

PERCEPÇÃO DA QUALIDADE DO AR INTERIOR EM SALAS DE AULA URBANAS: ESTUDO DE CASO EM VITÓRIA-ES

PERCEPTION OF INDOOR AIR QUALITY IN URBAN CLASSROOMS: CASE STUDY IN VITÓRIA-ES

PERCEPCIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE INTERIOR EN AULAS URBANAS: CASO DE ESTUDIO EN VITÓRIA-ES

Saulo Vieira de Oliveira Silva¹, Erica Coelho Pagel², Alessandro José Queiroz Sarnaglia³, Felipe Barloesius Velten⁴

RESUMO:

A baixa qualidade do ar em interiores tem impactos negativos a saúde humana, sendo responsável pelo surgimento e agravamento de inúmeros sintomas respiratórios. Em escolas, diversos contaminantes têm alcançado concentrações acima das permitidas, principalmente devido a sua localização em áreas poluídas. Por outro lado, a percepção humana da qualidade do ar tem sido relacionada especialmente a questões térmicas, olfativas e visuais, sendo necessário mais estudos que associem a cognição humana com a presença de poluentes aéreos no ambiente. O objetivo deste estudo foi analisar os níveis de MP₁₀, MP_{2.5} e CO₂, com a percepção da qualidade do ar por estudantes de diferentes salas de aula, naturalmente ventiladas, em um Instituto de Educação localizado em uma zona urbana. A metodologia envolveu monitoramento dos poluentes e parâmetros ambientais, além da aplicação de questionários padronizados de percepção da qualidade do ar. Ao todo, foram respondidos 132 questionários por estudantes de diferentes turnos. Os resultados mostram que o nível de satisfação com a qualidade do ar foi considerado normal e bom, embora encontradas concentrações elevadas de material particulado nas salas de aula. Destaca-se que os alunos foram mais sensíveis ao MP₁₀, registrando em sua percepção a piora da qualidade do ar interior com o aumento da concentração desse poluente. No processo projetual, examinar a localização de janelas em relação a fontes de poluição do ar pode contribuir para garantir a qualidade do ar interior. O estudo reforça a importância do planejamento projetual com estratégias eficientes em busca de um ambiente educacional mais saudável.

PALAVRAS-CHAVE: qualidade do ar interior; percepção humana; salas de aula; material particulado

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (IFES).

²Universidade Vila Velha (UVV).

^{3,4} Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).

Fonte de Financiamento:
Declara não haver.

Conflito de Interesse:
Declara não haver.

Ética em Pesquisa:
N. processo CEP/CONEP:
50518321.5.0000.5064
N° do Parecer: 5.128.945.

Submetido em: 08/01/2024
Aceito em: 18/06/2024.

How to cite this article:

SILVA, Saulo V. de O.; PAGEL, Érica C.; SARNAGLIA, Alessandro J. Q.; VELTEN, Felipe B. Percepção da qualidade do ar Interior em salas de aula urbanas: estudo de caso em Vitória-ES. *Gestão & Tecnologia de Projetos*. São Carlos, v19, n2, 2024. <https://doi.org/10.11606/gtp.v19i2.221080>

ABSTRACT:

Poor indoor air quality negatively impacts human health and is responsible for the onset and exacerbation of many respiratory symptoms. In schools, several contaminants have reached concentrations above acceptable levels, mainly due to the fact that they are located in polluted areas. On the other hand, human perception of air quality has been related especially to thermal, olfactory and visual aspects, requiring more studies that associate human perception to environmental air pollutants. The aim of this study was to analyze PM_{10} , $PM_{2.5}$ and CO_2 levels with the perception of air quality by students in different classrooms of an Education Institute located in an urban area, which are naturally ventilated. The methodology included monitoring of pollutants and environmental parameters, in addition to the application of standardized air quality perception questionnaires. A total of 132 questionnaires were answered by students from different shifts. The results show that satisfaction with air quality was rated as normal and good, although high concentrations of particulate matter were measured in the classrooms. It is noteworthy that students were more sensitive to PM_{10} and noticed a deterioration in indoor air quality as the concentration of this pollutant increased. In the design process, examining the location of windows concerning sources of air pollution can improve indoor air quality. The study emphasises the importance of project planning with efficient strategies in the search for a healthier educational environment.

KEYWORDS: *indoor air quality; human perception; classrooms; particulate matter*

RESUMEN:

La baja calidad del aire interior tiene impactos negativos en la salud humana, siendo responsable de la aparición y empeoramiento de numerosos síntomas respiratorios. En las escuelas, varios contaminantes han alcanzado concentraciones superiores a las permitidas, principalmente debido a su ubicación en áreas contaminadas. Por otro lado, la percepción humana de la calidad del aire se ha relacionado especialmente con cuestiones térmicas, olfativas y visuales, requiriendo más estudios que asocien la cognición humana con la presencia de contaminantes del aire en el ambiente. El objetivo de este estudio fue analizar los niveles de PM_{10} , $PM_{2.5}$ y CO_2 , con la percepción de la calidad del aire por parte de los estudiantes en diferentes aulas, ventiladas naturalmente, de un Instituto de Educación ubicado en una zona urbana. La metodología implicó el monitoreo de contaminantes y parámetros ambientales, además de la aplicación de cuestionarios estandarizados de percepción de la calidad del aire. En total, 132 cuestionarios fueron respondidos por estudiantes de diferentes turnos. Los resultados muestran que el nivel de satisfacción con la calidad del aire se consideró normal y bueno, aunque se registraron altas concentraciones de partículas en las aulas. Se destaca que los estudiantes fueron más sensibles a las PM_{10} , registrando en su percepción el empeoramiento de la calidad del aire interior con el aumento de la concentración de este contaminante. En el proceso de diseño, examinar la ubicación de las ventanas en relación con las fuentes de contaminación del aire puede ayudar a garantizar la calidad del aire interior. El estudio refuerza la importancia de la planificación de proyectos con estrategias eficientes en busca de un ambiente educativo más saludable.

PALABRAS CLAVE: *calidad del aire interior; percepción humana; salas de clases; material particulado*

INTRODUÇÃO

A poluição atmosférica no mundo industrializado sofreu mudanças drásticas nos últimos 50 anos (Fenger, 2009). Até depois da Segunda Guerra Mundial, o poluente urbano mais importante era o dióxido de enxofre combinado com fuligem proveniente da utilização de combustíveis fósseis na produção de calor e energia. Quando esse problema foi parcialmente resolvido através de combustíveis mais limpos, o tráfego crescente deu origem aos óxidos de nitrogênio e aos compostos orgânicos voláteis. Simultaneamente, o tempo e a escala geográfica de interesse aumentaram, com a poluição impactando os ecossistemas, depois a destruição da camada de ozônio, e conseqüentemente o crescente efeito estufa com as alterações climáticas (Monks *et al.*, 2009). Contribuiu ainda neste aspecto, o crescimento a nível mundial das áreas urbanas, seja por fatores de ordem econômica, social ou de outra natureza (Jabour de França; Bergamaschi, 2011) e a saturação da malha viária, principalmente em horários de pico nas grandes cidades (Ferreira; Cardoso, 2013).

Embora seja notório que a poluição da atmosfera urbana por si só represente um problema urgente, por outro lado ela também é uma grande fonte de contaminantes para os ambientes internos, uma vez que estes entram pelas janelas, portas e sistemas de ventilação, representando uma fonte de poluição para o ar interior (Pagel *et al.*, 2016; Santos *et al.*, 2011). Estudos indicam que, em ambientes internos, o ar pode ser rico em poluentes físicos, químicos e biológicos uma vez que as taxas de renovação de ar frequentemente são baixas. Nesses locais, a concentração de contaminantes em suspensão pode ser de duas a cinco vezes maior se comparado ao ar externo (Godish; Davis; Fu, 2014).

Em escolas, poluentes têm alcançado concentrações acima das permitidas pelos padrões de qualidade (Deng; Lau, 2019). Há trabalhos que apontam a influência da qualidade do ar em salas de aula no rendimento dos alunos, no que diz respeito à saúde, à participação, ao absenteísmo e ao desempenho dos estudantes em tarefas escolares (Sadrizadeh *et al.*, 2022; Silva *et al.*, 2022). Portanto, a preocupação com o acúmulo de poluentes se relaciona a uma questão de saúde no ambiente escolar, que ganhou mais força e atenção após a Doença do Coronavírus 2019, conhecida como Covid-19, caracterizada como uma infecção respiratória causada pelo vírus SARS-CoV-2, cujo modo primordial de transmissão é de pessoa para pessoa, através do contato com gotículas em suspensão ou pelo toque nos olhos, boca ou nariz após o contato com superfícies contaminadas (WHO, 2021 a; Silva; Pagel, 2023).

A norma ISO 16000-44 (ISO, 2020) define “Percepção da Qualidade do ar (PQA)” como a qualidade do ar percebida pelos seus ocupantes. É quantitativamente expressa pela porcentagem de pessoas que consideram a qualidade do ar como inaceitável (percentual de insatisfação). Entretanto, nenhum limite é definido para esse percentual. O padrão ASHRAE 62-1989R (ASHRAE, 1996) define uma “QAI aceitável” como o ar em um espaço ocupado no qual uma maioria substancial dos ocupantes não expressam insatisfação e provavelmente não contenha contaminantes em concentrações que levam a um risco significativo para a saúde. Contudo, da mesma forma que a ISO 16000, nenhum requisito quantitativo é descrito.

Neste sentido, estudos mostram que a Qualidade do Ar de Interiores (QAI) é mais associada a percepções térmicas e olfativas, sendo menos explorada, de fato, a relação da percepção com a presença de poluentes atmosféricos, devido à complexidade de resposta do sistema respiratório humano. Um estudo com estudantes de 26 escolas na Itália mostra que a percepção de uma boa qualidade do ar foi inversamente proporcional à temperatura operativa e à concentração de dióxido de carbono (CO₂) (Torriani; Lamberti; Babich, 2023).

O dióxido de carbono (CO₂) é um gás oriundo da atividade metabólica do organismo humano. Tradicionalmente, considera-se que altos níveis deste gás sinalizam que outros poluentes podem alcançar altas concentrações. Por isso, sua quantidade é um indicador da renovação

do ar e da qualidade do ar interior (Satish *et al.*, 2012). Desta forma, alguns autores associam a percepção da qualidade do ar com os seus níveis e, conseqüentemente, com a ventilação do ambiente (Vasquez *et al.*, 2023). A análise de Wargocki *et al.* (2020) prevê que a redução da concentração de CO₂ de 2.100 ppm para 900 ppm melhora o desempenho em testes psicológicos e tarefas escolares em 12% no que diz respeito à velocidade com que as tarefas são realizadas e em 2% no que diz respeito aos erros cometidos. Os estudos mostram ainda que aumentar a taxa de ventilação nas salas de aula, na faixa de 2 L/s por pessoa a 10 L/s por pessoa pode trazer benefícios significativos em termos de desempenho de aprendizagem e frequência dos alunos. Há trabalhos que apontam que o aumento da ventilação fez a qualidade do ar interior ser mais percebida e mais aceitável (Wargocki *et al.*, 2008). A piora da qualidade do ar associada a concentrações mais altas de CO₂ foi percebida em salas de aula com ventilação natural (Korsavi; Montazami; Mumovic, 2020), além de também associada ao nível de escolaridade em adultos (Liao *et al.*, 2015) e a aspectos olfativos e visuais em crianças de baixa renda, como a presença de odores e sujeira (Kim; Senick; Mainelis, 2019).

Poluente atmosférico é qualquer forma de matéria que, segundo sua quantidade, concentração, tempo de permanência ou outra característica, tem o efeito de tornar o ar inconveniente ao bem-estar, à segurança, às atividades comunitárias, prejudicial ao gozo da propriedade ou, mais grave, ser impróprio à saúde ou lesivo a ela (CONAMA, 2018). Material Particulado (MP) é o nome dado a um grupo de poluentes de diferentes origens e constituições, composto por partículas sólidas ou líquidas em suspensão no ar. Pode ser de origem mineral, orgânica, entre outras e pode ser classificado em Material Particulado Grosso (MP₁₀, $\varnothing < 10 \mu\text{m}$) e Material Particulado Fino (MP_{2,5}, $\varnothing < 2,5 \mu\text{m}$). O MP₁₀ compreende a faixa considerada de partículas inaláveis (ou grossas), que ficam retidas na parte superior do trato respiratório. Abaixo de 2,5 μm , estão as partículas finas (respiráveis), que podem ser carregadas aos alvéolos pulmonares e, por isso, podem ter efeitos mais danosos a saúde humana (Seinfeld; Pandis, 2016). O quadro 1 apresenta os parâmetros de qualidade do ar para material particulado, de acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS).

