XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ENTAC 2022

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável
Canela, Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

Avaliação do projeto de ventilação natural de salas de aula durante a pandemia de Covid-19

Evaluation of the natural ventilation design of classrooms during the Covid-19 pandemic

Paula Brumer Franceschini
Universidade Estadual de Campinas | Campinas | Brasil | p229312@dac.unicamp.br
Vinicius Lima Oliveira
Universidade Estadual de Campinas | Campinas | Brasil | v245361@dac.unicamp.br
Pedro Padilha Gonçalves
Universidade Estadual de Campinas | Campinas | Brasil | p204716@dac.unicamp.br
Doris Catharine Cornelie Knatz Kowaltowski
Universidade Estadual de Campinas | Campinas | Brasil | doris@fec.unicamp.br
Leticia de Oliveira Neves
Universidade Estadual de Campinas | Campinas | Brasil | leticia@fec.unicamp.br

Resumo

Avaliou-se a eficácia do projeto de ventilação natural de salas de aula durante a pandemia de Covid-19, sob o enfoque do comportamento do usuário. O modelo de uma escola foi calibrado e cenários com/ sem a influência do usuário na operação de porta e janelas foram simulados. As taxas de renovação de ar resultantes foram comparadas aos valores sugeridos na literatura especializada, mostrando que o cenário representativo do comportamento real de usuários não atendeu aos valores mínimos recomendados, na maior parte do tempo. Ao manter porta e janelas sempre abertas, o projeto arquitetônico mostrou maior adequabilidade aos valores de referência.

Palavras-chave: Sala de aula. Taxa de renovação de ar. Ventilação natural. Comportamento do usuário. Simulação do desempenho da edificação.

Abstract

The effectiveness of classroom natural ventilation design during the Covid-19 pandemic was evaluated from the perspective of occupant behavior. A school model was calibrated and

Como citar:
FRANCESCHINI, P. B.; OLIVEIRA, V. L.; GONÇALVES, P. P.; KOWALTOWSKI, D. C. C. K., NEVES, L. O. Avaliação do projeto de ventilação natural de salas de aula durante a pandemia de Covid-19. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. XXX-XXX.

scenarios with/ without occupant influence on door and window operation were simulated. The resulting air change rates were compared to the values suggested in the specialized literature, showing that the scenario representing actual occupant behavior did not meet the recommended minimum values most of the time. By keeping the door and windows open at all times, the architectural design showed a better fit with the reference values.

Keywords: Classroom. Air change rate. Natural ventilation. Occupant behavior. Building performance simulation.

INTRODUÇÃO

O edifício educacional contemporâneo passa por constantes alterações, decorrentes de mudanças no pensamento pedagógico vigente, do desenvolvimento de novos e mais detalhados padrões de segurança e manutenção e do rápido avanço em tecnologias de comunicação que permitem novas formas de ensino. As tendências na arquitetura escolar abraçam estas dinâmicas tecnológicas e sociais e procuram propiciar ambientes funcionais, confortáveis e estimulantes para o ensino. As questões da saúde no ambiente escolar sempre devem estar presentes nas definições de projeto, com diretrizes sobre níveis de conforto térmico, luminoso e acústico, acessibilidade, materiais atóxicos, higiene e qualidade do ar interior (QAI). A atual pandemia de Covid-19, no entanto, demonstrou a urgente necessidade de se reavaliar como escolas e outros ambientes educativos são projetados, com o devido foco na relação com o ambiente físico e na dispersão de agentes biológicos e outros contaminantes previamente desconsiderados (DIETZ, 2020; LARSSON, 2020).

A literatura existente aponta para a importância da renovação do ar interno como uma das principais estratégias de controle para a pandemia de Covid-19, ressaltando a necessidade de manutenção de taxas de renovação de ar mínimas (DIETZ, 2020; KURABUCHI et al., 2021). Tanto o ambiente físico como seus usuários devem se adaptar para uma nova realidade, com o apoio de evidências factuais e do conhecimento científico. Algumas pesquisas apontam para valores mínimos de referência, em termos de taxa de renovação do ar ambiente ou por pessoa, como forma de reduzir a concentração interna de CO_2 e demais aerossóis (BLOCKEN et al., 2021; DECKER et al., 2021; HOU et al., 2021; KURABUCHI et al., 2021; PARK et al., 2021). É importante salientar que, em condições com uma taxa de ventilação constante, a probabilidade de infecção aumenta aritmeticamente à medida que o tempo de exposição aumenta (PARK et al., 2021), sendo os dados trazidos por estes estudos referentes a períodos típicos de ocupação de ambientes escolares.

