XVIII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
XIV ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
AMBIENTE CONSTRUÍDO E USUÁRIO: PERSPECTIVAS LATINO-AMERICANAS

Operação de janelas e seu efeito sobre o desempenho térmico e a ventilação natural de salas de aula de edificações escolares

Funcionamiento de las ventanas y su efecto en el rendimiento térmico y la ventilación natural de las aulas escolares

Window operation and its effects on the thermal performance and natural ventilation of school classrooms

Desempenho térmico do ambiente construído

Franceschini, Paula Brumer
Doutora em Arquitetura, Tecnologia e Cidade, UNICAMP, Campinas, Brasil, paula_brumer@hotmail.com

Ursini, Francisco Andreazza Costa
Graduando em Arquitetura e Urbanismo, UNICAMP, Campinas, Brasil, f241465@dac.unicamp.br

Neves, Leticia de Oliveira
Professora Doutora da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil, lneves@unicamp.br

Resumo

Este estudo investigou o comportamento dos usuários na operação de portas, janelas e ventiladores em salas de aula e a sua relação com o desempenho térmico e a ventilação natural, além de validar um modelo preditivo para o *status* das janelas. Foram monitoradas variáveis ambientais e o *status* dos sistemas em três salas de aula de uma escola em Campinas. Durante a estação fria, as salas mantiveram temperaturas e umidades adequadas na maior parte do tempo, mas o fechamento das janelas prejudicou a ventilação e aumentou a concentração de CO_2 em alguns momentos. Na estação quente, 54% e 29% do período ocupado apresentaram condições térmicas e de umidade fora dos limites aceitáveis, respectivamente. A validação do modelo preditivo teve bom desempenho. Futuras pesquisas podem melhorar a precisão dos modelos com a ampliação dos dados e otimizar estratégias de controle térmico e ventilação, visando ambientes de aprendizado mais confortáveis e saudáveis.

Palavras-chave: Edificação escolar. Desempenho térmico. Ventilação natural. Comportamento do usuário. Operação de janelas.

Resumen

Este estudio investigó el comportamiento de los usuarios en el funcionamiento de puertas, ventanas y ventiladores en aulas y su relación con el rendimiento térmico y la ventilación natural, además de validar un modelo predictivo del estado de las ventanas. Se monitorizaron las variables ambientales y el estado de los sistemas en tres aulas de una escuela de Campinas. Durante la estación fría, las aulas mantuvieron temperaturas y humedad adecuadas la mayor parte del tiempo, pero el cierre de las ventanas perjudicó la ventilación y aumentó la concentración de CO_2 en algunos momentos. En la estación cálida, el 54% y el 29% del período ocupado tuvieron condiciones térmicas y de humedad fuera de los límites aceptables, respectivamente. La validación del modelo predictivo dio buenos resultados. Futuras investigaciones podrían mejorar la precisión de los modelos ampliando los datos y optimizando las estrategias de control térmico y ventilación, con el objetivo de conseguir entornos de aprendizaje más confortables y saludables.

Palabras clave: Edificio escolar. Rendimiento térmico. Ventilación natural. Comportamiento de los usuarios. Funcionamiento de las ventanas.

Abstract

This study investigated user behaviour in the operation of doors, windows and fans in classrooms and their relationship with thermal performance and natural ventilation, as well as validating a predictive model for window status. Environmental variables and the status of the systems were monitored in three classrooms at a school in Campinas. During the cold season, the classrooms maintained adequate temperatures and humidity most of the time, but closing the windows impaired ventilation and increased CO_2 concentration at times. In the hot season, 54% and 29% of the occupied period had thermal and humidity conditions outside acceptable limits, respectively. The validation of the predictive model performed well. Future research could improve the accuracy of the models by expanding the data and optimising thermal control and ventilation strategies, aiming for more comfortable and healthy learning environments.

Keywords: School building. Thermal performance. Natural ventilation. User behaviour. Window operation.