Poluente	Período considerado	Concentração limite
MP _{2,5}	1 ano (média)	5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	24 horas (média)	15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
MP ₁₀	1 ano (média)	15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	24 horas (média)	45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Quadro 1. Níveis máximos recomendados, conforme Diretrizes da Qualidade do Ar de 2021.

Fonte: WHO, 2021b

No meio urbano, em locais passíveis de alto nível de partículas poluentes, a percepção dos usuários pode levar a conclusões imprecisas e estimular atitudes que, além de causarem o uso inadequado de aberturas para ventilação, pelo fechamento de janelas ou outros dispositivos ou pela alteração das características construtivas, podem também agravar a condição da qualidade do ar interior, inclusive levando ao aumento da concentração média de material particulado presente nos ambientes internos (Pagel; Alvarez; Júnior, 2018).

Para dar suporte ao crescimento das cidades e da população que nela habita, muitas escolas se localizam em áreas com altos níveis de poluição, sendo, portanto, impactadas pela poluição atmosférica local (Lee; Chang, 2000). Sendo assim, a fonte primária de MP em escolas é o ar externo. Concentrações altas de MP em áreas industriais, induzidas pelo tráfego de veículos e caminhões pesados, impactaram a qualidade do ar interno em escolas, principalmente quando os edifícios estão localizados próximos a rodovias (Chithra; Shiva Nagendra, 2012).

Tem-se que as respostas humanas à qualidade do ar interior podem ser diferenciadas em duas categorias principais: respostas perceptivas e mecanismos fisiológicos diretos e indiretos (Wai; Willem, 2019). Os mecanismos subjacentes relativos à forma como os

poluentes do ar interior afetam os seres humanos ainda não foram totalmente investigados e compreendidos. Atualmente, o principal consenso entre os pesquisadores é que existem efeitos adversos da poluição do ar interno nos sintomas da chamada Síndrome do Edifício Doente (SED) e nas percepções gerais da qualidade do ar. Esses efeitos são influenciados pelo ambiente térmico por meio do olfato, entretanto, faltam evidências que apoiem as associações entre os indicadores fisiológicos e as respostas perceptivas, por meio de biomarcadores específicos dessas associações.

Considerando, portanto, a importância de estudos que envolvam a percepção da qualidade do ar de interiores com a presença de poluentes atmosféricos, o objetivo desta pesquisa foi analisar os níveis dos poluentes MP₁₀ e MP_{2.5}, e a concentração de CO₂, com a percepção da qualidade do ar por estudantes de diferentes salas de aula, naturalmente ventiladas, em um Instituto de Educação localizado em uma zona urbana de clima tropical quente e úmido, situada no Município de Vitória-ES, na Zona Bioclimática 8 (ABNT, 2005). É importante dizer que o estudo foi realizado durante a pandemia do SARS-CoV-2, durante a qual a ocupação das salas era de 50% em relação a períodos normais. Os estudantes usavam máscaras faciais.

A QUALIDADE DO AR INTERIOR (QAI)

Sabe-se que a poluição do ar externo impacta diversos elementos do ambiente. A baixa qualidade do ar em ambientes internos pode trazer prejuízos ao organismo humano, e essa questão muitas vezes não recebe a necessária atenção durante o planejamento projetual, mesmo de engenheiros e arquitetos (Keeler; Vaidya, 2018).

Grande parte das atividades é realizada em ambientes internos. Uma pesquisa indicou que os americanos passam 86,9% do tempo dentro das edificações, sejam eles residências (68,7%), locais de trabalho, bares, restaurantes, escolas, entre outros (Klepeis *et al.*, 2001). O uso dos espaços interiores é inerente à humanidade, seja pela necessidade de abrigo do tempo e do clima, seja pelo conforto e conveniências oferecidas pelas estruturas que nos permitem desempenhar nossas atividades. Uma das possíveis consequências do adensamento das cidades é a precarização dos espaços abertos, que reduz a quantidade e/ou a qualidade das áreas livres e força a demanda por espaços internos (Figueiredo, 2012).

O estilo de vida urbano contemporâneo se caracteriza pelo fato de as pessoas passarem muitas horas, diariamente, dentro de ambientes residenciais ou não residenciais. As pessoas, ao providenciarem abrigo e comodidades para suas atividades, inadvertidamente ou deliberadamente introduzem contaminantes que potencialmente diminuem a qualidade do ar e trazem riscos à sua saúde. Ambientes internos podem estar contaminados por substâncias tóxicas perigosas de origem física, química e biológica (Godish; Davis; Fu, 2014).

O campo de estudo da Qualidade do Ar Interior (QAI), por vezes também denominada Qualidade do Ar de Interiores, se desenvolveu a partir de alguns acontecimentos históricos. Na década de 70 do século XX, em virtude da crise do petróleo, iniciou-se uma tendência de “envelopar” os edifícios com objetivo de economizar energia, pois as trocas de ar alteravam a temperatura interna. Sendo mais econômico recircular o ar, percebeu-se, como contraponto, a redução de sua qualidade, o que começou a interferir no aumento de doenças transmitidas por essa via (Brickus; Aquino Neto, 1999). A banalização do estilo internacional, traduzida na construção de caixas de vidro em edifícios hermeticamente fechados, foi repetida em cidades de todo o mundo, sob a crença de que sistemas de climatização são suficientes para garantir a qualidade ambiental, em detrimento da adoção de sistemas passivos, tanto quanto possível, o que é mais adequado do ponto de vista da sustentabilidade.

Essa tendência contribuiu para o surgimento da denominada Síndrome do Edifício Doente (SED). Esse termo, bastante difundido na mídia e em trabalhos acadêmicos, se refere à

manifestação de sintomas ou problemas de saúde relacionados à utilização de uma edificação. Alguns autores consideram o nome inadequado por qualificar um objeto como “doente” e separam SED – em inglês: *SBS – Sick Building Syndrome* – de Doenças Relacionadas a Edifícios (DRE) – em inglês: *BRI – Building Related Illness*. O primeiro termo se refere ao agravamento por sintomas transitórios e desconhecidos, enquanto o segundo, por doenças verdadeiras (não somente sintomas), como asma ou infecções (Carmo; Prado, 1999; EPA, 1991).

Os principais sintomas da SED são: irritação da membrana mucosa da garganta, nariz e olhos, náuseas, dor de cabeça, fadiga, falta de concentração. São verificados enquanto ocorre a utilização do edifício pois, ao sair do local, ocorre a diminuição ou desaparecimento (Thörn, 1998). Para caracterizar a SED, basta que se manifestem em torno de 20% das pessoas (Schirmer *et al.*, 2011). Sobretudo, a baixa qualidade do ar no interior das edificações se constitui o aspecto de maior relevância entre os causadores do problema. No Brasil, um fato marcante motivou estudos da qualidade do ar de interiores: a morte do Ministro das Comunicações Sérgio Motta, atribuída a uma pneumonia causada pela bactéria *legionella pneumophila*, na poeira dos dutos do ar-condicionado (Senado Federal, 2009).

Sendo assim, a eficiência das trocas de ar nos edifícios, principalmente associadas a uma adequação projetual ao clima e ao conforto dos usuários, deve compor diretrizes a serem atendidas desde as etapas iniciais de projeto (Lamberts; Dutra; Pereira, 2014; Keeler; Vaidya, 2018). A Qualidade Ambiental Interior (*Indoor Environmental Quality – IEQ*) é um campo de estudo da Arquitetura que aborda os diversos fatores relativos aos ambientes internos de uma edificação, que podem afetar os ocupantes nos quesitos conforto, bem-estar e saúde (Toyinbo, 2019). Esses fatores podem ser de ordem biológica, química ou física, estudados por disciplinas como Conforto Térmico, Visual, Lumínico, Ergonômico e a própria Qualidade do Ar Interior (Akanmu; Nunayon; Eboson, 2020; Karapetsis; Alexandri, 2016).

A ventilação dos ambientes é um meio para se obter adequada qualidade do ar em interiores. Por isso, o escoamento de ar proporcionado pelas aberturas de janelas¹, portas e outros elementos de ventilação tem o objetivo de promover a renovação de ar, como também de diluir ou remover odores e poluentes (Lamberts; Dutra; Pereira, 2014; Sundell, 2004). Uma das causas desse movimento é a incidência de vento externo sobre o edifício, que origina uma diferença de pressão entre o interior e o exterior. Quando isso ocorre, pressões positivas diretamente atuam sobre a fachada, enquanto nas paredes opostas, negativas. Outra causa é o desequilíbrio de temperaturas do ar entre os ambientes externo e interno que movimentam o ar, o que se denomina impulsão térmica ou, ainda, efeito chaminé (Amaral, 2008).

Em escolas, muitas vezes a eficiência da ventilação natural pode ser comprometida devido às áreas insuficientes de aberturas, como também pelo comportamento dos ocupantes quanto ao seu uso, não permitindo a renovação do ar (Silva *et al.*, 2022). Problema semelhante é também passível de ocorrer com o projeto (ou uso) inadequado de sistemas de ventilação mecânicos (aquecimento, ventilação e ar-condicionado – AVAC) quando priorizam a recirculação de ar pelos ambientes, privilegiando-se princípios de condicionamento térmico e eficiência energética em sobreposição aos requisitos de saúde e qualidade do ar (Mitchell; Braun, 2018).

QUALIDADE DO AR INTERIOR EM SALAS DE AULA

Há registros de pesquisas de qualidade do ar em escolas realizadas no século XIX por Elias Heyman (1829-1889), o primeiro professor de higiene no Instituto Karolinska (Suécia). Ele

-
- O dimensionamento adequado das janelas desempenha um papel crucial na promoção da ventilação natural e na melhoria da qualidade do ar interior, podendo ajudar na renovação de ar, na redução da concentração de poluentes, no controle da umidade e a proporcionar conforto.

conduziu um estudo em escolas e observou concentrações máximas de CO₂ atingindo de 1500 a 3000 ppm para ambientes com ventilação e superiores a 5000 ppm para os sem ventilação (Sundell, 2004).

A relação que o usuário tem com o ambiente no meio escolar difere significativamente da prática no contexto residencial. Nos lares, as pessoas possuem algum grau de liberdade para modificações e adequações ou mesmo para controlar os espaços, enquanto em ambientes não residenciais, o mesmo não ocorre, sendo de responsabilidade e gerência de outros. Por outro lado, o ambiente escolar cuja finalidade é prover local para o sucesso da relação ensino-aprendizagem, os aspectos multidisciplinares possuem grande influência neste processo, como currículo, método de ensino, formação de professores e também as características arquitetônicas, que influenciam as ações de estudantes e professores e promovem um ambiente saudável para os ocupantes (Kowaltowski, 2011).

Desta forma, ao longo do tempo, com significativa produção a partir da década de 1990, diversos estudos sobre a qualidade do ar em espaços escolares foram realizados com variadas abordagens: investigação de poluentes microbiológicos, especialmente fungos, e sua relação com a síndrome do edifício doente (Cooley *et al.*, 1998; Levetin *et al.*, 1995); exposição e percepção da qualidade do ar pelos usuários (Levetin *et al.*, 1995); relação entre QAI e asma (Smedje; Norbäck; Edling, 1997); comparação entre poluentes internos e externos (Lee, 1999); a ventilação em salas de aula como forma de melhoria do ambiente (Lugg; Batty, 1999), a influência das fontes de poluição externa nas concentrações de poluentes no ar interno (Becerra *et al.*, 2020; Jan *et al.*, 2017; Stabile *et al.*, 2017; Ahmed; Kumar; Mottet, 2021), dentre outros. Atualmente, se destacam as pesquisas relacionadas a ventilação e a renovação de ar, observada pelas concentrações de dióxido de carbono (Korsavi; Montazami; Mumovic, 2020; Schibuola; Scarpa; Tambani, 2016), por padrões ocupacionais, construtivos e de utilização do ambiente (Majd *et al.*, 2019), principalmente após a pandemia do COVID-19 (Li; Cai, 2022; Monge-Barrio *et al.*, 2022; Trilles *et al.*, 2021).