No caso de ambientes naturalmente ventilados, Park et al. (2021) apontam para a importância do uso da ventilação cruzada em detrimento da ventilação unilateral, de modo a incrementar as taxas de ventilação. Os autores afirmam que a taxa de ventilação em ambientes com ventilação unilateral é 60% menor que em ambientes com ventilação cruzada. Sabe-se também que a relação entre taxa de ventilação por área de abertura total é aproximadamente duas vezes maior para ventilação cruzada do que para ventilação unilateral (DECKER et al., 2021; KURABUCHI et al., 2021; PARK et al., 2021). Neste caso, faz-se destaque à necessidade de o projeto de ventilação

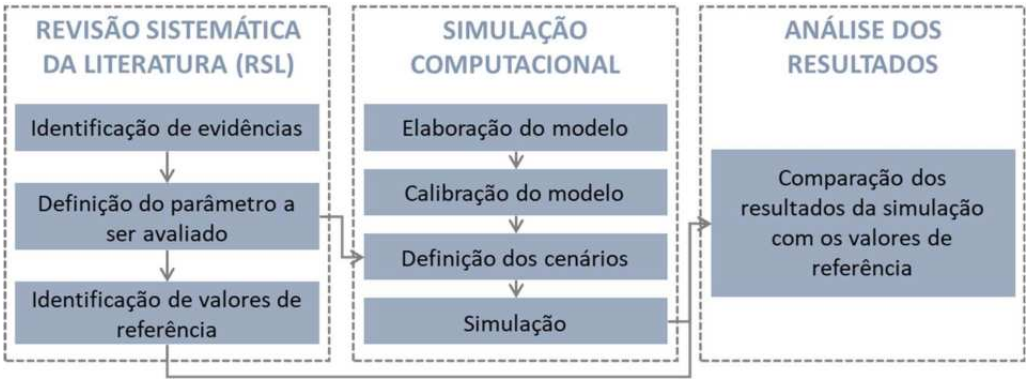
natural ser adequadamente dimensionado, associado à adoção de novos hábitos de uso, como a manutenção de janelas e portas abertas de forma a garantir o fluxo de ar.

Nesse contexto, o presente estudo visa avaliar a eficácia do projeto de ventilação natural de salas de aula de edifícios escolares durante a pandemia de Covid-19, sob os enfoques do projeto arquitetônico e do comportamento do usuário e tendo como base valores de referência de taxa de renovação de ar propostos na literatura.

MÉTODO

Esta é uma pesquisa descritiva baseada em um estudo de caso, que contemplou o uso de simulação computacional. Desenvolveu-se em três etapas principais (Figura 1), detalhadas a seguir.

Figura 1: Diagrama com as etapas do estudo.



Fonte: os autores.

REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA (RSL)

A RSL foi desenvolvida a partir do método proposto por Kitchenham (2007), com o objetivo de identificar evidências relacionadas à transmissão do vírus SARS-CoV-2 em edificações escolares. No total, nove palavras-chave foram utilizadas, por meio de 11 combinações pré-estabelecidas, a fim de garantir maior sistematização do processo de levantamento inicial (Quadro 1). Como critérios de inclusão, foram selecionados artigos publicados entre 2020 e 2021 e nos idiomas inglês e português. Foram excluídos artigos sem "*peer review*" e selecionados resultados da área de pesquisa da Educação e/ou Arquitetura, com acesso aberto ou com texto disponível na íntegra.

O título e o resumo dos artigos foram avaliados, resultando em 33 artigos selecionados, com a adição de 12 publicações por amostragem em bola de neve, indicadas por especialistas das áreas de ventilação, conforto térmico e qualidade do ar interior (QAI). As 45 publicações resultantes passaram por uma etapa de análise qualitativa, na qual foram excluídas 21 publicações devido à ausência de informações relevantes à transmissão de Covid-19 (12); à ausência de informações relevantes ao ambiente de ensino (4); à ausência de informações relevantes ao projeto (2); e por estarem fora do tema ou objetivo do projeto (2). Uma última publicação foi excluída por ser uma tese de doutorado com pesquisa iniciada antes da pandemia. Assim, a amostra final deste estudo resultou em 24 publicações.