Introdução

O comportamento dos usuários afeta o desempenho térmico e energético de edificações por meio de interações com sistemas de iluminação, ventilação, aquecimento, condicionamento de ar, janelas e dispositivos de sombreamento (IEA, 2016; Sorgato; Melo; Lamberts, 2016). Os usuários reagem conscientemente ou inconscientemente a estímulos internos (ex., experiências pessoais e preferências) e/ou externos (ex., temperatura do ar, velocidade do vento e características da edificação), buscando melhorar, restaurar ou manter as condições de conforto ambiental (Fabi *et al.*, 2012).

Devido às incertezas e imprevisibilidade relacionadas ao comportamento do usuário, esse parâmetro é muitas vezes simplificado em simulações de desempenho de edificações, contribuindo para uma diferença entre o desempenho previsto e real do edifício (Mahdavi *et al.*, 2021). Nesse contexto, estudos anteriores buscaram investigar e modelar o comportamento do usuário para reduzir essa diferença, além de contribuir para melhorar as condições internas da edificação e o bem estar dos usuários (O'Brien; Tahmasebi, 2023).

Manter condições internas adequadas, como padrões mínimos de conforto térmico e qualidade do ar interior (QAI), é particularmente importante em escolas, onde concentrações excessivas de dióxido de carbono (CO_2), que é constantemente produzido por alunos e professores, somadas a uma taxa de renovação do ar interior inadequada, podem gerar cansaço, tontura e dores de cabeça (Daisey; Angell; Apte, 2003). Adicionalmente, estudos anteriores demonstraram que taxas inadequadas de ventilação, altas temperaturas e baixa umidade afetam negativamente a capacidade cognitiva das crianças, podendo diminuir a produtividade e aumentar a abstenção dos alunos às aulas (Bakó-Biró *et al.*, 2012; Stazi *et al.*, 2017). Em salas de aula naturalmente ventiladas, como é o caso da maioria das escolas públicas de ensino fundamental brasileiras, o comportamento do usuário em relação à operação de portas, janelas e ventiladores tem papel fundamental no conforto térmico e na QAI, pois impacta diretamente na ventilação do ambiente, auxiliando na minimização de concentrações excessivas de CO_2 (Hama *et al.*, 2023).

O comportamento do usuário e seu impacto no desempenho ambiental vêm sendo estudados nos últimos anos, majoritariamente no contexto de países europeus, asiáticos e da América do Norte (Balvedi; Ghisi; Lamberts, 2018), cujos climas, culturas e sistemas construtivos diferem da

realidade brasileira (Zambonato *et al.*, 2020). A literatura nacional relativa a esse assunto é escassa em comparação à internacional (Ghisi; Bavaresco; Silvestre, 2024). Além disso, nas últimas décadas, poucos estudos sobre o comportamento do usuário foram realizados em escolas naturalmente ventiladas localizadas em clima tropical ou subtropical e poucos também desenvolveram modelos de comportamento do usuário para a implementação na simulação do desempenho da edificação (Franceschini; Neves, 2022).

Diante desse cenário, este trabalho teve por objetivos: analisar o comportamento dos usuários na operação de portas, janelas e ventiladores de salas de aula de uma edificação escolar, no que tange sua relação com o desempenho térmico e a ventilação natural do ambiente interno; e validar um modelo preditivo do *status* de janelas em salas de aula naturalmente ventiladas, previamente desenvolvido por Franceschini, Schweiker e Neves (2024).

Método

Esta é uma pesquisa experimental fundamentada em estudo de caso e foi desenvolvida em três etapas principais: (i) coleta de dados, (ii) análise dos dados coletados, e (iii) validação do modelo preditivo. O objeto de estudo é um conjunto de salas de aula de uma edificação escolar mantida pela Fundação para o Desenvolvimento da Educação (FDE) do estado de São Paulo.

