

ARTIGO

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

Luiz Felipe de M. C. Da Silva¹

Pedro Emanuel Tosato¹

Robson Petroni²

Leonardo Cozac²

Nelzair Vianna³

Adriana Gioda^{1*}

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

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

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

*Autor correspondente: 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 (CO₂), 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 CO₂ 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 (CO₂), 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 CO₂ 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 (CO₂), ozônio (O₃) e material particulado (MP_{1,0}; MP_{2,5}; MP₁₀) 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 (CO₂ e material particulado) e microbiológicos (fungos), além de parâmetros físicos (temperatura, umidade relativa e velocidade do ar). A Resolução considera o CO₂ 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 CO₂ 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_{2,5}) e 10 (MP₁₀) 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⁻³. 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_{2,5} e MP₁₀), dióxido de carbono (CO₂), 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 m². O laboratório de Química é utilizado para pesquisa, com cerca de 60 m² 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 m² e um split para climatização. O restaurante universitário funciona no subsolo de um dos prédios da PUC-Rio, com cerca 120 m², 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_{2,5} e MP₁₀), dióxido de carbono (CO₂), 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⁻¹, 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⁻³.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Parâmetros físico-químicos

As concentrações de CO₂, MP_{2,5}, MP₁₀, 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_{2,5} e MP₁₀), dióxido de carbono (CO₂), formaldeído (HCHO), além de temperatura (T) e umidade relativa (UR) para os locais monitorados na PUC-Rio.

Local	CO ₂ (ppm)	MP ₁₀ (µg m ⁻³)	MP _{2,5} (µg m ⁻³)	HCHO (mg m ⁻³)	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⁻³ de aerodispersóides totais no ar, que é considerado como MP₁₀.

A concentração média de CO_2 ao ar livre foi de 511 ppm, de $\text{MP}_{2,5}$ e 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°C e 75 %. Para parâmetros externos não há padrão de qualidade do ar para CO_2 , HCHO, T e UR. No Brasil o $\text{MP}_{2,5}$ e 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 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 $\text{MP}_{2,5}$, MP_{10} , O_3 , NO_2 , 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 $45 \mu\text{g m}^{-3}$ (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 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 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 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 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°C , estando dentro do aceitável, enquanto que o valor médio da umidade relativa (80 %) ultrapassou o limite sugerido pela resolução. Os valores de 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 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 CO₂ 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⁻³ 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 CO₂ foi o poluente que extrapolou os padrões recomendados.

A Figura 1 mostra o perfil temporal da concentração de CO₂ nos pontos de coleta durante o monitoramento. O acúmulo de CO₂ 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 CO₂ a valores aceitáveis.

Estudos mostram que exposição ao CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ no interior de salas de aula (Morais *et al.*, 2010). Segundo esses autores, crianças expostas a esses níveis de CO₂ têm falta de concentração até 2,4 vezes maior do que crianças não expostas.

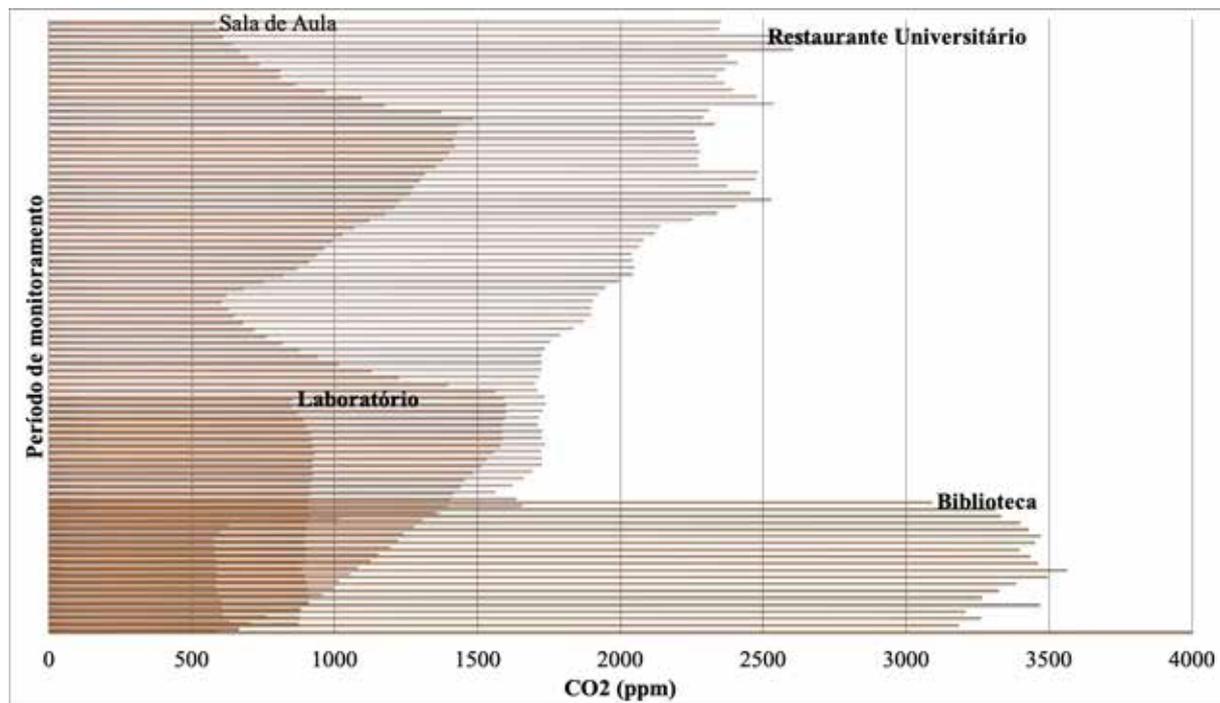


Figura 1. Perfil da concentração de CO2 (ppm) na biblioteca, na sala da aula, no laboratório de pesquisa e no restaurante universitário da PUC-Rio.