Quadro 1: Palavras-chave selecionadas e suas combinações, em português e inglês.

Idioma	Palavras-Chave	Combinações
Português	arquitetura escolar; projeto escolar; covid-19; pandemia.	"arquitetura escolar" AND "covid-19"; "arquitetura escolar" AND "pandemia"; "projeto escolar" AND "pandemia".
Inglês	school design; school architecture; school building design; classroom; learning environment; covid-19.	"school design" AND "covid-19"; "school design" AND "covid-19 pandemic"; “school architecture” AND “covid-19”; “school building design” AND “covid-19”; "school design" AND “classroom” AND “covid-19”; "learning environment" AND "school design" AND "covid-19"; "educational institution" AND "covid-19"; "learning environment" AND "covid-19".

Fonte: os autores.

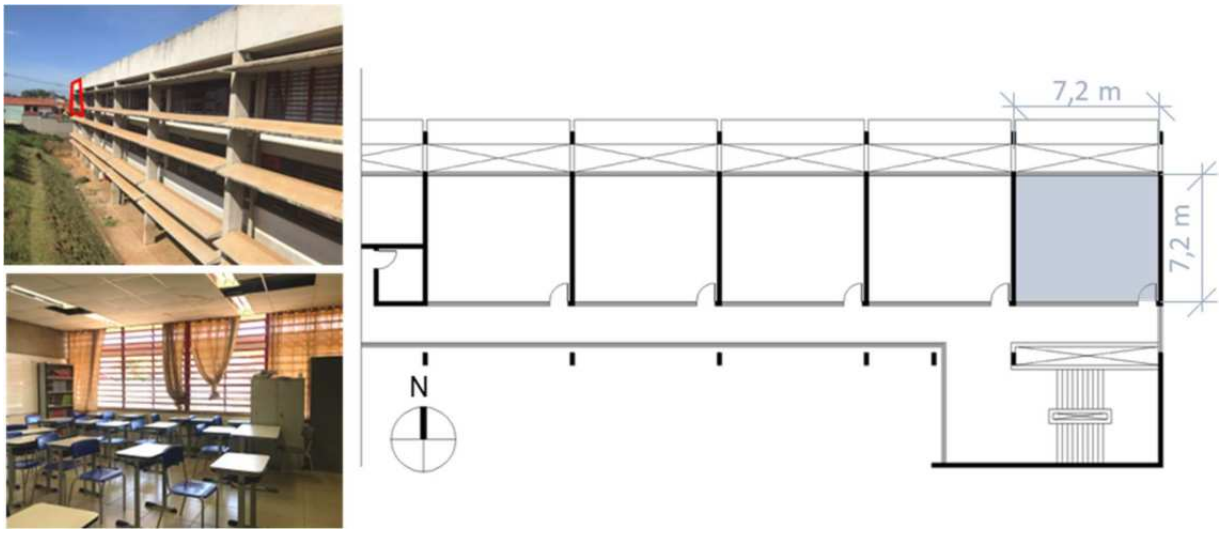
Os seguintes temas foram identificados na amostra de artigos: ventilação; adaptações em espaços durante e/ou após a pandemia; controle de transmissão do vírus; adaptações em atividades durante e/ou pós-pandemia; qualidade do ar interior (QAI); inovação responsável; qualidade ambiental interior; *retrofit*; necessidades especiais; ética. A ventilação foi identificada como o tema predominante (43% da amostra), o que indica a relevância deste tópico no estudo sobre os impactos de Covid-19 no ambiente escolar. Em vista disso, a partir do recorte da ventilação, optou-se por analisar os valores recomendados pela literatura selecionada para taxa de renovação de ar de salas de aula. Tais valores, sugeridos em 5 das 24 publicações selecionadas, foram utilizados como referência para a avaliação do estudo de caso em questão. Além disso, os seguintes tópicos foram pontuados, para cada artigo: caracterização do clima e ambiente escolar estudado, evidências levantadas pelos autores com relação à contribuição da ventilação no controle da pandemia de Covid-19.