O trabalho feito por Modler *et al.* (2018), avaliou o desempenho de um projeto padrão em ambientes ocupados de uma escola de educação infantil no Sul do Brasil. Seus resultados constataram a inadequada qualidade do ar interior devido ao comportamento dos usuários (professores) que, ao fecharam as esquadrias, impossibilitaram a ventilação suficiente nas salas de aula. Outras pesquisas avaliaram o comportamento adaptativo na ação de fechar ou não as janelas, com base na ação de professores e estudantes em salas de aula. Uma delas é a de Korsavi, Montazami e Mumovic (2020), no Reino Unido, que como resultados da má utilização das esquadrias registrou 1155 ppm para concentração média (total) de CO₂ e 2269 ppm de máxima na estação fria e 3360 ppm na estação quente. Os autores identificaram que o uso das janelas se deu com base na percepção de conforto térmico e não pela percepção da qualidade do ar. Schibuola, Scarpa e Tambani (2016) registraram, em salas de aula da Itália, 1406 ppm de média e máxima superior a 5000 ppm devido à ineficiência da renovação de ar.

A pesquisa feita por Majd *et al.* (2019), avaliou padrões construtivos, ocupacionais e comportamentais em salas de aula em região urbana de Baltimore, Estados Unidos. Seus resultados apontaram que o uso da ventilação natural foi responsável pelo aumento das concentrações de poluentes de origem exterior. Outros estudos documentam que, em locais próximos a fontes de poluição, como indústrias ou vias de grande tráfego de veículos, o próprio sistema de ventilação pode ser responsável pelo aumento das concentrações de poluentes em interiores, apesar de muitas vezes estarem reduzidas as concentrações de dióxido de carbono. É o que constatou a pesquisa de Stabile *et al.* (2017), ao registrar o agravamento na qualidade do ar interior em salas de aula pelo aumento dos níveis de MP₁ ($\varnothing < 1\mu\text{m}$). Ahmed, Kumar e Mottet (2021) constataram altos níveis de MP_{2,5} em escolas, devido à abertura de janelas em áreas com alto nível de poluição urbana.

Na Espanha, Monge-Barrio *et al.* (2022) fizeram um monitoramento no contexto de retorno da pandemia de COVID-19, em meio à aplicação de protocolos de enfrentamento, entre eles, a melhoria da ventilação por meio da abertura de janelas durante as aulas e intervalos. Como resultados, observou-se uma redução de cerca de 1400 ppm de CO₂ em relação aos valores anteriores às medidas adotadas, com médias de 1105 ppm e máxima abaixo de 2000 ppm.

Resultados que também indicaram a melhoria da ventilação pela abertura de portas e janelas em salas de aula foram apontados pela pesquisa de Trilles *et al.* (2021), feita em duas escolas da Espanha, que apresentou concentrações médias de 460,92 ppm e máxima média de 1127,5 ppm de dióxido de carbono para a escola 01 e de 466,28 ppm e 1530,5 ppm para a escola 02.

Apesar do crescente interesse global na qualidade do ar interior e seus impactos na saúde humana e no bem-estar, ainda existe uma lacuna significativa de pesquisas dessa temática no Brasil, de forma que estudos nessa área podem contribuir para a promoção de uma arquitetura com ambientes internos seguros e saudáveis.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia deste trabalho foi dividida em três etapas: a) caracterização do ambiente e descrição da campanha experimental de monitoramento das concentrações externas e internas de MP, b) aplicação dos questionários de percepção da qualidade do ar aos estudantes e c) análise estatística associando as concentrações dos poluentes monitorados às respostas dos usuários.

CAMPANHA EXPERIMENTAL

A Instituição de Ensino escolhida se localiza no município de Vitória-ES, que é posicionado na Zona Bioclimática 8 (ZB8) (ABNT, 2005), na Latitude -20.32 e Longitude -40.34, no fuso horário UTC -3 (IBGE, 2021), possuindo uma população estimada de 322.869 pessoas (IBGE, 2022). O município faz parte da Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV), que possui, como características climáticas, uma estação chuvosa a partir de novembro e no verão, como também uma estação seca bem definida no inverno (IEMA, 2022). Apesar de as temperaturas máximas alcançarem valores elevados no verão, as médias apresentam leve variação com o passar das estações. A Figura 1 apresenta as normais climatológicas considerando o período de 1991 a 2020, segundo monitoramento da estação climatológica Vitória, conforme Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA, 2022).

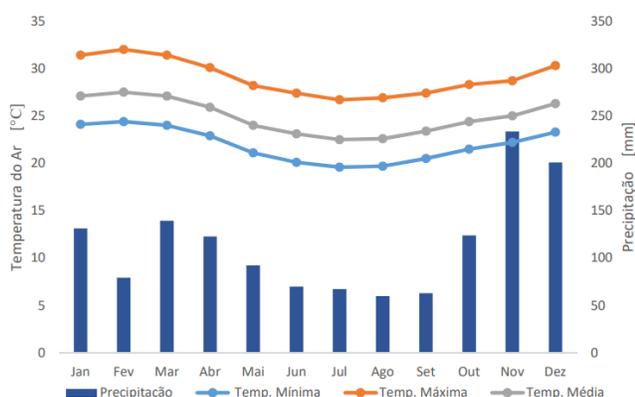


Figura 1. Normais climatológicas da estação climatológica Vitória (temperatura e precipitação), de 1991 a 2020, segundo dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Fonte: IEMA (2022)

O crescimento da cidade foi tardio e se caracterizou por grandes mudanças em pouco mais de um século e se deveu, entre outros fatores, ao desenvolvimento industrial nas décadas de 1970, 80 e 90. A implantação da Siderúrgica de Tubarão, em 1976, acompanhado das demais atividades portuárias e industriais, causaram o agravamento da poluição do ar na cidade. Soma-se o aumento do adensamento urbano com a ocupação de lotes e verticalização das edificações, bem como o crescimento de novos centros de comércio dos anos 2000 a 2010 (PMV, 2018).

A escola deste estudo está situada em frente a Avenida Vitória (Figura 2), que serve 11 bairros e é rota de conexão com os municípios vizinhos, de Serra, Vila Velha e Cariacica.

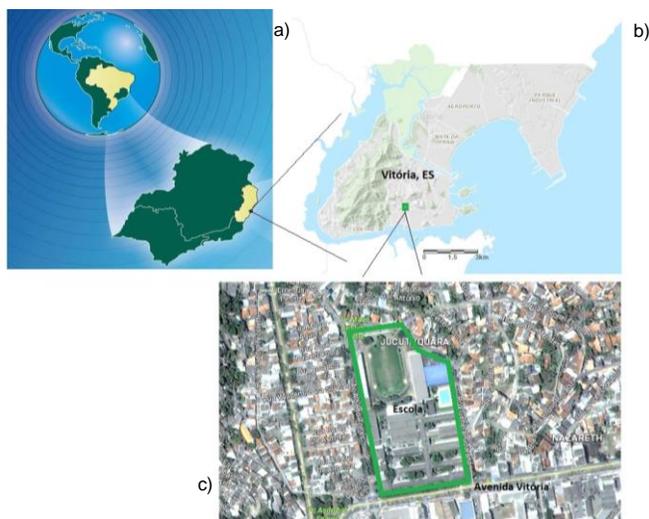


Figura 2. a) localização do Estado do Espírito Santo; b) vista superior de Vitória, ES, c) localização da Escola em frente a Avenida Vitória.

Fonte: os autores (2024), adaptado de IJSN (2022) e Geowebvitoria (2022).

No campus dessa unidade de ensino, 03 locais foram escolhidos para monitoramento, sendo um ponto externo (EXT), localizado no hall de entrada na portaria principal de alunos e dois pontos internos em salas de aula situadas em diferentes blocos: a sala H4 – com aberturas de janelas voltadas para a avenida principal e a sala E5 – com as aberturas de janela voltadas para um pátio descoberto interno (Figura 3).



Figura 3. a) planta da Instituição de Ensino e localização dos ambientes monitorados, sendo: 1 – Hall Externo (EXT); 2 – Sala H4; 3 – Sala E5.

b) vista do ambiente externo (EXT); c) localização do instrumento de medição no ponto externo; d) vista interna da sala H4; e) vista interna da sala E5.

Fonte: os autores (2024).

As salas de aula H4 e E5 possuíam aparelhos de ar-condicionado do tipo Split instalados. Como esses equipamentos não tem sistema integrado de renovação de ar, houve orientação, da instituição de ensino, de manter aberturas de janelas durante as aulas, pois se tratava do retorno pós-pandemia. Os usuários tiveram liberdade de uso das janelas, portas e ar-condicionado. Desta forma, houve momentos de utilização dos equipamentos de climatização em conjunto com aberturas das esquadrias, sejam somente janelas, porta, ou ambos abertos. Além disso, em menor número, também houve momentos de fechamento total. Tais combinações foram devidamente registradas e consideradas na análise estatística, incluindo as concentrações monitoradas pelos instrumentos de medição.

As dimensões dos ambientes H4 e E5, bem como de suas janelas e portas e demais informações correlatas, são dispostos na Tabela 1. Planta e corte de cada sala monitorada são apresentados na Figura 4.

Sala	Área do piso (m ²)	Volume interno (m ³)	Janelas			Dimensões da porta (m)	
			Nº	Área nominal	Orientação		
H4	47,95	150,08	02	6,40 m ²	S/SE	Correr 4 f.	0,80 x 2,10
E5	86,18	293,02	02	14,76 m ²	S/SE	Maxim-ar 10 f.	0,98 x 2,10

Tabela 1. Dados de dimensões dos ambientes e respectivas esquadrias

Fonte: os autores (2024).

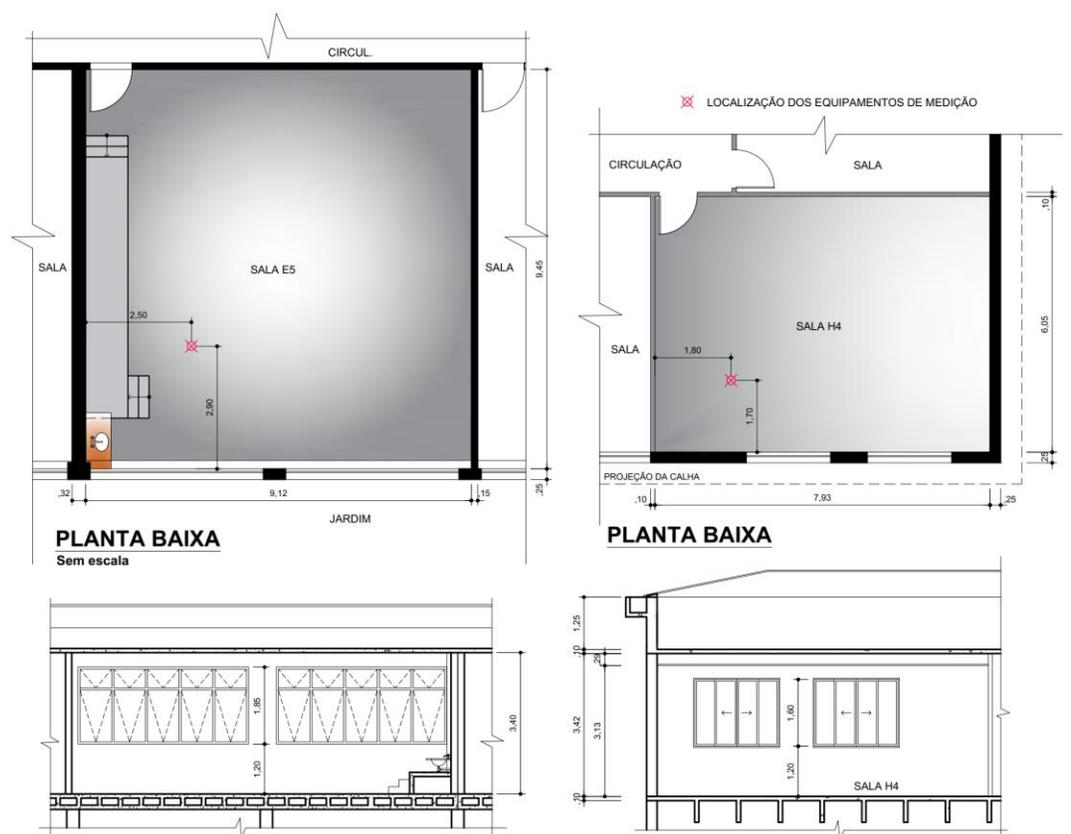


Figura 4. Plantas Baixas com as localizações dos instrumentos de medição e cortes das salas H4 e E5.

Fonte: os autores (2024).

Devido a pandemia do COVID-19, a campanha foi realizada em duas etapas: campanha 1 de 26 de julho a 01 de outubro de 2021 com monitoramento de poluentes e sem a presença de

alunos e a campanha 2 entre os dias 03 de novembro e 17 de dezembro de 2021 com monitoramento dos poluentes e a presença de alunos. Foram monitorados minuto a minuto os poluentes (MP_{2,5} e MP₁₀) e parâmetros ambientais (temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento) nas salas de aula, de 7h00 às 18h00, de segunda a sexta-feira, com uso de três sensores (Quadro 2). Os equipamentos foram posicionados sobre uma mesa, de forma que o monitor ficou posicionado numa base de 10 cm, o que totalizou 0,86 m de altura, representando a zona da respiração humana de uma pessoa sentada. Num diário, foram registrados os padrões de abertura de janelas, portas, sistemas de climatização e número de ocupantes.