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⁻³), *Rhizopus sp.* (7 UFC m⁻³) e *Penicillium sp.* (50 UFC m⁻³), 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

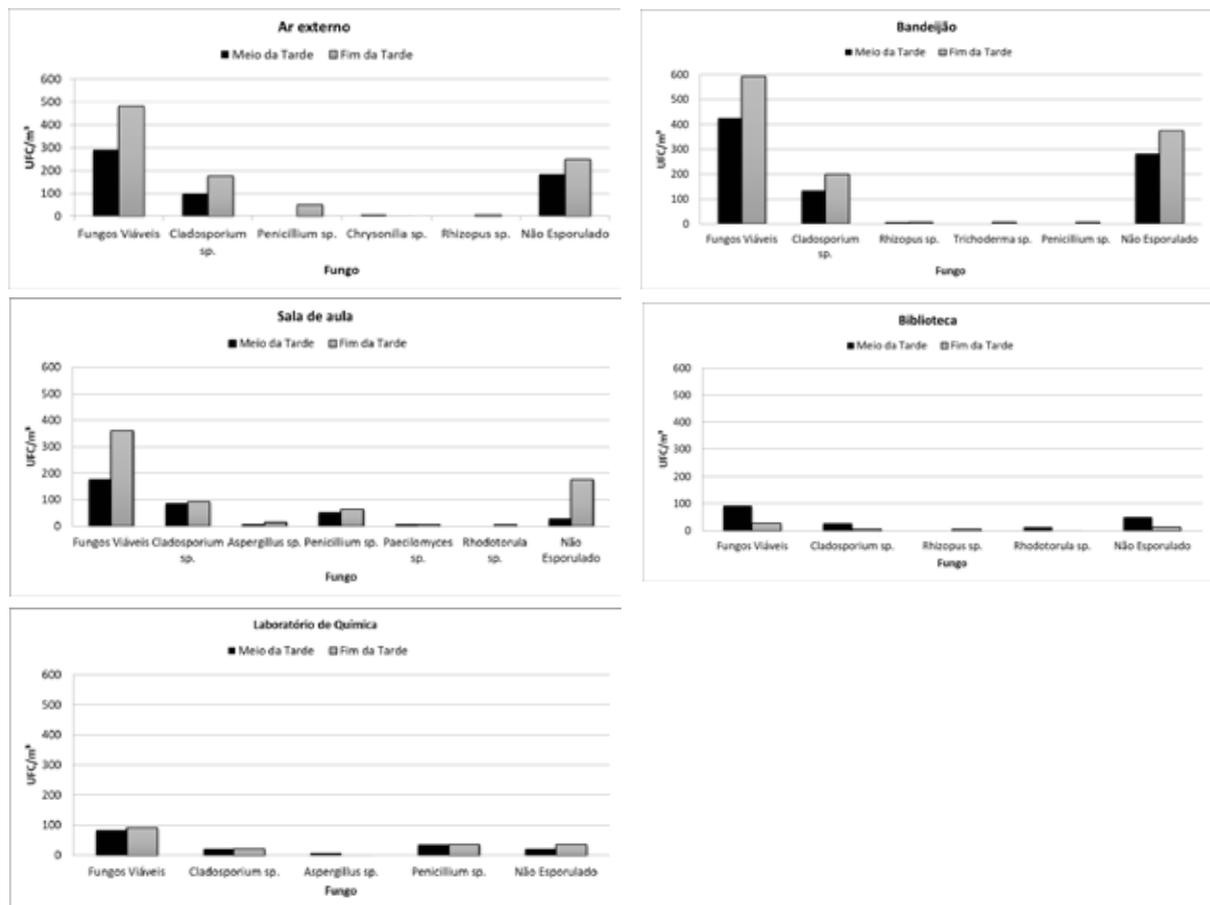


Figura 2. Presença de espécies fúngicas presentes no ar dos diferentes ambientes da PUC-Rio no início e final da tarde.

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^{-3}) 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^{-3} no início da tarde e 361 UFC m^{-3} 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⁻³).

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⁻³ e ao final da tarde 2.831 UFC m⁻³. 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 ⁻³)
Ar livre Meio da tarde Fim da tarde	502 < 2.830
Biblioteca Meio da Tarde Fim da Tarde	< 2.830 50
Laboratório Meio da tarde Fim da tarde	156 1.472
Sala de aula Meio da tarde Fim da Tarde	318 170
Restaurante Universitário 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 CO₂, UR e fungos. O CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂, HCHO, MP, fungos, bactérias e também os parâmetros físicos, temperatura e umidade relativa em ambientes internos e externos da Universidade. Dentre esses parâmetros, o CO₂ 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 CO₂ 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⁻³), 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 ^a - 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. Acessado em 16 de junho de 2024.