores; utilizando preferencialmente aspiradores de pó com filtros de alta eficiência; f) exaustão de poluentes, principalmente em ambientes sem ventilação natural; g) evitar produtos de limpeza de alta toxicidade e que não contenham COV; h) não utilizar pesticidas ou inseticidas; i) evitar a queima de biomassa; j) utilização de germicidas de luz ultravioleta.

As evidências científicas sobre as repercussões na saúde apontam para a necessidade de implementação deste conhecimento na prática clínica, entretanto a percepção sobre os desfechos clínicos relacionados a QAI ainda é comprometida pelas lacunas na discussão deste tema nos currículos de medicina e pela sociedade em geral. Revisões sistemáticas com

meta análises avaliando exposição de contaminantes do ar específicos e desfechos clínicos devem ser estimuladas para atender lacunas relacionadas ao nível de evidência clínica.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Instituto Gonçalo Moniz, FIOCRUZ – Bahia, pelo incentivo à pesquisa, em especial pelos programas de estágio em pesquisa, que oportunizam a diversos estudantes o acesso democrático à instituição, garantindo o compromisso institucional da difusão do conhecimento científico.

## FINANCIAMENTO

O presente estudo não recebeu nenhum tipo de financiamento.

## CONFLITOS DE INTERESSE

Nada a declarar.

## COLABORAÇÕES

Jair Brandão de Souza Meira Jr. - Centro Universitário Dom Pedro II; e-mail: [jairmeirajr@gmail.com](mailto:jairmeirajr@gmail.com); ORCID: 0009-0007-6032-054X; responsável escrita do projeto, pela elaboração da figura 1, busca dos estudos, síntese, revisão e escrita dos dados do artigo.

**Alessandra Lima Costa - Escola Bahiana de Medicina e Saúde Pública, e-mail [alessandralcosta1@gmail.com](mailto:alessandralcosta1@gmail.com); ORCID: 0000-0001-9152-4245; responsável escrita do projeto, pela elaboração da figura 1, busca dos estudos, síntese e revisão dos dados do artigo.**

**Gabriela Reis Silva Paes - Universidade Federal da Bahia; e-mail: [gabrielareispaes@gmail.com](mailto:gabrielareispaes@gmail.com); ORCID: 0009-0005-4597-054X; responsável pela estratégia de busca e contribuição na discussão.**

**Marcos de Assis Moura - Universidade Federal de Juiz de Fora e Faculdade de Ciências Médicas e da Saúde de Juiz de Fora; e-mail: [marcosmoura11@gmail.com](mailto:marcosmoura11@gmail.com); ORCID: 0000-0003-0641-504X ; responsável pela estratégia de busca e contribuição na discussão.**

**Nelzair Araújo Vianna - Instituto Gonçalo Muniz, Fiocruz - Bahia. E-mail: [nelzair.vianna@fiocruz.br](mailto:nelzair.vianna@fiocruz.br); ORCID: 0000-0002-5183-6671; desenvolvimento do tema, orientação, escrita, contribuição na discussão, estrutura e revisão do artigo.**

## REFERÊNCIAS

Abbas, Abul K.; Pillai, Shiv; Lichtman, Andrew H.. *Imunologia: Celular e Molecular*. 9 ed. Rio De Janeiro: Editora Elsevier Ltda, 2019.

Allen JG, MacNaughton P, Satish U, Santanam S, Vallarino J, Spengler JD. Associations of cognitive function scores with carbon dioxide, ventilation, and volatile organic compound exposures in office workers: A controlled exposure study of green and conventional office environments. *Environ Health Perspect*. 2016 Jun 1;124(6):805–12.

ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução-RE nº 09, de 16 de janeiro de 2003. Diário Oficial da União nº 14, de 20 de janeiro de 2003.

Barnes C. Fungi and Atopy. *Clin Rev Allergy Immunol*. 2019 Dec;57(3):439-448. doi: 10.1007/s12016-019-08750-z. PMID: 31321665.