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Uma escola pública de ensino fundamental I e II, construída e administrada pela Fundação para o Desenvolvimento da Educação (FDE) do estado de São Paulo e localizada na cidade de Campinas, foi selecionada como estudo de caso. A escola possui dez salas de aula, distribuídas em dois pavimentos e com dimensões padrão da FDE (Figura 2).

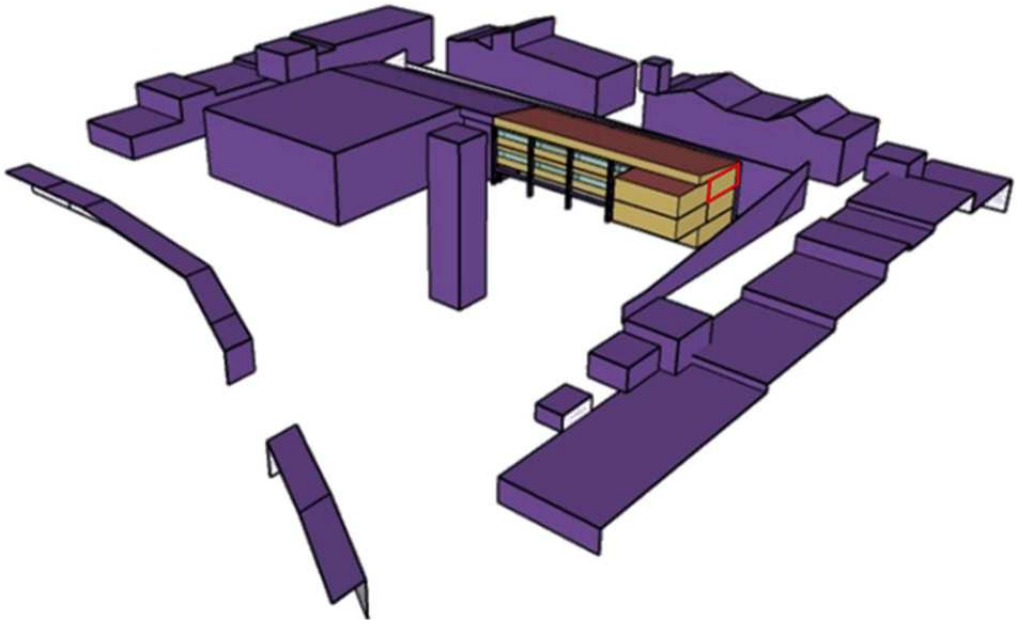
Para avaliação do estudo de caso, simulações computacionais foram desenvolvidas no programa EnergyPlus versão 9.4. As salas de aula foram modeladas como zonas térmicas e as edificações do entorno foram modeladas como elementos de sombreamento (Figura 3). Os coeficientes de pressão foram previstos pela plataforma CpSimulator (BRE; GIMENEZ, 2022), de modo a considerar as obstruções do entorno no cálculo de ventilação natural. As propriedades térmicas dos componentes construtivos (Tabela 1) e as características das esquadrias (Tabela 2), levantadas com base na leitura do projeto arquitetônico da escola e em observações *in loco*, foram utilizadas como dados de entrada para as simulações. O modelo Kusuda e Achenbach de temperatura do solo não perturbado foi utilizado para simular as trocas de calor pelo solo (ELI *et al.*, 2019) e o módulo *AirFlow Network* foi utilizado para simular o sistema de ventilação natural, utilizando como coeficiente de descarga o valor de 0,6 (FLOURENTZOU; VAN DER MAAS; ROULET, 1998).

Figura 2: Fachada (à esquerda e acima), sala de aula (à esquerda e abaixo) e seção da planta do pavimento superior (à direita) da escola selecionada para estudo de caso, com destaque para a sala de aula analisada (em azul).



Fonte: os autores.

Figura 3: Geometria do modelo, com destaque para a sala de aula analisada (em vermelho).



Fonte: os autores.

Tabela 1: Propriedades térmicas dos componentes construtivos.

Componente	Descrição	Transmitância térmica - U (W/m². K)	Capacidade térmica - C (kJ/m². K)	Absortância solar da sup. externa - α	Fator solar - FS
Parede externa	Bloco de concreto 190x190x390 mm	2,8	202,2	0,19	-
Janela	Vidro incolor 3 mm	5,4	-	-	0,87
Laje	Laje de concreto 150 mm + argamassa de assentamento + piso cerâmico	2,7	243	-	-
Cobertura	Telha cerâmica	1,1	164,2	0,25	-

Fonte: os autores.