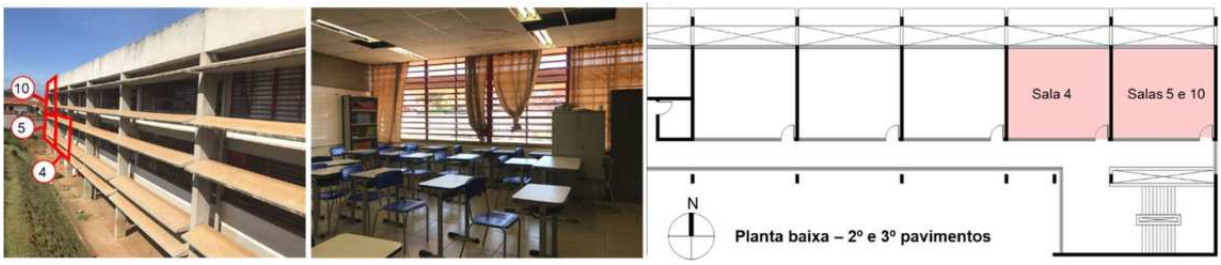
(i) Coleta de dados

A coleta de dados foi realizada em uma escola selecionada a partir de uma base de dados contendo 66 escolas construídas pela FDE desde 2008 no estado de São Paulo, representando aproximadamente metade das escolas construídas durante este período[1]. A seleção da escola teve como critérios: (i) a localização na cidade de Campinas, (ii) a análise do projeto arquitetônico, para que a escola selecionada fosse representativa da amostra, (iii) a presença de ventiladores dentro das salas de aula, e (iv) a disponibilidade da escola em participar da pesquisa. A cidade de Campinas está localizada na zona climática 3B, caracterizada por clima misto e seco, de acordo com a parte 3 NBR 15220 (ABNT, 2024).

[1] A base de dados está disponível em https://doi.org/10.25824/redu/Z4BWFL.

A escola, construída em 2015, é de ensino fundamental e é ocupada nos períodos da manhã e da tarde. As salas de aula selecionadas para a pesquisa de campo (Figura 1) possuem características padrões dos projetos escolares da FDE: área de 49 m², janelas basculantes de aço, porta de madeira, paredes de alvenaria de blocos de concreto e brises em concreto. O monitoramento das salas de aula ocorreu em dois períodos, escolhidos de acordo com o período letivo e a disponibilidade da escola: a sala de aula 10, localizada no pavimento superior, foi monitorada na estação quente (entre 23 de outubro e 20 de novembro de 2023) e as salas de aula 4 e 5, localizadas lado a lado no pavimento intermediário, foram monitoradas na estação fria (entre 5 e 25 de junho de 2024). Ressalta-se que o monitoramento da estação quente ocorreu durante os meses tipicamente mais quentes em Campinas, excluindo-se o período de férias escolares.

Figura 1: Foto da fachada da escola (dir.), foto da sala de aula 10 (centro) e planta baixa das salas de aula (esq.).



Fonte: Autores (2025).

As variáveis climáticas internas foram monitoradas a cada 15 minutos por meio da instalação dos *dataloggers* Testo 175-T2 (temperatura do ar, T_{ar}; e temperatura de globo, T_g) e Testo 160 IAQ (T_{ar}; umidade relativa, UR; e concentração de CO_2) em um tripé à altura de aproximadamente 1,1 metro do piso da sala, de acordo com a norma ISO 7726:2001, e distante das janelas externas, fora do alcance da luz solar direta. Como a T_{ar} foi monitorada pelos dois equipamentos, foi feita a média aritmética dos dados obtidos desta variável. A partir dos dados de T_{ar} e T_g foi calculada a temperatura operativa (T_{op}), considerando-se a velocidade do ar inferior a 0,2 m/s (convecção natural), o que caracteriza T_{op} como uma média entre T_a e T_g (ASHRAE, 2020).

O *status* das janelas e portas (aberto/ fechado) foi monitorado por meio da instalação de *dataloggers* de estado da marca ONSET nos batentes e folhas das esquadrias. O *status* dos ventiladores (ligado/ desligado) foi registrado por sensores de temperatura e umidade iButton

Hygrochron, que foram fixados nos motores, de forma que os grandes saltos de T_{ar} registrados pelos sensores evidenciaram o acionamento dos ventiladores.

Os horários de ocupação das salas de aula, assim como o número de alunos e faixa etária, foram fornecidos pelos responsáveis da escola. Os dados climáticos externos (umidade relativa, UR_{ext}, e temperatura do ar, T_{ext}) foram disponibilizados pelo Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (CEPAGRI) da UNICAMP, que está localizado a cerca de 5,5 km da escola monitorada.