Best R, Malava J, Dube A, Katundu C, Kalobekamo F, Mortimer K, et al. A secondary data analysis of a cluster randomized controlled trial: improved cookstoves associated with reduction in incidence of low birthweight in rural Malawi. *Int J Epidemiol*. 2022 Dec 1;51(6):1803–12.

Cincinelli A, Martellini T. Indoor air quality and health. Vol. 14, *International Journal of Environmental Research and Public Health*. MDPI; 2017.

Cruvinel W de M, Mesquita Júnior D, Araújo JAP, Catelan TTT, Souza AWS de, Silva NP da, et al.. Sistema imunitário: Parte I. Fundamentos da imunidade inata com ênfase nos mecanismos moleculares e celulares da resposta inflamatória. *Rev Bras Reumatol [Internet]*. 2010 Jul; 50(4):434–47. Available from: <https://doi.org/10.1590/S0482-50042010000400008>

IEA,IRENA,UNSD,WorldBank,WHO.2022.Tracking SDG 7: The Energy Progress Report. Chapter 2, Access to Clean Fuels and Technologies for Cooking. World Bank, Washington DC. © World Bank. License: Creative Commons Attribution—NonCommercial 3.0 IGO (CC BY-NC 3.0 IGO). Available from: <https://trackingsdg7.esmap.org/downloads>

Ferreira, A. M. da C., & Cardoso, M.. (2014). Indoor air quality and health in schools. *Jornal Brasileiro De Pneumologia*, 40(3), 259–268. <https://doi.org/10.1590/S1806-37132014000300009>

Fong WCG, Kadalayil L, Lowther S, Grevatt S, Potter S, Tidbury T, et al. The efficacy of the Dyson air purifier on asthma control: A single-center, investigator-led, randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *Annals of Allergy, Asthma and Immunology*. 2023 Feb 1;130(2):199-205.e2.