Tabela 2: Características das esquadrias

Item	Descrição	Área útil de abertura para ventilação
Porta	Porta de giro – 90 cm x 210 cm	1,0
Janela fachada	Janela com 20 folhas pivotantes e 8 fixas – 180 cm x 210 cm / peitoril 80 cm (4 unidades)	0,4
Janela circulação	Janela com 4 folhas pivotantes – 180 cm x 80 cm / peitoril 220 cm (4 unidades)	0,6

Fonte: os autores.

O modelo foi calibrado utilizando dados medidos na sala de aula selecionada durante o período de 15 a 23 de fevereiro de 2022. As variáveis climáticas internas monitoradas incluíram: temperatura do ar, temperatura de globo, concentração de CO_2 e umidade relativa do ar. A temperatura radiante média e a temperatura operativa interna foram calculadas utilizando os dados de temperatura do ar e temperatura de globo, de acordo com a ASHRAE 55 (ASHRAE, 2020). Adicionalmente, a operação de janelas e porta foi monitorada utilizando sensores de estado (fechado/ aberto). O período de ocupação e o número de ocupantes por dia foram disponibilizados pela professora e as cargas de iluminação e equipamentos foram estimados com base em observação *in loco* (Tabela 3).

Tabela 3: Cargas internas.

Item	Descrição	Carga total
Ocupação	1,7 m²/pessoa durante o período letivo (7 h às 16 h)	108 W/pessoa
Equipamentos	2 ventiladores – 150 W (unid.)	300 W
Iluminação	6 luminárias com 2 lâmpadas fluorescentes– 40 W (unid.)	480 W

Fonte: os autores.

As variáveis climáticas externas (temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade e direção do vento e índice de precipitação) do mesmo período de medição foram obtidas do Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (CEPAGRI) da Unicamp, cuja estação meteorológica está localizada a cerca de 5 km de distância da escola monitorada. Os dados foram convertidos para o formato EnergyPlus *Weather File* (epw) por meio do Weather Converter versão 8.1.0, um programa auxiliar do EnergyPlus.

Os dados coletados no período noturno (i.e., sem influência da radiação solar e das cargas térmicas internas) foram utilizados na calibração do modelo de simulação, de forma a minimizar as incertezas. Nesse período, as condições internas são influenciadas prioritariamente pelas alterações advindas da temperatura externa, da transferência de calor por condução através de paredes e janelas e da infiltração. O erro médio absoluto (*Mean Absolute Error* – MAE) foi utilizado para avaliar a precisão do modelo de calibração, de forma a selecionar o modelo com valores de temperatura operativa interna mais próximos dos dados medidos.

Após a calibração do modelo físico da edificação, as condições internas durante o dia foram calibradas inserindo os padrões de ocupação obtidos a partir dos dados monitorados (período de ocupação, número de ocupantes, *status* da porta e das janelas, cargas internas de iluminação e equipamentos). O MAE foi calculado novamente e o erro médio normalizado (*Normalised Mean Bias Error* – NMBE) e o

coeficiente de variação da raiz quadrada do erro médio (*Coefficient of Variance of Root Mean Square Error* – CV(RMSE)) foram utilizados para avaliar a precisão do modelo de calibração. Os valores obtidos para o modelo calibrado foram de 0,3 °C (MAE), 1,1% (NMBE) e 3,3% (CV RMSE), ficando abaixo dos valores de referência estabelecidos na ASHRAE *guideline* 14 (ASHRAE, 2002), que são de 1 °C, 10% e 30%, respectivamente, o que garantiu a precisão do processo de calibração.