Modelo	Fotografia	Deteção	Faixa de medição e sensibilidade	Tipo de sensor
Temtop M2000 2nd Generation		CO ₂	0 a 5000 ppm Resolução: 1 ppm Precisão: ± 50 ppm	Non-Dispersive Infrared Sensor (NDIR)
		MP _{2,5}	0 a 999 µg/m ³ Resolução: 0,1 µg/m ³ Precisão: ± 10%	Laser PM sensor
		MP ₁₀	0 a 999 µg/m ³ Resolução: 0,1 µg/m ³ Precisão: ± 15%	Laser PM sensor
Anemometer (Termo-hidro-anemômetro)		Temperatura	0 a 45 °C Resolução: 0,1 °C Precisão: ± 1,0 °C	Sensor de temperatura NTC
		Umidade	10 a 100 % Resolução: 0,1 % Precisão: ± 5%	Sensor de umidade capacitivo
		Velocidade do vento	0,0 a 45 m/s Resolução: 0,01 m/s Precisão: ± 3% ± 0,1	Sensor de molinete

Quadro 2. Instrumentos de medição e suas características

Fonte: manuais Temtop (Elitech) e Anemometer

QUESTIONÁRIOS

Dois questionários foram aplicados nos períodos de ocupação, durante a campanha 2, com objetivo de relacionar a percepção dos usuários quanto à qualidade do ar e os dados monitorados. Todas as questões, em ambos, foram adaptadas de formulários utilizados como na pesquisa de Haddad *et al.* (2021). O primeiro questionário aborda, além das características gerais do respondente, tais como, sexo e idade, a percepção em relação a qualidade do ar durante a aplicação, possibilitando relacionar as respostas às condições e variáveis monitoradas naquele no momento. As questões indagam a sensação de conforto térmico dos usuários, com perguntas sobre a temperatura, movimentação do ar, vestimenta, e suas impressões quanto à sua percepção e caracterização da qualidade do ar na sala de aula.

O segundo questionário objetivou registrar as impressões gerais sobre o conforto térmico e qualidade do ar dos ambientes internos, além de perguntas sobre as condições de saúde dos usuários e informações acerca das possibilidades de apropriação dos equipamentos de ventilação na sala de aula, como janelas e ar-condicionado. De forma a atingir o objetivo do trabalho de avaliação da percepção do estudante em relação a qualidade do ar, não houve questionamentos sobre sintomas adversos de saúde específicos. Perguntou-se a respeito do sentimento de cansaço, condição geral de saúde, presença de doença e alergia, conforme metodologia aplicada também nos estudos de percepção de Haddad *et al.* (2021).

Essa pesquisa foi aprovada no Comitê de Ética em Pesquisa por meio da Universidade Vila Velha, conforme parecer nº 5.128.945, sob protocolo na Plataforma Brasil CAAE: 50518321.5.0000.5064, assim como autorizada pela direção da Instituição de Ensino. Antes da aplicação, a pesquisa foi apresentada aos professores e alunos das salas selecionadas para o estudo. Informações sobre os objetivos da pesquisa, confidencialidade dos resultados e garantia de privacidade foram fornecidas. Cada participante assinou o termo de consentimento livre e esclarecido e, posteriormente, respondeu aos questionários. Os questionários 1 e 2 foram aplicados entre os dias 30 de novembro e 13 de dezembro de 2021, nas turmas dos cursos técnicos e superior, nos turnos matutino e vespertino.

O estudo em questão trata-se de uma pesquisa exploratória, sendo necessários estudos complementares para que as recomendações possam ser extrapoladas a outras edificações escolares.

ANÁLISE ESTATÍSTICA

Quanto à análise dos dados dos questionários, inicialmente fez-se uma análise descritiva. Em seguida, em busca de associações entre as variáveis monitoradas que poderiam apresentar influência nas avaliações dos alunos, aplicou-se o teste de independência de qui-quadrado. Após essa etapa, utilizou-se a técnica de regressão ordinal para verificar a relação entre as variáveis, com intuito preditivo, como forma de verificar a influência dos dados monitorados no ambiente sobre a avaliação a respeito da qualidade do ar realizada pelos ocupantes.

A regressão ordinal é uma técnica pertencente à família de análises de regressão, com intuito preditivo (Harrel, 2001). Descreve dados, além de explicar a relação entre uma variável dependente e uma ou mais variáveis independentes. O objetivo foi realizar uma modelagem para entender que fatores possuem influência sobre a avaliação dos alunos a respeito da qualidade do ar. Para tanto, a fim de mensurar-se o efeito das concentrações de poluentes sobre as respostas do questionário 1, calcularam-se médias de CO₂, de MP_{2,5} e MP₁₀ em diferentes períodos (02 horas, 01 hora, 30 minutos, 20 minutos e 10 minutos) anteriores ao instante da aplicação, e o período que melhor contribuiu no ajuste do modelo foi o de 01 hora. Considerou-se também a temperatura do ambiente no momento da avaliação dos alunos.

Buscou-se ajustar o modelo de forma que permitisse associar eficiência, interpretabilidade e capacidade de generalização, com base ainda na porcentagem de acerto das previsões e no Critério de Informação de Akaike (AIC). Para obter-se ajuste satisfatório, recategorizou-se a variável resposta (qualidade do ar) para três opções: boa, normal e ruim. Da mesma forma, agrupou-se a covariável sensação térmica em três categorias: com calor, neutro e com frio.

Na definição do modelo, considerou-se Y a variável ordinal com J categorias. Então $P(Y \leq j)$ é a probabilidade cumulativa de Y menor ou igual a uma categoria específica $j = 1, \dots, J - 1$. As chances de ser menor ou igual a uma determinada categoria podem ser definidas como (Equação 1):

$$\frac{P(Y \leq j)}{P(Y > j)}$$

Equação 1

Trabalhou-se e modelou-se o log das probabilidades, de modo que (Equação 2):

$$\log\left(\frac{P(Y \leq j)}{P(Y > j)}\right) = \log\left(\frac{P(Y \leq j)}{1 - P(Y \leq j)}\right) = \text{logit}(P(Y \leq j)) \quad \text{Equação 2}$$

O modelo de regressão ordinal é definido como (Equação 3):

$$\text{logit}(P(Y \leq j)) = \beta_{0j} + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_p x_p \quad \text{Equação 3}$$

No R, onde foi realizada toda a análise, o modelo é parametrizado como (Equação 4):

$$\text{logit}(P(Y \leq j)) = \beta_{0j} - \eta_1 x_1 - \dots - \eta_p x_p, \text{ sendo } \eta_i = \beta_i \quad \text{Equação 4}$$

Para interpretação dos coeficientes, a partir da definição do modelo, percebe-se que:

$$\text{logit}(P(Y \leq j) | x_1 = 1) - \text{logit}(P(Y \leq j) | x_1 = 0) = (\beta_{0j} - \eta_1 x_1 - \dots - \eta_p x_p) - (\beta_{0j} - \eta_1 x_0 - \dots - \eta_p x_p)$$

Logo,

$$\text{logit}(P(Y \leq j) | x_1 = 1) - \text{logit}(P(Y \leq j) | x_1 = 0) = -\eta_1 \quad \text{Equação 5}$$

Utilizando-se a propriedade $\log(a) - \log(b) = \log(a/b)$, tem-se (Equação 6):

$$\frac{\frac{P(Y \leq j | x=1)}{P(Y > j | x=1)}}{\frac{P(Y \leq j | x=0)}{P(Y > j | x=0)}} = \exp\{-\eta_1\} \quad \text{Equação 6}$$

Portanto, tem-se a razão de chances de pertencer a uma categoria j ou inferior. Como

$$\exp(-\eta) = \frac{1}{\exp(\eta)}, \text{ então (Equação 7):}$$

$$\exp\{\eta_1\} = \frac{\frac{P(Y > j | x=1)}{P(Y \leq j | x=1)}}{\frac{P(Y > j | x=0)}{P(Y \leq j | x=0)}} \quad \text{Equação 7}$$

Para o segundo questionário, adotou-se o teste de Kruskal-Wallis, nos casos em que a pergunta oferecia mais de 02 categorias de respostas, e o teste de Mann-Whitney para situações com apenas duas categorias, com intuito de identificar o efeito significativo de cada variável sobre as avaliações dos estudantes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados foram divididos em três etapas: a) caracterização do ambiente com a análise das concentrações externas e internas de MP, b) aplicação dos questionários de percepção da qualidade do ar aos estudantes e c) análise estatística associando as concentrações dos poluentes monitorados com as respostas dos usuários.

CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DO AR NA SALA DE AULA

Considerando a média dos poluentes em toda a campanha na sala H4, não houve ultrapassagens em relação aos limites para médias de 24 horas, como especificados pela OMS para MP_{2,5} e MP₁₀, que são de 15 µg/m³ e 45 µg/m³, respectivamente (WHO, 2022). Todavia, houve uma quantidade significativa de médias horárias registradas de MP_{2,5} superiores ao limite para média anual estabelecido pela OMS, que é de 5 µg/m³ (Figura 5). Estes picos de concentração são preocupantes, principalmente em relação ao MP_{2,5}, do ponto de vista de um ambiente escolar em que estudantes e professores permanecem boa parte do dia. O Material Particulado com diâmetro menor que 2,5 µm é considerado perigoso devido à infiltração mais profunda no trato respiratório humano, podendo desencadear problemas respiratórios e cardiovasculares, como constatado pela literatura (Annesi-Maesano *et al.*, 2013). A relação entre as concentrações externas (*O - outdoor*) e as monitoradas no espaço interno (*I - indoor*), chamada de taxa *I/O*, variou entre 0,5 e 1,5, na maior parte dos registros, salvo pequenos picos. Os valores foram muito próximos de 1, indicando a proximidade dos valores entre a poluição oriunda do espaço público para a sala de aula.

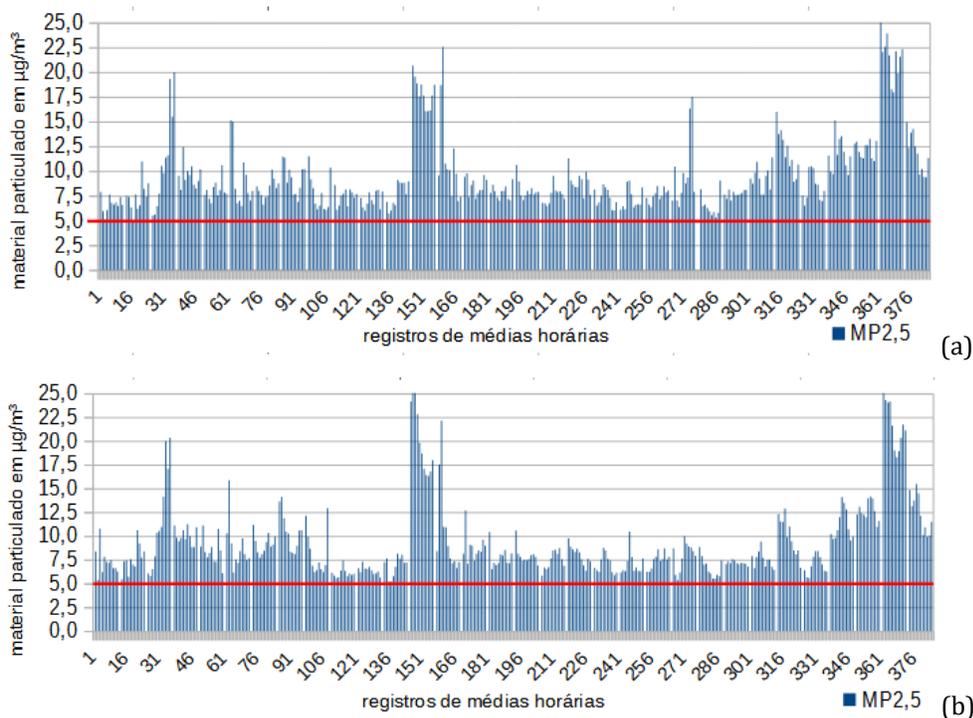


Figura 5. Sequência de médias horárias em ordem cronológica, em função das concentrações de MP_{2,5} registradas na campanha 1: a) ponto externo e b) sala H4.

Fonte: os autores (2024).