- Floss M, Zandavalli RB, Leão JRB, Lima CV, Vianna N, Barros EF, Saldiva PHN. Poluição do ar: uma revisão de escopo para recomendações clínicas para a medicina de família e comunidade. *Rev Bras Med Fam Comunidade* [Internet]. 19º de novembro de 2022 [citado 7º de maio de 2024];17(44):3038. Disponível em: <https://rbmfc.org.br/rbmfc/article/view/3038>.
- Gioda A, Tonietto GB, Leon AP de. Exposição ao uso da lenha para cocção no Brasil e sua relação com os agravos à saúde da população. *Ciência saúde coletiva* [Internet]. 2019 Aug; 24(8):3079–88. Available from: <https://doi.org/10.1590/1413-81232018248.23492017>.
- Guo M, Du C, Li B, Yao R, Tang Y, Jiang Y, Liu H, Su H, Zhou Y, Wang L, Yang X, Zhou M, Yu W. Reducing particulates in indoor air can improve the circulation and cardiorespiratory health of old people: A randomized, double-blind crossover trial of air filtration. *Sci Total Environ*. 2021 Dec 1;798:149248. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.149248. Epub 2021 Jul 23. PMID: 34325134.
- Kapfhammer HP. Sick-Building-Syndrom oder Schimmelpilzallergie? Wenn Häuser krank machen [Sick building syndrome or fungal allergy? When houses cause illness]. *MMW Fortschr Med*. 2003 Aug 21;145(33-34):26-30. German. PMID: 14526570.
- Keogan S, Alonso T, Sunday S, Hanafin J, Tigova O, Fernandez E, et al. Particle Exposure Hazards of Visiting Outdoor Smoking Areas for Patients with Asthma or COPD Even in EU Countries with Comprehensive Smokefree Laws. *Int J Environ Res Public Health*. 2023 Jun 1;20(11).
- Klausen FB, Amidi A, Kjærgaard SK, Schlünssen V, Ravn P, Østergaard K, et al. The effect of air quality on sleep and cognitive performance in school children aged 10–12 years: a double-blinded, placebo-controlled, crossover trial. *Int J Occup Med Environ Health*. 2023;36(1).
- Kumar P, Singh AB, Singh R. Comprehensive health risk assessment of microbial indoor air quality in microenvironments. *PLoS One*. 2022 Feb 25;17(2):e0264226. doi: 10.1371/journal.pone.0264226. PMID: 35213573; PMCID: PMC8880710.
- La Guardia MJ, Schreder ED, Uding N, Hale RC. Human indoor exposure to airborne halogenated flame retardants: Influence of airborne particle size. *Int J Environ Res Public Health*. 2017 May 9;14(5).
- McNamara ML, Thornburg J, Semmens EO, Ward TJ, Noonan CW. Reducing indoor air pollutants with air filtration units in wood stove homes. *Sci Total Environ*. 2017 Aug 15;592:488-494. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.03.111. Epub 2017 Mar 18. PMID: 28320525; PMCID: PMC6394836.
- Mitter SS, Vedanthan R, Islami F, Pourshams A, Khademi H, Kamangar F, Abnet CC, Dawsey SM, Pharoah PD, Brennan P, Fuster V, Boffetta P, Malekzadeh R. Household Fuel Use and Cardiovascular Disease Mortality: Golestan Cohort Study. *Circulation*. 2016 Jun 14;133(24):2360-9. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.115.020288. PMID: 27297340; PMCID: PMC4910632.
- Reponen T, Levin L, Zheng S, Vesper S, Ryan P, Grinshpun SA, LeMasters G. Family and home characteristics correlate with mold in homes. *Environ Res*. 2013 Jul;124:67–70. doi: 10.1016/j.envres.2013.04.003. Epub 2013 May 14. PMID: 23683889; PMCID: PMC3714399.
- Tischer C, Chen CM, Heinrich J. Association between domestic mould and mould components, and asthma and allergy in children: a systematic review. *Eur Respir J*. 2011 Oct; 38(4):812–24. doi: 10.1183/09031936.00184010. Epub 2011 May 3. PMID: 21540311.
- Torres G, Mourad M, Leheste JR. Indoor Air Pollution and Decision-Making Behavior: An Interdisciplinary Review. *Cureus*. 2022 Jun 23;14(6):e26247. doi: 10.7759/cureus.26247. PMID: 35911286; PMCID: PMC9313076.
- Wallner P, Tappler P, Munoz U, Damberger B, Wanka A, Kundi M, et al. Health and wellbeing of occupants in highly energy efficient buildings: A field study. *Int J Environ Res Public Health*. 2017 Mar 19;14(3).
- Wang L, Li Z, Jin L, Li K, Yuan Y, Fu Y, Zhang Y, Ye R, Ren A. Indoor air pollution and neural

tube defects: effect modification by maternal genes. *Epidemiology*. 2014 Sep;25(5):658-65. doi: 10.1097/EDE.0000000000000129. PMID: 25051309.

Woo H, Koehler K, Putcha N, Lorizio W, McCormack M, Peng R, et al. Principal stratification analysis to determine health benefit of indoor air pollution reduction in a randomized environmental intervention in COPD: Results from the clean air study. *Science of the Total Environment*. 2023 Apr 10;868.

WHO - World Health Organization. Regional Office for Europe. WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants. 2010, Oct 1. Available from: <https://www.who.int/europe/publications/i/item/9789289002134>.

Younger A, Alkon A, Harknett K, Kirby MA, Elon L, Lovvorn AE, et al. Effects of a LPG stove and fuel intervention on adverse maternal outcomes: A multi-country randomized controlled trial conducted by the Household Air Pollution Intervention Network (HAPIN). *Environ Int*. 2023 Aug 1;178.



Patrocinadores