(ii) Análise dos dados coletados

Os dados obtidos foram tratados e organizados em uma planilha, a partir da qual foram gerados tabelas e gráficos para analisar as condições internas das salas de aula e a relação das variáveis climáticas com o *status* das janelas, portas e ventiladores. Para a análise das condições internas, considerou-se como valores satisfatórios para a umidade relativa o intervalo de 40 a 65% na estação quente e de 35 a 65% na estação fria e, para a concentração de CO_2, valores abaixo de 1000 ppm (ANVISA, 2003). Para a análise do conforto térmico, utilizou-se o modelo adaptativo da ASHRAE Standard 55 (2020), considerando os limites de 80% de aceitabilidade dos ocupantes. Durante o período de monitoramento da estação quente, os limites mínimo e máximo da temperatura operativa da zona de conforto corresponderam, respectivamente a 22,1 °C e 29,1 ^{o}C, e, durante a estação fria, esses valores corresponderam, respectivamente, a 20,9 °C e 27,9^{o}C.

(iii) Validação do modelo preditivo

Os dados coletados neste estudo foram utilizados para a validação do modelo preditivo do *status* de janelas em salas de aula naturalmente ventiladas, previamente desenvolvido por Franceschini, Schweiker e Neves (2024). O modelo preditivo do *status* da janela foi selecionado para a validação por ser o mais relevante em relação ao desempenho térmico e à ventilação natural do ambiente interno. Além disso, não foram medidos dados suficientes dos status das portas e dos ventiladores para validar tais modelos, em função da falta de equipamentos para o monitoramento.

O modelo preditivo utilizado na validação foi desenvolvido a partir da aplicação de regressão logística em dados coletados na mesma escola do presente estudo e em outras duas escolas,

localizadas na cidade de São Paulo, durante o período de agosto de 2021 a agosto de 2022[2] e buscou investigar a influência das variáveis ambientais internas (temperatura operativa, umidade relativa do ar e concentração de CO_2), da rotina da escola (hora do dia, período de ocupação, taxa de ocupação, professor, dia da semana) e dos *status* de portas e ventiladores sobre o *status* das janelas. Como resultado, quase todas as variáveis testadas foram identificadas como preditoras, com exceção da temperatura operativa e do período de ocupação, os quais foram excluídos do modelo (Franceschini; Schweiker; Neves, 2024).

O processo de validação foi realizado utilizando o banco de dados deste estudo para gerar matrizes de confusão, demonstrando a relação entre os resultados previstos pelos modelos preditivos e os resultados coletados na pesquisa de campo do presente estudo. A matriz de confusão consiste em valores de verdadeiro positivo (VP), verdadeiro negativo (VN), falso positivo (FP) e falso negativo (FN), que são utilizados para calcular a precisão, a sensibilidade, e a pontuação F1 do modelo. Adicionalmente, a Área Sob a Curva Característica de Operação do Receptor (*Area Under the Receiver Operating Characteristic curve*, ou AUC) também foi calculada, o que representa graficamente as taxas de VP e FP em vários ajustes de limiar obtidos das previsões em dados reais. O seu índice varia entre 0,5 (sem correlação) e 1 (previsões exatas), mas valores acima de 0,7 são geralmente considerados satisfatórios (Haldi; Robinson, 2009).

Resultados e Discussão

Análise dos dados coletados

Nas salas 4 e 5, monitoradas durante e estação fria, observou-se uma resposta térmica eficaz na atenuação dos efeitos das condições climáticas externas mais extremas, de modo que os valores de T_{op} e UR_{int} permaneceram dentro dos limites satisfatórios 96% e 94% do período ocupado, respectivamente (Tabela 1 e Figura 2). Apesar de registros externos de 13,1 °C de T_{ext} e de 23,2% de UR_{ext}, os menores valores internos correspondentes foram de 19,9 °C e de 31,3%. As salas de aula foram particularmente eficazes em reduzir os valores elevados de UR_{ext}, que chegaram a 92,5%, enquanto a UR_{int} não ultrapassou 66,7% em nenhuma das salas. Na estação quente, no

[2] Os dados coletados nas três escolas por Franceschini, Schweiker e Neves (2024) estão disponíveis em https://doi.org/10.25824/redu/Z4BWFL.

entanto, os dados monitorados na sala 10 revelam um cenário oposto: tanto os valores de UR muito baixos quanto os excessivamente altos foram pouco atenuados no interior das salas (Tabela 1 e Figura 2).