Com o modelo calibrado, a avaliação da ventilação natural da sala de aula foi realizada por meio da simulação de dois cenários: o primeiro (Cenário 1) considerando a operação de janelas e porta da medição (i.e., comportamento do usuário real) e o segundo (Cenário 2) mantendo as janelas e portas sempre abertas, inclusive no período noturno (i.e., sem a influência do usuário). A operação de portas e janelas monitorada durante o período de duas semanas foi extrapolada para todo o ano letivo, o que pode ser considerada como uma limitação do presente estudo. O arquivo climático da cidade de Campinas no formato *Typical Meteorological Year* (TMY) dos anos 2003-2017 (CLIMATEONEBUILDING, 2022) foi utilizado para simular os dois cenários durante todo o ano letivo. O parâmetro de saída selecionado para as simulações foi a taxa de renovação de ar horária.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados das simulações foram analisados em termos de média e desvio padrão dos valores anuais de taxa de renovação de ar, considerando-se apenas o período de ocupação da sala de aula (dias de semana das 7 h às 16 h). Os valores resultantes foram comparados com os valores de referência propostos na literatura publicada durante a pandemia de Covid-19, a fim de avaliar se a ventilação da sala de aula selecionada está adequada às necessidades trazidas pela pandemia, considerando-se os cenários com e sem a influência do comportamento do usuário na operação de porta e janelas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Quadro 2 traz as evidências levantadas na RSL com relação às estratégias de ventilação para controle da pandemia de Covid-19 em salas de aula, bem como os valores de referência propostos. De forma a permitir a realização de uma análise comparativa, os valores de referência foram uniformizados, considerando-se taxa de renovação de ar horária por pessoa.

A Tabela 4 apresenta os resultados da taxa de renovação de ar horária média e desvio padrão, durante o período de ocupação, para ambos os cenários simulados. O cenário 2 apresentou valores mais altos, indicando que manter a porta e as janelas sempre abertas é uma estratégia mais eficaz para a ventilação, no contexto desta sala de aula.

As médias da taxa de renovação de ar a cada 10 minutos durante o período de ocupação são apresentadas na Figura 4, para os dois cenários. O cenário 1, que representa o comportamento real do usuário, apresentou valores sempre inferiores ao cenário 2, porém semelhantes durante o período da manhã. Neste período, janelas

e porta mantiveram-se abertas por mais tempo, em comparação com o período da tarde, em que se notou maior interferência do usuário.

Quadro 2: Evidências identificadas na literatura, com destaque para taxas de renovação de ar recomendadas.

Publicação	Características do estudo (sala de aula)				Evidências	Taxa de renovação de ar horária
	Local/ Clima (Köppen-Geiger)	Área (m²) ou Volume (m³)	Nº de usuários	Período de ocup.		
Blocken et al., 2021	Eindhoven, Holanda/ Oceânico temperado (Cfb)	886 m³	40	0,5 h	Uso combinado de ventilação e higienização do ar reduziu concentrações de aerossóis.	0,10 ren./h.pessoa
Decker et al, 2021	Londrina, Brasil/ Subtropical úmido (Cfa)	40,3 - 63,7 m²	7 - 28	-	Valores mínimos de renovação de ar.	0,14 a 0,27 ren./h.pessoa *(considerando-se um pé-direito de 3 m)
Hou et al., 2021	Montreal, Canada/ Continental úmido de verão fresco (Dfb)	165 - 236 m³	19- 21	1 – 8 h	Recomendação de concentração de CO_2 menor que 450 ppm.	0,48 a 0,53 ren./h.pessoa
Kurabuchi et al., 2021	Tokyo, Japão/ Subtropical úmido (Cfa)	60 m²	-	-	Valores mínimos de renovação de ar.	0,33 ren./h.pessoa *(considerando-se um pé-direito de 3 m)
Park et al., 2021	Suwon, Coréia do Sul/ Continental úmido de verão quente (Dwa)	64,6 m²/ 168 m³	-	0,5 – 3 h	Taxa de infecção com uso de máscara fica abaixo de 1% para o valor de renovação de ar horária referenciado.	0,33 ren./h.pessoa *(considerando-se 20 ocupantes)

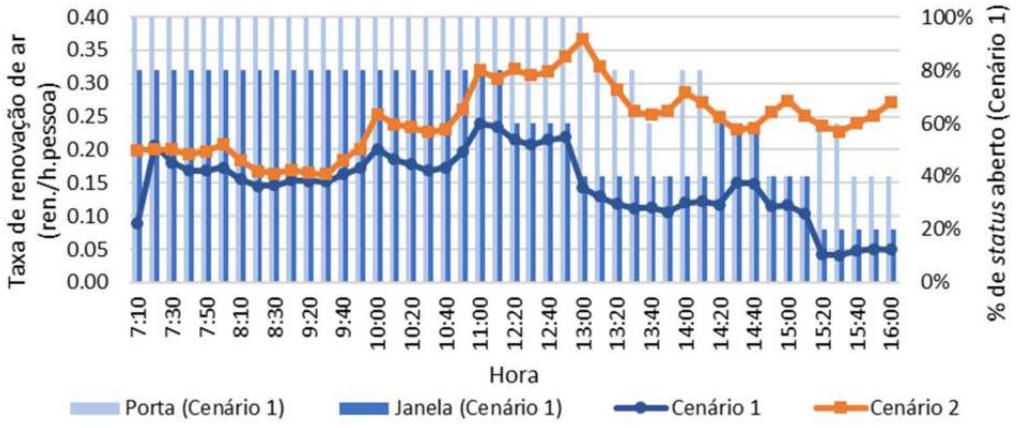
Fonte: os autores.