Percebe-se que todas as médias horárias das concentrações externas de MP_{2,5}, na campanha 1, estiveram acima das diretrizes internacionais. Já durante a campanha 2 (Figura 6), em maioria, as médias horárias foram inferiores ao limite de 5 µg/m³, porém com significativas ocorrências de ultrapassagem. Tal fato pode ser associado às constantes chuvas durante a campanha 2, uma vez que a precipitação contribui para a deposição úmida das partículas (Seinfeld; Pandis, 2016).

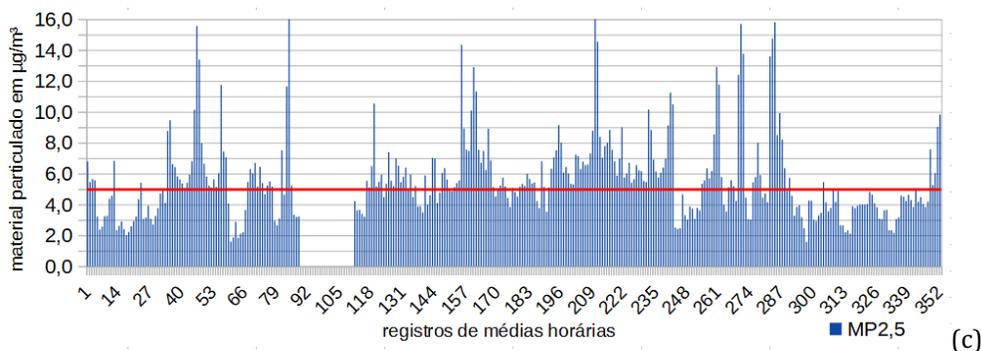
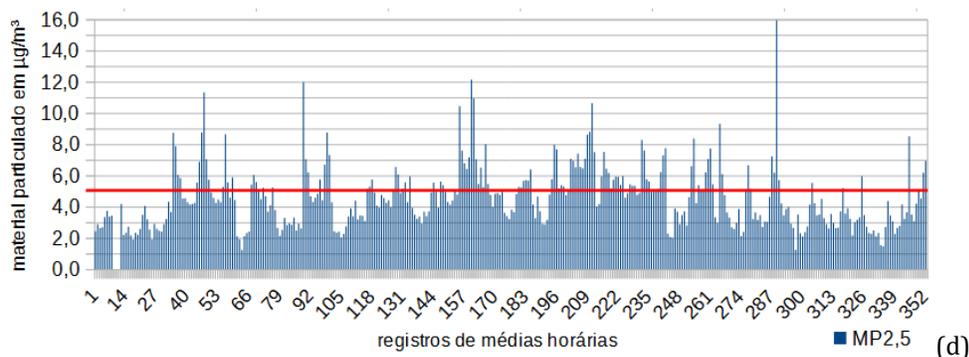


Figura 6. Sequência de médias horárias em ordem cronológica, em função das concentrações de MP_{2,5} registradas na campanha 2: c) ponto externo e d) sala E5.

Fonte: os autores(2024).



Na primeira campanha, foram observadas maiores valores para as médias horárias de MP₁₀ (Figuras 7) em comparação à segunda. Notou-se também a tendência de influência do meio externo nas concentrações internas de MP₁₀ na sala de aula, independente do padrão de abertura da janela. Na campanha 1, 66,57% das médias superaram 10 µg/m³ e 20,86% foram maiores que 15 µg/m³, que é o limite para a média anual, conforme a OMS. Já na campanha 2, apenas 6,38% das médias superaram 15 µg/m³ (e 25,84% foram maiores que 10 µg/m³). Outro dado que chama atenção é que a máxima média, no primeiro período, superou 35 µg/m³, enquanto, no segundo, foi de 24,50 µg/m³.

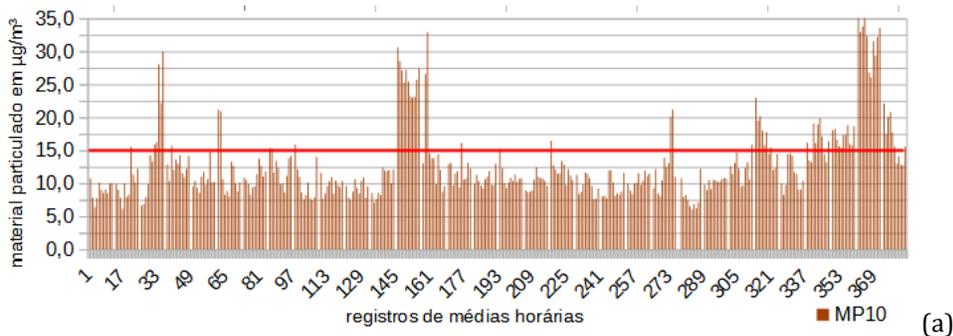
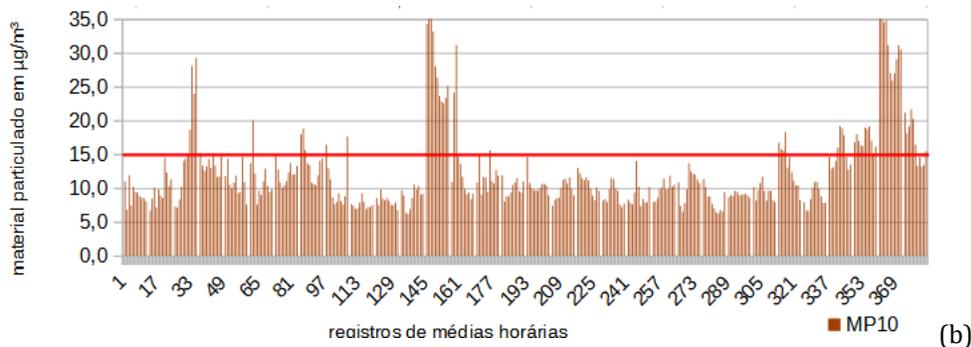


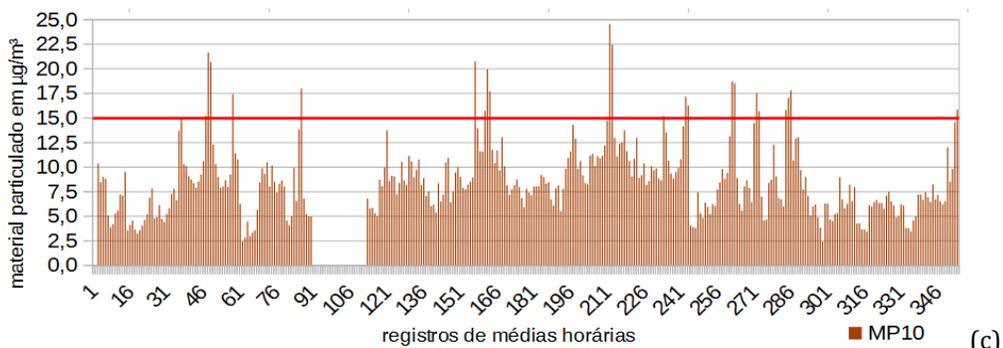
Figura 7. Sequência de médias horárias em ordem cronológica, em função das concentrações de MP₁₀ registradas na campanha 1: a) ponto externo e b) sala H4.

E, na campanha 2: c) ponto externo e d) sala E5.

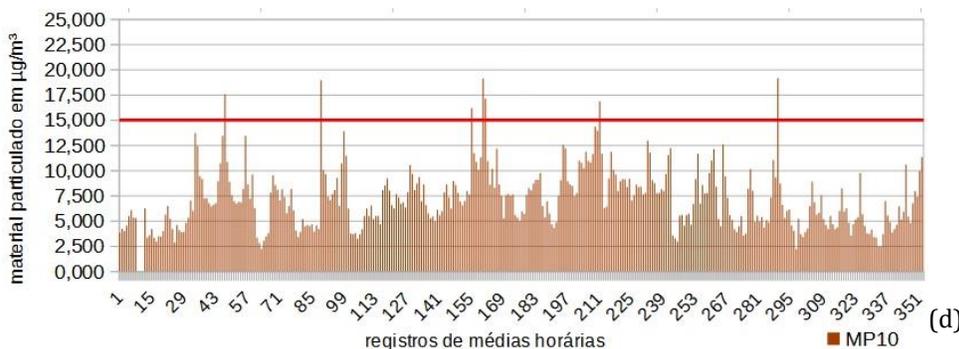
Fonte: os autores(2024).



(b)



(c)



(d)

PERCEÇÃO DA QUALIDADE DO AR INTERIOR NO MOMENTO DA AVALIAÇÃO

Durante a campanha 2, aplicou-se o questionário 1 com objetivo de identificar influência de fatores do ambiente nas avaliações dos alunos sobre a qualidade do ar no momento da resposta. Realizou-se esse momento em turmas distintas, em seis dias e horários diferentes, nos turnos matutino e vespertino. Os participantes foram estudantes das duas salas analisadas (H4 e E5), resultando em 69 respondentes. Cada pessoa respondeu apenas uma vez. Todos receberam instruções prévias, e os resultados são apresentados na Tabela 2.

Parâmetro/questão	Opções de resposta	n°	Percentual
Sexo	Feminino	43	62,32%
	Masculino	25	36,23%
	Prefiro não responder	01	1,45%
Turno	Matutino	41	59,42%
	Vespertino	28	40,58%
Sala	E5	41	59,42%
	H4	28	40,58%

Tabela 2. Análise descritiva das respostas do questionário.

Fonte: os autores (2024)

Neste momento, na sala de aula, você se sente	Com muito calor	8	11,60%
	Com calor	11	15,94%
	Com pouco calor	10	14,49%
	Neutro	36	52,17%
	Com pouco frio	3	4,35%
	Com frio	1	1,45%
Neste momento, você prefere que a temperatura da sala esteja:	Do jeito que está	23	36,51%
	Mais fresca	39	61,90%
	Mais quente	1	1,59%
Você sente que a temperatura da sala está confortável?	Sim	43	70,49%
	Não	18	29,51%
Neste momento, você está vestindo uma blusa de frio ou jaqueta?	Sim	3	4,84%
	Não	59	95,16%
Neste momento, você se sente cansado (a) ?	Com muito sono e cansaço	9	14,28%
	Com pouco sono e cansaço	33	52,38%
	Sem sono e cansaço	21	33,33%
Como você descreveria o movimento do ar na sua sala?	Leve	29	46,03%
	Movimentado	7	11,11%
	Parado	27	42,86%
Neste momento, você sente que a qualidade do ar na sala de aula está aceitável?	Sim	47	74,60%
	Não	16	25,40%
Neste momento, como você caracterizaria a qualidade do ar da sala?	Muito boa	4	6,35%
	Boa	20	33,33%
	Normal	27	42,86%
	Ruim	8	12,70%
	Muito ruim	3	4,76%

Enfatiza-se que, no primeiro questionário, buscou-se identificar a percepção da qualidade do ar no momento da aplicação do mesmo, ou seja, no devido instante das respostas. Comparou-se os resultados desta avaliação com as médias de 1 hora imediatamente anteriores ao horário de resposta. Em relação a impressão da qualidade do ar nas salas de aula, a maioria dos alunos a avaliou como normal (42,86%), seguido por 33,33% que avaliaram como boa, 12,70% como ruim, 6,35% como muito boa e 4,76% como muito ruim (Figura 8).



Figura 8. Caracterização da QAI no instante das respostas, de acordo com as opiniões dos ocupantes.

Fonte: os autores (2024)

Observa-se que, de forma geral, o nível de satisfação da qualidade do ar foi positivo, ao contrário dos valores reais da concentração de poluentes registrados acima das diretrizes anuais da OMS para MP, o que sugere a inaptidão dos ocupantes em avaliar a qualidade do ar.

Com o objetivo de associação entre as variáveis com possível influência nas avaliações dos alunos, realizou-se o teste de independência de qui-quadrado. Como resultados, os dados não

forneceram evidências de associação entre a avaliação dos alunos sobre a qualidade do ar e o sexo dos mesmos. Todavia, verificou-se associação significativa entre a avaliação da qualidade do ar realizada e a percepção sobre a temperatura da sala de aula. O p-valor obtido foi igual a 0,04 (<0,05), havendo, portanto, evidências de que a percepção da qualidade do ar esteve relacionada à opinião sobre o conforto térmico, corroborando com muitos estudos que mostram que poluição do ar é associada, por vezes, aos parâmetros de odor, sujeira e sensação térmica do ambiente (Kim; Senick; Mainelis, 2019).