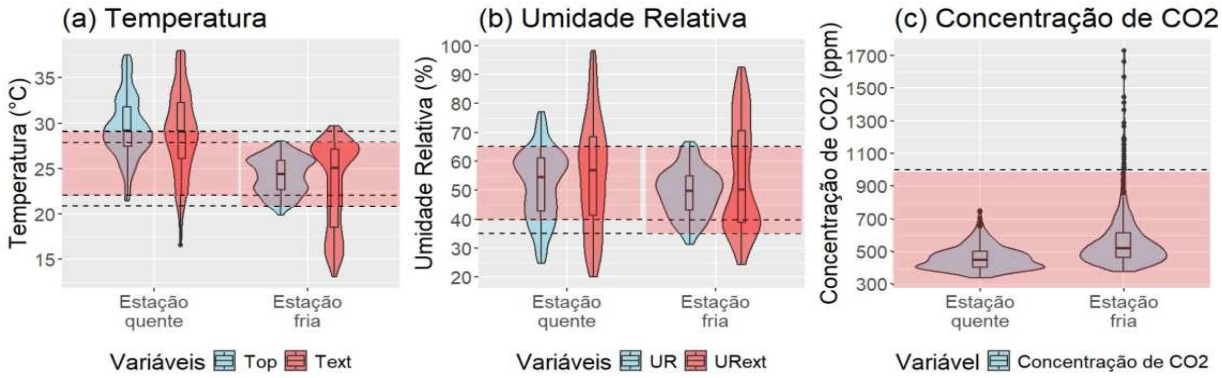
Os dados de T_{op} durante os dois períodos de monitoramento indicam uma diferença significativa no conforto térmico percebido pelos ocupantes das salas de aula em cada estação (Figura 2a). Durante a estação quente, a T_{op} esteve dentro da zona de conforto apenas em 46% do período ocupado, o que sugere que os ocupantes enfrentaram condições térmicas desconfortáveis em mais da metade do tempo. Em contraste, durante a estação fria, a T_{op} permaneceu dentro da zona de conforto em 96% do período ocupado. Em geral, a T_{op} esteve dentro da zona de conforto em 78% do período ocupado.

Tabela 1: Resumo estatístico dos dados climáticos monitorados.

Período	Estação quente 23/10/2023 a 20/11/2023			Estação fria 05/06/2024 a 25/06/2024					
Sala de aula	Sala 10			Sala 4			Sala 5		
Variáveis	Média	DP	Variação	Média	DP	Variação	Média	DP	Variação
T_{op} (°C)	28,5	3,2	21,4 – 37,4	24,1	1,9	19,9 – 27,8	24,4	2,0	20,2 – 28,1
T_{ext} (°C)	29,0	4,5	16,6 – 38,0	23,2	4,7	13,1 – 29,8	23,2	4,7	13,1 – 29,8
UR (%)	54,6	11,2	24,6 – 77,6	49,4	7,7	31,8 – 66,7	49,2	8,2	31,3 – 65,7
UR_{ext} (%)	68,4	21,2	17,9 – 98,8	54,1	18,8	23,2 – 92,5	54,1	18,8	23,2 – 92,5
CO_2 (ppm)	421,5	49,6	344 - 750	565,7	140,8	390 - 1350	594,0	214,1	380 - 1824

Fonte: Autores (2025).

Figura 2: Condições internas durante o período de ocupação.



Fonte: Autores (2025).

A análise dos dados de UR_{int} durante os dois períodos de monitoramento revela uma maior estabilidade nas condições de conforto ao longo das estações (Figura 2b). Durante a estação quente, a UR_{int} permaneceu dentro de níveis satisfatórios em 71% do período ocupado, o que indica uma boa capacidade das salas de aula em controlar a umidade interna, mas também sugere que, em uma parte do tempo, as condições de umidade foram desconfortáveis para os ocupantes. Durante a estação fria, a UR_{int} esteve dentro dos limites satisfatórios em 94% do período monitorado. De forma geral, a UR_{int} esteve dentro dos valores satisfatórios em 86% do período ocupado.