Tabela 4: Média das taxas de renovação de ar durante o período de ocupação nos cenários simulados.

Cenário	Área (m²) ou Volume (m³)	Nº de usuários	Período de ocupação	Taxa de renovação de ar horária	
				Média	Desvio Padrão
1	49 m²/ 147 m³	29	4 h (manhã) + 4 h (tarde)	0,15 ren/h.pessoa	0,35 ren/h.pessoa
2				0,24 ren/h.pessoa	0,44 ren/h.pessoa

Fonte: os autores.

Figura 4: Média da taxa de renovação de ar e operação de porta e janelas a cada 10 minutos durante o período de ocupação nos cenários simulados.

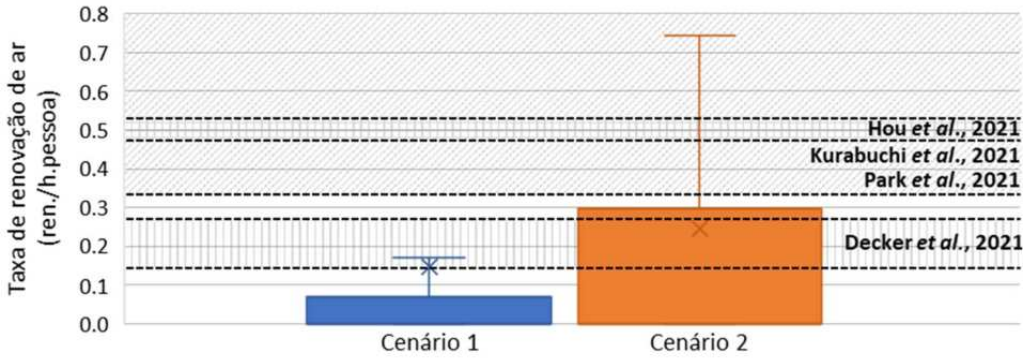


Fonte: os autores.

A Figura 5 apresenta os valores de taxa de renovação de ar resultantes das simulações dos cenários 1 e 2 por meio de um diagrama de caixa, desconsiderando os *outliers*. Apresenta também os valores mínimos recomendados pela literatura (Quadro 2),

considerando-se as características da sala de aula que mais se aproximam ao nosso estudo de caso. Quando comparados aos menores valores de referência encontrados na literatura (DECKER et al., 2021), o cenário 1 não atende aos requisitos mínimos em 78% do período de ocupação, o que demonstra a inadequação do ambiente em termos de ventilação para controle da disseminação do vírus SARS-CoV-2. O cenário 2, por outro lado, atende aos valores propostos por Decker et al. (2021) em 33% do período de ocupação, ultrapassando os maiores valores de referência da literatura, referentes a Hou et al. (2021), em 19% do período, o que mostra que a manutenção de janelas e porta sempre abertas permitiu maior adequação do ambiente aos valores sugeridos pela literatura.

Figura 5: Diagrama de caixa com as taxas de renovação de ar para os dois cenários simulados e valores propostos na literatura.



Fonte: os autores.

CONCLUSÃO

Avaliou-se, para o estudo de caso aqui apresentado, a eficácia do projeto de ventilação natural de uma sala de aula durante a pandemia de Covid-19, sob os enfoques do projeto arquitetônico e do comportamento do usuário e tendo como base valores de referência de taxa de renovação de ar propostos na literatura recente sobre o assunto. O primeiro passo consistiu em identificar, por meio de uma revisão sistemática da literatura, evidências relacionadas à transmissão do vírus SARS-CoV-2 em edificações escolares e os valores recomendados para taxa de renovação de ar em salas de aula. Após isso, um modelo de simulação de uma escola selecionada como estudo de caso foi calibrado e dois cenários – com e sem a influência do usuário em relação à operação de porta e janelas – foram simulados.