Para a questão “neste momento, você sente que a qualidade do ar está aceitável?”, os ocupantes tiveram duas possibilidades de resposta: sim e não, com 74,6% das respostas para a primeira opção. Ao verificar-se a associação dessas respostas com a avaliação dos alunos sobre a qualidade do ar, o p-valor obtido no teste foi menor que 0,0001, indicando forte associação. Esse resultado indica coerência dos usuários quanto a suas respostas. As demais covariáveis presentes no questionário não se mostraram significantes no teste.

Os resultados do modelo de regressão ordinal, com uso das médias de 1 hora dos poluentes e dados de temperatura e umidade no momento da realização dos questionários são apresentados a seguir (Tabela 3).

Parâmetro	Estimativa (ηi)	Exp (ηi)
MP _{2,5} (média de 1h)	0,7081	2,0301
MP ₁₀ (média de 1h)	-0,3627	0,6957
CO ₂ (média de 1h)	0,0005	1,0005
Masculino	0,8487	2,33679
H4	-1,5172	0,2193
Você sente que a qualidade do ar está aceitável? (Sim)	3,3082	27,3367
Como se sente na sala (Frio)	0,7398	2,0956
Como se sente na sala (Neutro)	0,4954	1,6411
Está vestindo uma blusa de frio ou jaqueta (Sim)	0,70379	2,0214

Tabela 3. Resultados do modelo de regressão ordinal.

Fonte: os autores (2024)

Para as relações entre as concentrações de partículas respiráveis e a percepção dos ocupantes, o modelo apontou que, para cada aumento de 01 unidade na média do poluente MP_{2,5}, a probabilidade de avaliação da qualidade do ar na categoria i ou menor diminui. A cada aumento na média, a chance de o aluno passar a avaliar na categoria maior que i é 2 vezes maior (exp(0,7081) = 2,0301), o que significa haver aproximadamente 2 vezes mais chance de melhor avaliação em termos de qualidade, mantendo as demais covariáveis fixas. Avalia-se, portanto, que nesse contexto (período, condições climáticas, concentrações e local), o aumento de 01 unidade nas concentrações de MP_{2,5} está relacionado a uma resposta numa categoria superior (melhor). Assim sendo, percebe-se que os usuários não seriam capazes de perceber o efeito danoso desse poluente para a qualidade do ar da sala de aula.

Com relação ao MP₁₀, tem-se que o coeficiente (βi) associado estimado é 0,362. Logo, o log (Equação 8) aumenta 0,362 a cada elevação de 1 unidade na média deste poluente, ou seja, exp (0,362) = 1,436. Por isso, a cada aumento na média de partículas inaláveis, a chance de resposta na categoria menor que i é de 1,436 vezes, ou aproximadamente 44%, mantendo-se as demais covariáveis fixas. Esse resultado indica que os ocupantes provavelmente serão mais sensíveis ao aumento do MP₁₀, sendo capazes da percepção de piora da qualidade do ar interior. Desse modo, no contexto desta pesquisa, os usuários se mostraram mais perceptíveis da piora dos níveis de MP₁₀ do que os de MP_{2,5}.

$$\log \left(\frac{P(Y \leq i)}{P(Y > i)} \right)$$

Equação 8

Para a covariável dióxido de carbono, tem-se que o coeficiente (β_i) associado estimado é - 0,0005. O log (Equação 8) diminui 0,0005 a cada aumento de 1 unidade na média de CO_2 , valor muito próximo de zero, o que evidencia falta de efeito na provável resposta. Além disso, pelo fato de que $\exp(-0,0005) = 1,0005$, indica-se que não há evidências de que a média desse gás influencie na avaliação do ocupante sobre a qualidade do ar.

A proximidade da avenida pode ser um fator de influência na probabilidade de resposta sobre a qualidade do ar. A análise estatística indicou que estudantes localizados na sala H4, que é mais próxima da via de tráfego de veículos, tem uma chance 4,56 vezes maior de fazerem uma avaliação pior da qualidade do ar, se comparados aos situados na sala E5.

O modelo também indicou maior probabilidade de avaliação positiva da qualidade do ar em relação ao conforto térmico. Estudantes que sentem frio e que se sentem neutros têm 2,095 e 1,64 vezes mais chance de considerarem a qualidade do ar superior, respectivamente. Isso significa que a sensação de calor tem efeito negativo sobre a avaliação dos alunos, ou seja, quando se aumenta a sensação de calor, piora-se o julgamento sobre a qualidade.

PERCEPÇÃO DA QUALIDADE DO AR DE MODO GERAL

O segundo questionário aplicado se deu em seis turmas, datas e horários distintos. Cada respondente participou apenas uma vez, num total de 63 pessoas. O objetivo das perguntas era obter a avaliação da condição geral da qualidade do ar ao longo do período letivo (o primeiro se referiu ao momento da aplicação). A maioria dos estudantes, 46,77%, avaliou a qualidade do ar como normal, em geral. Avaliaram como boa 25,81% das pessoas, enquanto 17,4% como ruim, 6,45% como muito ruim e apenas 3,23% como muito boa (Figura 9).

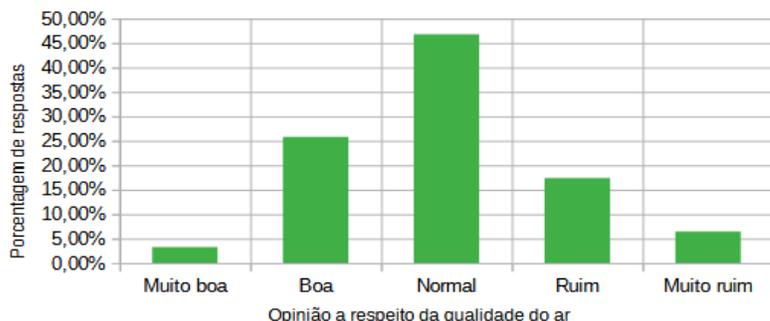


Figura 9. Caracterização da Qualidade do Ar Interior em todo o período letivo, na opinião dos ocupantes.

Fonte: os autores (2024)

Utilizou-se o teste de Kruskal-Wallis nos casos em que a pergunta oferecia mais de 02 categorias de respostas e, portanto, mais de 02 grupos para comparação. Aplicou-se também o teste de Mann-Whitney para situações com apenas duas categorias. Os testes visaram identificar o efeito significativo de cada variável sobre as avaliações dos estudantes, e seus resultados são apresentados no Tabela 4.

Parâmetros / questões	Opções de resposta	n	média	Desvio padrão	p - valor
Sexo	Feminino	38	2,97	0,885	0,529
	Masculino	23	3,04	0,976	
Turno	Matutino	40	3,28	0,751	0,001
	Vespertino	22	2,55	1,010	
Sala	E5	40	3,22	0,800	0,037
	H4	22	2,64	1,000	

Tabela 4. Resultado dos testes de Kruskal-Wallis e de Mann-Whitney.

Fonte: os autores (2024)

Sofre com alguma doença?	Sim	9	3,00	0,930	0,906
	Não	53	3,02	0,930	
Você tem alguma alergia?	Sim	27	3,15	0,864	0,176
	Não	35	2,91	0,951	
Frequência que você abre ou fecha as janelas?	Algumas vezes	17	2,94	0,827	0,462
	Com frequência	4	2,75	0,500	
	Nunca	16	3,12	0,957	
	Raramente	10	3,40	0,966	
	Sempre	14	2,71	0,994	
Por quanto tempo seu desconforto térmico permanece?	Menos de 5 minutos	3	3,33	2,080	0,156
	de 6 a 15 minutos	14	3,36	0,745	
	de 16 a 30 minutos	17	3,18	0,636	
	de 31 a 60 minutos	11	2,55	1,040	
	mais de 60 minutos	16	2,75	0,856	

De acordo com os resultados, nota-se que o teste de Mann-Whitney apontou diferença significativa quando há comparação entre grupos de alunos dos turnos matutino e vespertino, em que respondentes ao longo do horário da manhã consideraram melhor a qualidade do ar. O teste também indicou avaliação mais positiva entre os ocupantes da sala E5, em relação aos da sala H4, como no primeiro questionário.

Os resultados deste questionário também indicaram uma alta ocorrência de declarações de alergias (43,54% das respostas) e uma baixa ocorrência de declarações de doenças respiratórias, com apenas 14,51%. Segundo teste estatístico, observou-se que a autodeclaração de doença respiratória ou alergias não interferiu significativamente nas avaliações sobre a qualidade do ar. Da mesma forma, verificou-se que aspectos como idade, tempo de desconforto térmico e frequência de abertura da janela não alteraram de forma significativa a percepção geral da qualidade do ar nas salas de aula.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve o intuito de analisar os níveis dos poluentes MP_{10} e $MP_{2,5}$, e a concentração de CO_2 , com a percepção da qualidade do ar de estudantes de diferentes salas de aula, naturalmente ventiladas, em um Instituto de Educação localizado em uma zona urbana de clima tropical quente e úmido. Os resultados da campanha experimental mostram níveis elevados de concentração de MP registrados no interior das salas de aula, ultrapassando as diretrizes anuais da OMS, o que se mostra preocupante, uma vez que o material particulado possui impactos negativos à saúde, principalmente em escolas onde se tem um significativo tempo de permanência dos usuários no interior de seus espaços educacionais. É importante colocar ainda que o monitoramento foi feito durante a pandemia do COVID-19 em que houve uma redução da frota veicular, o que se pode inferir a possibilidade de maiores concentrações destes poluentes em outros períodos de monitoramento.

Por outro lado, os resultados da satisfação com qualidade do ar apresentaram registros positivos com a avaliação “normal” (42,86%), seguido por “boa” (33,33%) e “normal” (46,77%) seguido de “boa” (25,81%) em relação a QAI no momento e característica do lugar, respectivamente, pelos estudantes, mostrando a inabilidade do sistema respiratório humano na percepção dos poluentes. O modelo estatístico utilizado indicou maior probabilidade de avaliação positiva da qualidade do ar em relação ao conforto térmico percebido pelos usuários, mostrando que a sensação de calor tem efeito negativo sobre a avaliação dos alunos, e não encontrou evidências na média de concentração de CO_2 na avaliação da qualidade do ar pelos respondentes deste estudo.

Como limitações do trabalho, tem-se o fato da pesquisa ser realizada durante o período pandêmico em que as salas de aula funcionavam com 50% de sua ocupação, em horários limitados e com protocolos específicos de limpeza. Sugere-se que futuros trabalhos possam ser realizados em condições normais de funcionamento das salas de aula, ampliando para o monitoramento de outros poluentes e a adição de perguntas sobre sintomas adversos à saúde que possam ser relacionadas à baixa qualidade do ar.

Da mesma forma, as análises mostram que o aumento da concentração de $MP_{2,5}$ não impacta as respostas da qualidade do ar. Entretanto, destaca-se que os alunos foram mais sensíveis ao MP_{10} , registrando em sua percepção a piora da qualidade do ar interior com o aumento da concentração deste poluente. O teste revelou ainda que os estudantes do turno matutino consideraram melhor a qualidade do ar do que os frequentadores do turno vespertino, bem como a avaliação mais positiva entre os ocupantes da sala E5, que possui suas aberturas de janelas voltadas para o pátio descoberto ajardinado da escola, em relação aos da sala H4, que possui suas aberturas de janelas voltadas para a avenida principal, caracterizada pelo intenso tráfego veicular e também com maiores concentrações internas de poluentes.

Para o dimensionamento e localização de aberturas em escolas, é preciso considerar a eficiência da renovação de ar e controle das concentrações de CO_2 , com atenção à orientação das aberturas e adequação bioclimática das soluções de ventilação. Além disso, no processo projetual, examinar a localização estratégica de janelas em relação a fontes de poluição do ar, como ruas e avenidas movimentadas, pode contribuir para garantir a qualidade do ar interior, inclusive, em certos casos, considerar a instalação de sistemas de filtragem de ar eficientes para redução da entrada de material particulado ou outros poluentes.

Quanto ao uso e apropriação do espaço e dos sistemas de esquadrias, recomenda-se promover a conscientização dos usuários quanto às boas práticas de uso regular da ventilação natural e até mesmo, se necessário, promover o fechamento das aberturas em momentos de poluição intensa, o que pode ser uma estratégia eficaz para manter a boa qualidade do ar nas salas de aula. Incentiva-se a avaliação periódica, ou mesmo o monitoramento contínuo com uso de sensores específicos, para identificação de problemas potenciais e para facilitar a implementação de medidas corretivas quando necessário, protocolos de utilização das esquadrias e demais componentes do sistema de ventilação, além da manutenção preventiva, de forma que não dependa unicamente da capacidade de percepção dos ocupantes.