A concentração de CO_2 permaneceu dentro de níveis satisfatórios em 98% do período monitorado, com exceção de alguns picos mais elevados observados durante a estação fria (Figura 2c). A manutenção de valores adequados de CO_2 na maior parte do tempo reflete uma boa gestão da qualidade do ar, garantindo que os ocupantes estivessem em um ambiente saudável e bem ventilado na maior parte do período.

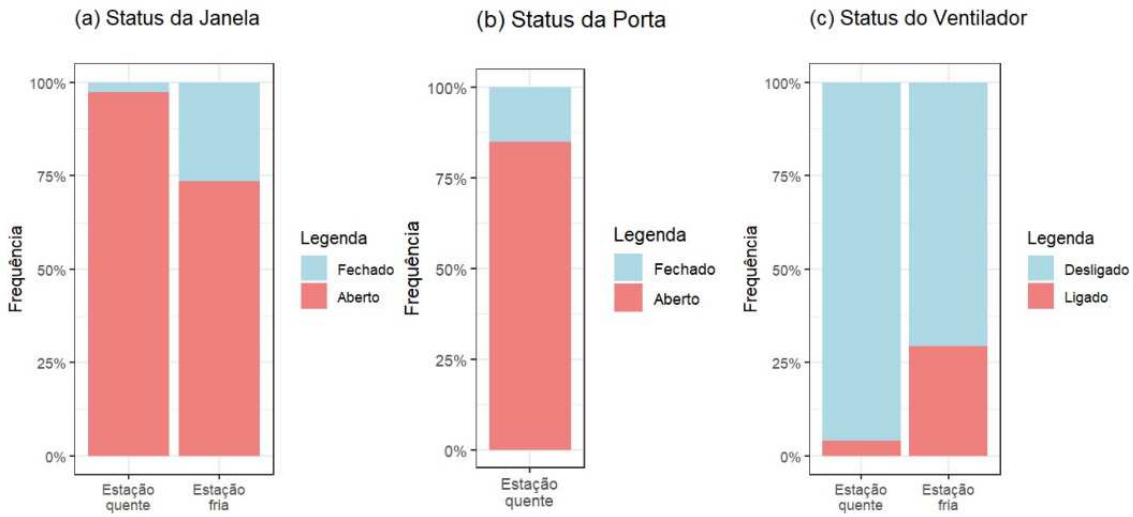
As janelas e portas permaneceram abertas na maior parte do período ocupado (Figuras 3a e 3b). No entanto, durante a estação fria, as janelas ficaram mais fechadas em comparação com a estação quente, possivelmente para conservar o calor produzido internamente e manter o conforto térmico no interior das salas de aula. Esse comportamento pode estar associado aos picos de concentração de CO_2 observados (Figura 2c), que sugerem uma ventilação inadequada em determinados momentos. O *status* da porta não foi monitorado na estação fria devido ao número limitado de equipamentos de monitoramento disponíveis, razão pela qual os dados não foram apresentados na Figura 3b. O ventilador, ao contrário do que era esperado, foi mais acionado durante a estação fria (Figura 3c), o que pode indicar uma tentativa de melhorar a circulação do ar ou controlar o aumento da umidade interna, mesmo em um período com temperaturas mais baixas.

Validação dos modelos preditivos

A validação do modelo, com base nos dados do presente estudo, previu 1.182 observações para a janela fechada, das quais 219 foram corretas, e 46 observações para a janela aberta, todas corretas (Figura 4a). Os valores obtidos para precisão, sensibilidade e pontuação F1 foram 0,05, 1 e 0,07, respectivamente, refletindo baixos índices de precisão e pontuação F1 devido ao alto