As taxas de renovação de ar resultantes das simulações foram comparadas aos valores propostos na literatura, mostrando que a interferência dos usuários na operação de porta e janelas (cenário 1) refletiu negativamente no desempenho em ventilação natural do ambiente, já que os resultados obtidos não atenderam aos valores mínimos recomendados na literatura na maior parte do período de ocupação. Ao desconsiderarmos a interferência dos usuários na operação do sistema de ventilação natural e adotarmos porta e janelas sempre abertas, o projeto arquitetônico mostrou-se mais adequado para atendimento às taxas de renovação de ar recomendadas pela literatura, atendendo aos valores de referência mínimos propostos por Decker et al.

(2021) (referência menos restritiva com contexto semelhante a esse estudo de caso) em 33% do tempo e aos valores propostos por Hou et al. (2021) (referência mais restritiva) em 19% do tempo.
Esta pesquisa teve como enfoque o desempenho do ambiente em termos de renovação de ar, não considerando demais aspectos que influenciam no comportamento do usuário em termos de operação de portas e janelas, como conforto térmico e luminoso, ruídos, regras de convívio social, etc.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Cientifica (PIBIC) (processo nº 32225) e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) (processos nº 2021/05579 e nº 2019/13474-7) para a realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ASHRAE. **Guideline 14: Measurement of Energy and Demand Savings.** Technical report ISSN 1049-894X. ANSI/ASHRAE Standards Committee, 2002.

ASHRAE. **Standard 55: Thermal environmental conditions for human occupancy.** ANSI/ ASHRAE Standards Committee, 2020.

BLOCKEN, B. *et al*. Ventilation and air cleaning to limit aerosol particle concentrations in a gym during the COVID-19 pandemic**. Building and Environment**, v. 193, p. 107659, 2021.

BRE, F.; GIMENEZ, J. M. A cloud-based platform to predict wind pressure coefficients on buildings. **Building Simulation**, v. 15, n. 8, p. 1507-1525, 2022.

CLIMATEONEBUILDING. **Repository of free climate data for building performance simulation**. Disponível em: http://climate.onebuilding.org Acesso em: 20 mai. 2022.

DECKER, P. H. B. *et al.* Uso da ventilação natural como estratégia para redução de riscos na transmissão da Covid-19 em salas de aula: relatos de estudos em escolas municipais de Londrina-PR. **Extensão em Foco**, n. 23, 2021.

DIETZ, L. *et al*. 2019 Novel Coronavirus (COVID-19) Pandemic: Built Environment Considerations to Reduce Transmission. **mSystems**, v. 5, n. 2, 2020.

ELI, L. G. *et al*. **Manual de simulação computacional de edifícios com o uso do objeto Ground Domain no programa EnergyPlus**. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LABEE), Florianópolis, 2019.

FLOURENTZOU, F.; VAN DER MAAS, J.; ROULET, C. A. Natural ventilation for passive cooling: measurement of discharge coefficients. **Energy and Buildings**, v. 27, n. 3, p. 283–292, 1998. Disponível em: https://doi.org/10.1016/S0378-7788(97)00043-1

HOU, D.; KATAL, A.; WANG, L. Bayesian Calibration of Using CO 2 Sensors to Assess Ventilation Conditions and Associated COVID-19 Airborne Aerosol Transmission Risk in Schools. **Infectious Diseases** (except HIV/AIDS), 3 fev. 2021. Disponível em: <http://medrxiv.org/lookup/doi/10.1101/2021.01.29.21250791>. Acesso em: 16 out. 2021.

LARSSON, N. *et al*. **Pandemics and the Built Environment 22June20.** Technical Report, IISBE, 2020.

KITCHENHAM, B. **Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering.** Keel, UK: Technical report, EBSE Technical Report EBSE-2007-01, 2007.

KURABUCHI, T. *et al*. Operation of air-conditioning and sanitary equipment for SARS-CoV-2 infectious disease control. **Japan Architectural Review**, 2021.

PARK, S. *et al*. Natural ventilation strategy and related issues to prevent coronavirus disease 2019 (COVID-19) airborne transmission in a school building. **Science of The Total Environment**, v. 789, p. 147764, out. 2021.