Este trabalho pode contribuir nos estudos da qualidade do ar de interiores, em climas tropicais, e a percepção humana em relação a poluição do ar, bem como, na relevância do planejamento projetual de estratégias eficientes no estabelecimento dos sistemas de ventilação, localização de salas de aula e suas aberturas de fachada, em busca de uma qualidade do ambiente construído do edifício educacional.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Grupo de Pesquisa Arquitetura e Estudos Ambientais (ARQAMB), da Universidade Vila Velha (UVV), e ao Laboratório de Estatística (LESTAT), da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), pelo apoio a pesquisa, assim como ao aluno de iniciação científica Marco Antônio Hygino, pelo auxílio no trabalho de campo.

Referências Bibliográficas

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.** Rio de Janeiro, 2005.

AHMED, Tariq; KUMAR, Prashant; MOTTET, Laetitia. Natural ventilation in warm climates: The challenges of thermal comfort, heatwave resilience and indoor air quality. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 138, Mar. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110669>. Acesso em: 18 maio 2022.

AKANMU, Williams P.; NUNAYON, Sunday S.; EBOSON, Uche C.. Indoor environmental quality (IEQ) assessment of Nigerian university libraries: A pilot study. **Energy and Built Environment**, 2020. ISSN 2666-1233. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2020.07.004>. Acesso em: 28 set. 2020.

AMARAL, Manuel António Pinto da Silva. **Sistemas de Ventilação Natural e Mistos em Edifícios de Habitação.** 2008. 355 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2008. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/11015/2/Texto%20integral.pdf>. Acesso em: 14 set. 2021.

ANNESI-MAESANO, Isabella; BAIZ, Nour; BANERJEE, Soutrik; RUDNAL, Peter; RIVE, Solenne. Indoor air quality and sources in schools and related health effects. **Journal of Toxicology and Environmental Health - Part B: Critical Reviews**, [S. l.], v. 16, n. 8, p. 491–550, 2013. DOI: 10.1080/10937404.2013.853609. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10937404.2013.853609>. Acesso em: 27 set. 2023.

ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, VENTILATING, AND AIR CONDITIONING ENGINEERS **Guideline ASHRAE Public Review Draft 62–1989R.** Ventilation for acceptable indoor air quality, 1996. Disponível em: <https://www.ashrae.org/technical-resources/standards-and-guidelines/read-only-versions-of-ashrae-standards>. Acesso em: 04 jan 2024.

BECERRA, Jose A.; LIZANA, Jesus; GIL, Maite; BARRIOS-PADURA, Angela; BLONDEAU, Patrice; CHACARTEHUI, Ricardo. Identification of potential indoor air pollutants in schools. **Journal of Cleaner Production**, v. 242, Jan. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118420>. Acesso em: 25 fev. 2022.

BRICKUS, Leila S. R.; AQUINO NETO, Francisco R. de.. A Qualidade do Ar de Interiores e a Química. **Química Nova** [online]. 1999, vol.22, n.1, pp.65-74. ISSN 1678-7064. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40421999000100013>. Acesso em: 13 ago. 2020.

CARMO, Adriano T.; PRADO, Racine T. A. **Qualidade do Ar Interno.** São Paulo: EPUSP, 1999. ISSN 1413-0386. Disponível em: http://dns.pcc.usp.br/files/text/publications/TT_00023.pdf. Acesso em: 12 fev. 2020.

CHITHRA, V. S.; SHIVA NAGENDRA, S. M. Indoor air quality investigations in a naturally ventilated school building located close to an urban roadway in Chennai, India. **Building and Environment**, [S. l.], v. 54, p. 159–167, 2012. DOI: 10.1016/j.buildenv.2012.01.016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.01.016>.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 491**, de 19 de novembro de 2018. Ministério do Meio Ambiente. Brasília, 2018.

COOLEY, J. Danny; WONG, Wing C.; JUMPER, Cynthia A.; STRAUS, David C. Correlation between the prevalence of certain fungi and sick building syndrome. **Occupational and Environmental Medicine**, [S. l.], v. 55, n. 9, p. 579–584, 1998. DOI: 10.1136/oem.55.9.579. Disponível em: <https://doi.org/10.1136/oem.55.9.579>. Acesso em: 05 jan. 2024.

DENG, Shihan; LAU, Josephine. Seasonal variations of indoor air quality and thermal conditions and their correlations in 220 classrooms in the Midwestern United States. **Building and Environment**, [S.

l.], v. 157, n. February, p. 79–88, 2019. DOI: 10.1016/j.buildenv.2019.04.038. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.04.038>. Acesso em: 23 mar. 2022.

EPA – United States Environmental Protection Agency. **Indoor Air Facts N°. 4: Sick Building Syndrome**. EPA, fev. 1991. Disponível em: https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-08/documents/sick_building_factsheet.pdf. Acesso em: 09 dez. 2020.

FENGER, Jes. Air pollution in the last 50 years - From local to global. **Atmospheric Environment**, [*S. l.*], v. 43, n. 1, p. 13–22, 2009. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2008.09.061. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.09.061>. Acesso em: 07 out. 2020.

FERREIRA, Ana; CARDOSO, Massano. Indoor Air Quality and Health in Schools Located Mainly in Urban, Rural and Suburban Parishes. **Hygeia - Revista Brasileira de Geografia Médica e da saúde**, [*S. l.*], v. 9, n. 17, p. 95–115, 2013. DOI: 10.14393/Hygeia922503. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/hygeia/article/view/22503>. Acesso em: 16 nov. 2020.

FIGUEIREDO, Lucas. Desurbanismo: um manual rápido de destruição de cidades. *In*: ENANPARQ - I ENCONTRO NACIONAL DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO 2012, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: ENANPARQ, 2012. p. 209–234. Disponível em: <https://www.anparq.org.br/dvd-enanparq/simposios/163/163-305-1-SP.pdf>. Acesso em: 20 set. 2023.

GANESH, Ghogare Abhijeet; SINHA, Shobha Lata; VERMA, Tikendra Nath; DEWANGAN, Satish Kumar. Investigation of indoor environment quality and factors affecting human comfort: A critical review. **Building and Environment**, [*S. l.*], v. 204, n. March, p. 108146, 2021. DOI: 10.1016/j.buildenv.2021.108146. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108146>. Acesso em: 27 set. 2023.

GODISH, Thad; DAVIS, W.; FU, J.. **Air Quality**. 5th editio ed. Boca Raton, Florida: CRC Press, 2014. ISBN 1-56670-402-2.

HADDAD, Shamila; SYNNEFA, Afroditi; ÁNGEL PADILLA MARCOS, Miguel; PAOLINI, Riccardo; DELRUE, Steven; PRASAD, Deo; SANTAMOURIS, Mattheos. On the potential of demand-controlled ventilation system to enhance indoor air quality and thermal condition in Australian school classrooms. **Energy and Buildings**, [*S. l.*], v. 238, p. 110838, 2021. DOI: 10.1016/j.enbuild.2021.110838. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110838>. Acesso em: 12 abr. 2022.

HARREL, Frank E. **Regression Modeling Strategies: With Applications to Linear Models, Logistic Regression, and Survival Analysis**. New York: SPRINGER, 2001. ISSN 0172-7397.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa Municipal**. 2021. Disponível em: https://geoftp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/mapas_municipais/colecao_de_mapas_municipais/2020/ES/vitoria/3205309_MM.pdf. Acesso em: 17 abr. 2024.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Senso 2022**. 2022. Disponível em: www.ibge.gov.br. Acesso em: 28 mar. 2022.

IEMA – Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Relatório da Qualidade do Ar na Grande Vitória**. Cariacica: IEMA, 2022. Disponível em: <https://iema.es.gov.br/qualidadedoar/relatorios>. Acesso em: 16 abr 2024.

ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 16000-44 - Indoor Air - Part 44: Test method for measuring perceived indoor air quality for use in testing the performance of gas phase air cleaners** 2020.

JABOUR DE FRANÇA, C.; BERGAMASCHI, Rodrigo B.. **Mapeamento das áreas periurbanas do Espírito Santo**. IJSN, n.24, 2011, 32p.. IJSN – Instituto Jones dos Santos Neves. ISBN 978-85-62509-69-8. Disponível em: <http://www.ijsn.es.gov.br/component/attachments/download/5106>. Acesso em: 30 out. 2020.

JAN, Rohi; ROY, Ritwika; YADAV, Suman; SATSANGI, Gursumeeran. Exposure assessment of children to particulate matter and gaseous species in school environments of Pune, India. **Building and Environment**, v. 111, p. 207-217, Jan. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.11.008>. Acesso em: 05 mar. 2020.

KARAPETIS, Alexandros; ALEXANDRI, Eleftheria. Indoor Environmental Quality and its Impacts on Health – Case Study: School Buildings. In: **5th International Conference “Energy in Buildings 2016”**, v. 1, p. 78-81, 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/317888474> Indoor Environmental Quality and its Impacts on Health - Case Study School Buildings. Acesso em: 26 nov. 2020.

KEELER, Marian; VAIDYA, Prasad. **Fundamentos de Projeto de Edificações Sustentáveis**. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2018. ISBN 978-85-8260-470-0.

KIM, Sunyoung; SENICK, Jennifer A.; MAINELIS, Gediminas. Sensing the invisible: Understanding the perception of indoor air quality among children in low-income families. **International Journal of Child-Computer Interaction**, [S. l.], v. 19, p. 79–88, 2019. DOI: 10.1016/j.ijcci.2018.12.002. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2018.12.002>. Acesso em: 13 set. 2023.

KLEPEIS, Neil E.; NELSON, William C.; OTT, Wayne R.; ROBINSON, John P.; TSANG, Andy M.; SWITZER, Paul; BEHAR, Joseph V; HERN, C.; ENGELMANN, William H. The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants. **Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology**, [S. l.], v. 11, p. 231–252, 2001. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/7500165>. Acesso em: 06 out. 2020.

KORSAVI, Sepideh Sadat; MONTAZAMI, Azadeh; MUMOVIC, Dejan. Indoor air quality (IAQ) in naturally-ventilated primary schools in the UK: Occupant-related factors. **Building and Environment**, [S. l.], v. 180, n. May, p. 106992, 2020. DOI: 10.1016/j.buildenv.2020.106992. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106992>. Acesso em: 18 ago. 2020.

KOWALTOWSKI, Doris C. C. K. **Arquitetura escolar: o projeto do ambiente de ensino**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. ISBN: 978-85-7975-011-3.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R.. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3. ed. Rio de Janeiro: ELETROBRAS/PROCEL, 2014. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/publicacoes/livros>. Acesso em: 11 abr. 2021.

LEE, S. C.; CHANG, M. Indoor air quality investigations at five classrooms. **Indoor Air**, [S. l.], v. 9, n. 2, p. 134–138, 1999. DOI: 10.1111/j.1600-0668.1999.t01-2-00008.x. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.1999.t01-2-00008.x>. Acesso em: 16 fev. 2021.

LEE, S. C.; CHANG, M. Indoor and outdoor air quality investigation at schools in Hong Kong. **Chemosphere**, [S. l.], v. 41, n. 1–2, p. 109–113, 2000. DOI: 10.1016/S0045-6535(99)00396-3. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(99\)00396-3](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(99)00396-3). Acesso em: 13 set. 2023.

LEVETIN, Estelle; SHAUGHNESSY, Richard; FISHER, Eugene; LIGMAN, Bryan; HARRISON, Jed; BRENNAN, Terry. Indoor air quality in schools: exposure to fungal allergens. **Aerobiologia**, [S. l.], v. 11, n. 1, p. 27–34, 1995. DOI: 10.1007/BF02136141. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF02136141>. Acesso em: 26 fev. 2022.

LI, Bingxu; CAI, Wenjian. A novel CO₂-based demand-controlled ventilation strategy to limit the spread of COVID-19 in the indoor environment. **Building and Environment**, [S. l.], v. 219, n. May, p.

109232, 2022. DOI: 10.1016/j.buildenv.2022.109232. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109232>. Acesso em: 23 set. 2023.

LIAO, Xiong; TU, Hong; MADDOCK, Jay E.; FAN, Si; LAN, Guilin; WU, Yanyan; YUAN, Zhao Kang; LU, Yuanan. Residents' perception of air quality, pollution sources, and air pollution control in Nanchang, China. **Atmospheric Pollution Research**, [S. l.], v. 6, n. 5, p. 835–841, 2015. DOI: 10.5094/APR.2015.092. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5094/APR.2015.092>. Acesso em: 20 set. 2023.

LUGG, Andrew B.; BATTY, William J. Air quality and ventilation rates in school classrooms I: Air quality monitoring. **Building Services Engineering Research and Technology**, [S. l.], v. 20, n. 3, p. 13–21, 1999. DOI: 10.1177/014362449902000103. Disponível em: <https://doi.org/10.1177%2F014362449902000103>. Acesso em: 17 fev. 2021.