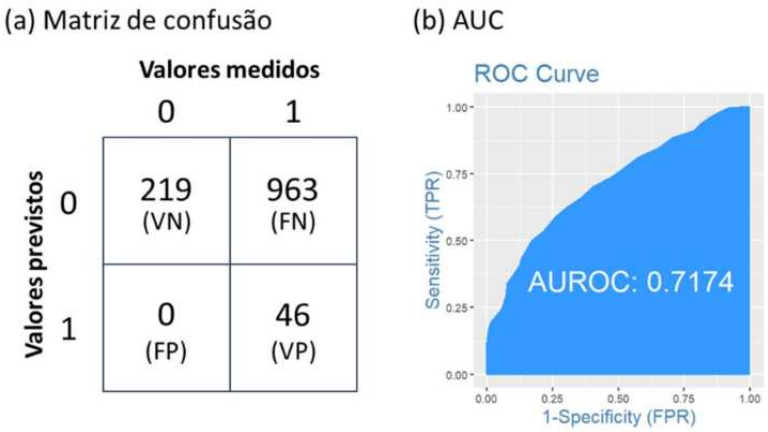
número de observações falsas negativas (FN). Mesmo assim, a validação do modelo preditivo para o *status* da janela apresentou resultados satisfatórios, com AUC superior a 0,7 (Figura 4b).

Figura 3: *Status* das portas, janelas e ventiladores durante o período de ocupação.



Fonte: Autores (2025).

Figura 4: Validação do modelo preditivo do *status* da janela.



Fonte: Autores (2025).

Conclusão

Esse estudo teve como objetivos analisar o comportamento dos usuários na operação de portas, janelas e ventiladores de salas de aula de uma edificação escolar, no que tange sua relação com o desempenho térmico e a ventilação natural do ambiente interno; e validar modelos preditivos do *status* de portas, janelas e ventiladores em salas de aula naturalmente ventiladas, previamente desenvolvido por Franceschini, Schweiker e Neves (2024). Variáveis climáticas internas e o *status* de janelas, portas e ventiladores foram monitorados em três salas de aula de uma edificação escolar localizada na cidade de Campinas durante dois períodos, incluindo as estações quente e fria.

Durante a estação fria, a temperatura operativa interna e a umidade relativa do ar permaneceram dentro dos limites satisfatórios, garantindo um ambiente confortável para os ocupantes. A operação das janelas contribuiu para uma ventilação adequada na maior parte do tempo e, consequentemente, para a manutenção de níveis adequados de concentração de CO_2. Ainda assim, o fechamento das janelas durante o inverno, embora tenha sido necessário para reter calor, pode ter prejudicado a ventilação e contribuído para picos da concentração de CO_2. Durante a estação quente, a sala de aula apresentou a temperatura operativa fora da zona de conforto na maior parte do tempo e dificuldades em controlar a umidade tanto quando muito baixa como quando excessivamente alta. Esses resultados evidenciam a importância de estratégias equilibradas de ventilação e controle térmico ao longo do ano.

A validação do modelo preditivo para o *status* da janela apresentou um desempenho satisfatório, embora tenha gerado um número elevado de observações falsas negativas. Apesar de a validação ter sido realizada em uma escola previamente monitorada, o que pode ser considerado uma limitação deste estudo, a troca de usuários (alunos e professores) entre os monitoramentos realizados para produção (Franceschini; Schweiker; Neves, 2024) e validação (presente estudo) do modelo preditivo torna o processo de validação aceitável, pois permite validar um padrão de comportamento com base em diferentes amostras.

Esse estudo contribui para a compreensão de como estratégias de ventilação e controle térmico podem ser otimizadas em ambientes escolares, fornecendo subsídios para a melhoria das condições internas em salas de aula naturalmente ventiladas. Contribui também para a

divulgação de um modelo preditivo do status de janelas (aberto/fechado) devidamente validado, que pode ser utilizado para avaliação de desempenho de outras escolas de geometria semelhante (construídas pela FDE) situada em zonas climáticas semelhantes. Futuras pesquisas podem se beneficiar da ampliação do conjunto de dados e do monitoramento mais abrangente dos parâmetros, visando melhorar a precisão dos modelos preditivos. Além disso, seria relevante focar na otimização das estratégias relacionadas à operação de janelas, portas e ventiladores para controle térmico e ventilação, garantindo ambientes de aprendizado mais confortáveis e saudáveis ao longo do ano.