MAJD, Ehsan *et al.* Indoor air quality in inner-city schools and its associations with building characteristics and environmental factors. **Environmental Research**, [S. l.], v. 170, p. 83–91, 2019. DOI: 10.1016/j.envres.2018.12.012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.12.012>. Acesso em: 03 abr. 2020.

MITCHELL, John W.; BRAUN, James E. **Princípios de Aquecimento, Ventilação e Condicionamento de Ar em Edificações**. Rio de Janeiro: LTC, 2018. 572 p. ISBN: 978-8521634942.

MODLER, Néborá Lazzarotto; BERLEZE, Angélica Saccol; TSUTSUMI, Edison Kiyoshi; LINCZUK, Vinicius Cesar Cadena; AZEVEDO, Giselle Arteiro Nielsen. Avaliação de desempenho de um projeto padrão do programa Proinfância: escola de educação infantil no sul do Brasil. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, São Carlos, v. 13, n. 2, p. 95–118, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.11606/gtp.v13i2.126495>. Acesso em: 21 abr. 2024.

MONGE-BARRIO, Aurora; BES-RASTROLLO, Maira; DORREGARAY-OYAREGUI, Sara; GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, Purificación; MARTIN-CALVO, Nerea; LÓPEZ-HERNÁNDEZ, Dolores; ARRIAZU-RAMOS, Ainhoa; SÁNCHEZ-OSTIZ, Ana. Encouraging natural ventilation to improve indoor environmental conditions at schools. Case studies in the north of Spain before and during COVID. **Energy and Buildings**, [S. l.], v. 254, p. 111567, 2022. DOI: 10.1016/j.enbuild.2021.111567. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111567>. Acesso em: 08 nov. 2021.

MONKS, P. S. *et al.* Atmospheric composition change - global and regional air quality. **Atmospheric Environment**, [S. l.], v. 43, n. 33, p. 5268–5350, 2009. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2009.08.021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.08.021>. Acesso em: 10 ago. 2023.

PAGEL, É. C.; COSTA REIS, N.; DE ALVAREZ, C. E.; SANTOS, J. M.; CONTI, M. M.; BOLDRINI, R. S.; KERR, A. S. Characterization of the indoor particles and their sources in an Antarctic research station. **Environmental Monitoring and Assessment**, [S. l.], v. 188, n. 3, 2016. DOI: 10.1007/s10661-016-5172-z. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5172-z>. Acesso em: 20 jun. 2023.

PAGEL, Erica Coelho; ALVAREZ, Cristina Engel de; REIS JÚNIOR, Neyval Costa. Avaliação e percepção do usuário em relação ao conforto térmico e qualidade do ar em varandas com fechamento em vidros móveis situadas em uma região urbana industrializada. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, São Carlos, v. 13, n. 3, p. 57–78, 2018. DOI: <https://doi.org/10.11606/gtp.v13i3.148455>. Acesso em: 22 abr. 2024.

PMV - PREFEITURA MUNICIPAL DE VITÓRIA. Plano Diretor Urbano do Município de Vitória. O Prefeito Municipal de Vitória, Capital do Estado do Espírito Santo, faço saber que a Câmara Municipal aprovou e eu sanciono, na forma do Art. 113, inciso III, da Lei Orgânica do Município de Vitória, a seguinte lei. **Prefeitura Municipal de Vitória**, Vitória, 2018. p. 291. Disponível em: <http://sistemas.vitoria.es.gov.br/webleis/Arquivos/2018/L9271.PDF>. Acesso em: 08 abr. 2023.

RIOS, José Luiz De Magalhães; BOECHAT, José Laerte; GIODA, Adriana; SANTOS, Celeste Yara Dos; AQUINO NETO, Francisco Radler De; LAPA E SILVA, José Roberto. Symptoms prevalence among office workers of a sealed versus a non-sealed building: Associations to indoor air quality.

Environment International, [S. l.], v. 35, n. 8, p. 1136–1141, 2009. DOI: 10.1016/j.envint.2009.07.005. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2009.07.005>. Acesso em: 27 out. 2022.

SADRIZADEH, Sasan et al. Indoor air quality and health in schools: A critical review for developing the roadmap for the future school environment. **Journal of Building Engineering**, [S. l.], v. 57, n. March, p. 104908, 2022. DOI: 10.1016/j.jobee.2022.104908. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2022.104908>. Acesso em 02 set. 2023.

SANTOS, J. M.; MAVROIDIS, I.; REIS, N. C.; PAGEL, E. C. Experimental investigation of outdoor and indoor mean concentrations and concentration fluctuations of pollutants. **Atmospheric Environment**, [S. l.], v. 45, n. 36, 2011. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2011.08.049. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.08.049>. Acesso em: 02 ago. 2020.

SATISH, Usha; MENDELL, Mark J.; SHEKHAR, Krishnamurthy; HOTCHI, Toshifumi; SULLIVAN, Douglas. Is CO₂ an indoor pollutant? Direct effects of low-to-moderate CO₂ concentrations on Human Decision-Making Performance. **Environmental Health Perspectives**, [S. l.], v. 120, n. 12, p. 1671–1678, 2012. DOI: 10.1289/ehp.1104789. Disponível em: <https://doi.org/10.1289/ehp.1104789>. Acesso em: 03 set. 2020.

SCHIBUOLA, Luigi; SCARPA, Massimiliano; TAMBANI, Chiara. Natural Ventilation Level Assessment in a School Building by CO₂ Concentration Measures. **Energy Procedia**, [S. l.], v. 101, n. September, p. 257–264, 2016. DOI: 10.1016/j.egypro.2016.11.033. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2016.11.033>. Acesso em: 10 nov. 2020.

SCHIRMER, Waldir Nagel; PIAN, Lucas Bischof; SZYMANSKI, Mariani Sílvia Ester; GAUER, Mayara Ananda. A poluição do ar em ambientes internos e a síndrome dos edifícios doentes. **Ciência & Saúde Coletiva**, [S. l.], v. 16, n. 8, p. 3583–3590, 2011. DOI: 10.1590/S1413-81232011000900026. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-81232011000900026>. Acesso em: 13 set. 2019.

SEINFELD, John H.; PANDIS, S. N. **Atmospheric Chemistry and Physics From Air Pollution to Climate Change**. Third Edit ed. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2016. ISBN 978-1-118-94740-1.

SENADO FEDERAL. **Bactéria até então desconhecida matou 34 nos EUA**. 2009. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/especiais/especial-cidadania/ar-condicionado-exige-limpeza-cuidadosa/bacteria-ate-entao-desconhecida-matou-34-nos-eua>. Acesso em: 26 set. 2023.

SILVA, S. V. de O.; PAGEL, Érica C.; BASTOS, L. E. G.; MARCONSINI, C. Ventilação natural e qualidade do ar em salas de aula: revisão sistemática da literatura. **PARC Pesq. em Arquit. e Constr.**, Campinas, SP, v. 13, p. e022021, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.20396/parc.v13i00.8666284>. Acesso em: 27 dez. 2023.

SILVA S. V. de O.; PAGEL, E. C. Contribuições para a qualidade do ar interior em salas de aula pós pandemia de COVID-19. **PARC Pesq. em Arquit. e Constr.**, Campinas, SP, v. 14, p. e023006, 2023. DOI: 10.20396/parc.v14i00.8670256. Disponível em: <https://doi.org/10.20396/parc.v14i00.8670256>. Acesso em: 03. fev. 2023.

SMEDJE, G.; NORBÄCK, D.; EDLING, C. Asthma among secondary schoolchildren in relation to the school environment. **Clinical and Experimental Allergy**, [S. l.], v. 27, n. 11, p. 1270–1278, 1997. DOI: 10.1111/j.1365-2222.1997.tb01171.x. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2222.1997.tb01171.x>. Acesso em: 08 mar 2020.

STABILE, Luca; DELL'ISOLA, Marco; RUSI, ALDO; MASSIM, O, Angelamaria; BUONANNO, Giorgio. The effect of natural ventilation strategy on indoor air quality in schools. **Science of the Total Environment**, v. 595, p. 894-902, Oct. 2017. DOI:

<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.03.048>. Acesso em: 21 mar. 2020.

SUNDELL, J. On the history of indoor air quality and health. **Indoor Air, Supplement**, [S. l.], v. 14, n. SUPPL. 7, p. 51–58, 2004. DOI: 10.1111/j.1600-0668.2004.00273.x. Disponível em:

<https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2004.00273.x>. Acesso em: 07 out. 2020.

THÖRN, A. The sick building syndrome: a diagnostic dilemma. **Social science & medicine (1982)**, [S. l.], v. 47, n. 9, p. 1307–12, 1998. DOI: 10.1016/s0277-9536(98)00206-8. Disponível em:

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9783873>. Acesso em: 15 ago. 2023.

TOYINBO, Oluyemi; PHIPATANAKUL, Wanda; SHAUGHNESSY, Richard; HAVERINEN-SHAUGHNESSY, Ulla. Building and indoor environmental quality assessment of Nigerian primary schools: A pilot study. **Indoor Air**, v. 29, n. 3. p.510-520, May 2019. DOI: <https://doi.org/10.1111/ina.12547>. Acesso em: 10 ago. 2021.

TORRIANI, Giulia; LAMBERTI, Giulia; FANTOZZI, Fabio; BABICH, Francesco. Exploring the impact of perceived control on thermal comfort and indoor air quality perception in schools. **Journal of Building Engineering**, [S. l.], v. 63, n. PA, p. 105419, 2023. DOI: 10.1016/j.jobbe.2022.105419.

Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.105419>. Acesso em: 05 set. 2023.

TRILLES, Sergio; JUAN, Pablo; CHAUDHURI, Somnath; FORTEA, Ana Belen Vicente. Data on CO₂, temperature and air humidity records in Spanish classrooms during the reopening of schools in the COVID-19 pandemic. **Data in Brief**, [S. l.], v. 39, p. 107489, 2021. DOI: 10.1016/j.dib.2021.107489.

Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.dib.2021.107489>. Acesso em: 03 nov. 2021.

VASQUEZ, Natalia Giraldo; BEKÖ, Gabriel; WARGOCKI, Pawel; CABOVSKA, Blanka; TELI, Despoina; DALENBÄCK, Jan Olof; EKBERG, Lars; PSOMAS, Theofanis; LANGER, Sarka. Ventilation strategies and children's perception of the indoor environment in Swedish primary school classrooms. **Building and Environment**, [S. l.], v. 240, n. May, 2023. DOI: 10.1016/j.buildenv.2023.110450. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110450>. Acesso em: 23 set. 2023.

WAI, T. K.; WILLEM, H. C. **Perceptions and physiological responses to indoor air quality**. Second Edition. [s.l.] : Elsevier, 2019. v. 5 DOI: 10.1016/B978-0-444-63951-6.00272-2. Disponível em:

<http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-444-63951-6.00272-2>. Acesso em: 01 set. 2023.

WARGOCKI, Pawel; PORRAS-SALAZAR, Jose Ali; CONTRERAS-ESPINOZA, Sergio; BAHNFLETH, William. The relationships between classroom air quality and children's performance in school. **Building and Environment**, [S. l.], v. 173, n. February, p. 106749, 2020. DOI:

10.1016/j.buildenv.2020.106749. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106749>.

Acesso em: 12 ago. 2023.

WARGOCKI, Pawel; WYON, David P.; LYNGE-JENSEN, Kasper; BORNEHAG, Carl Gustaf. The effects of electrostatic particle filtration and supply-air filter condition in classrooms on the performance of schoolwork by children (RP-1257). **HVAC and R Research**, [S. l.], v. 14, n. 3, p. 327–344, 2008. DOI:

10.1080/10789669.2008.10391012. Disponível em:

<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10789669.2008.10391012>. Acesso em: 05 jan.

2024.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Covid 2021**. 2021 a. Disponível em:

<https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019>. Acesso em: 28 out. 2021.

WHO, World Health Organization. **Ambient (outdoor) air pollution**. 2022. Disponível em: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health). Acesso em: 29 jun. 2023.

WHO – World Health Organization. **WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide**. Copenhagen: World Health Organization, 2021 b. ISBN 9789240034228. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329>. Acesso em: 11 abr. 2022.

Saulo Vieira de Oliveira Silva
saulovieira@ifes.edu.br

Érica Coelho Pagel
erica.pagel@uvv.br

Alessandro José Queiroz
Sarnaglia
alessandro.sarnaglia@ufes.br

Felipe Barloesius Velten
felipe.velten@edu.ufes.br