Referências

ABNT. NBR 15220-3:2024. Desempenho térmico de edificações - Parte 3: zoneamento bioclimático por desempenho. 2024.

ANVISA. *Resolução - RE nº 9: Qualidade do ar interior em ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo*. . [S.l: s.n.], 2003.

ASHRAE. *Standard 55 - Thermal environmental conditions for human occupancy*. *ANSI/ ASHRAE Standard 55-2020*. Atlanta, 2020.

BAKÓ-BIRÓ, Zs *et al.* Ventilation rates in schools and pupils' performance. *Building and Environment*, v. 48, n. 1, p. 215–223, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.08.018>.

BALVEDI, Bruna Faitão; GHISI, Enedir; LAMBERTS, Roberto. A review of occupant behaviour in residential buildings. *Energy and Buildings*, v. 174, p. 495–505, 2018.

DAISEY, J. M.; ANGELL, W. J.; APTE, M. G. Indoor air quality, ventilation and health symptoms in schools: An analysis of existing information. *Indoor Air*, v. 13, n. 1, p. 53–64, 2003.

FABI, Valentina *et al.* Occupants' window opening behaviour: A literature review of factors influencing occupant behaviour and models. *Building and Environment*, v. 58, p. 188–198, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.07.009>.

FRANCESCHINI, Paula Brumer; NEVES, Leticia Oliveira. A critical review on occupant behaviour modelling for building performance simulation of naturally ventilated school buildings and potential changes due to the COVID-19 pandemic. *Energy and Buildings*, v. 258, n. 2022, p. 111831, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.111831>.

FRANCESCHINI, Paula Brumer; SCHWEIKER, Marcel; NEVES, Leticia Oliveira. Predictive modelling of multi-domain factors on window, door, and fan status in naturally ventilated school classrooms. *Building and Environment*, v. 264, n. June, p. 111912, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111912>.

GHISI, Enedir; BAVARESCO, Mateus; SILVESTRE, Acácio Gomes Corrêa. Avaliação do comportamento de usuários em escritórios compartilhados em Florianópolis: estudo de caso sobre janelas, luminárias e aparelhos de ar-condicionado. *Ambiente Construído*, v. 24, 2024.

HALDI, Frédéric; ROBINSON, Darren. Interactions with window openings by office occupants. *Building and Environment*, v. 44, n. 12, p. 2378–2395, 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.03.025>.

HAMA, Sarkawt *et al.* The underpinning factors affecting the classroom air quality, thermal comfort and ventilation in 30 classrooms of primary schools in London. *Environmental Research*, v. 236, n. P2, p. 116863, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116863>.

IEA, International Energy Agency. Final Report Annex 53. Total energy use in buildings Analysis and evaluation methods. *International Energy Agency Programme on Energy in Buildings and Communities*, n. June, p. 132, 2016.

ISO 7726. Ergonomics of the Thermal Environment — Instruments for Measuring Physical Quantities. Bs En Iso 7726:2001, n. 1,p. 1–62, 2001. doi:10.3403/02509505.

MAHDAVI, Ardeshir *et al.* The role of occupants in buildings' energy performance gap: Myth or reality? *Sustainability (Switzerland)*, v. 13, n. 6, p. 1–44, 2021.

O'BRIEN, William; TAHMASEBI, Farhang. *Occupant-Centric Simulation Aided Building Design: Theory, Application, and Case Studies*. 2023.

SORGATO, M. J.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. The effect of window opening ventilation control on residential building energy consumption. *Energy and Buildings*, v. 133, p. 1–13, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.09.059>.

STAZI, Francesca *et al.* Indoor air quality and thermal comfort optimization in classrooms developing an automatic system for windows opening and closing. *Energy and Buildings*, v. 139, p. 732–746, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.01.017>.

ZAMBONATO, Bruna *et al.* Pesquisa Qualitativa sobre o Comportamento do Usuário em Habitação Multifamiliar: Estudo Piloto. 2020, Porto Alegre: 2020.

Agradecimentos

Agradecemos o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) (processos nº 2019/13474-7 e 2021/11903-8) e do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) da UNICAMP para a realização desta pesquisa.