

CONFORTO AMBIENTAL APLICADO À ARQUITETURA ESCOLAR EM CONTEXTO PÓS-PANDEMIA

Thalita de Sousa Alencar (IC) e Carolina de Rezende Maciel (Orientador)

Apoio: PIVIC Mackenzie

RESUMO

A premissa do estudo reside na análise da temática da importância do conforto ambiental na arquitetura escolar em um contexto pós-pandemia, com enfoque nas condições de ventilação natural das escolas públicas construídas pela Fundação para o Desenvolvimento da Educação (FDE), em São Paulo. Possui como base a pesquisa bibliográfica, visando conceitos teóricos, e a realização de simulações computacionais com o uso do software Design Builder para avaliação da situação dos ambientes escolares. Partindo do pressuposto de que a arquitetura é capaz de influenciar na saúde humana e na transmissão de doenças, a pesquisa procura ampliar o diálogo acerca das possibilidades de adequar os espaços educacionais da rede pública de ensino do estado de São Paulo neste contexto, considerando as limitações socioeconômicas e regionais, buscando contribuir para a construção de espaços saudáveis como forma de mitigação da disseminação da COVID-19 e outras doenças.

Palavras-chave: Ventilação natural. Arquitetura escolar. COVID-19.

ABSTRACT

The premise of the study lies in the analysis of the theme of the importance of environmental comfort in school architecture in a post-pandemic context, focusing on the natural ventilation conditions of public schools built by the Foundation for the Development of Education (FDE), in São Paulo. It is based on bibliographic research, aiming at theoretical concepts, and on computer simulations using the Design Builder software to evaluate the situation of school environments. Assuming that architecture is capable of influencing human health and the transmission of diseases, the research seeks to broaden the dialogue about the possibilities of adapting the educational spaces of public education in São Paulo in this context, considering the socioeconomic and regional limitations, seeking to contribute to the construction of healthy spaces as a way of mitigating the spread of COVID-19 and other diseases.

Keywords: Natural ventilation. Educational architecture. COVID-19.

1. INTRODUÇÃO

A pandemia gerada pelo vírus SARS-CoV-2 foi capaz de abrir novos diálogos acerca das formas de construir e enxergar os espaços na cidade. Sendo assim, o papel do arquiteto é encontrar soluções para que se possa diminuir o contágio por meio da adequação do espaço físico, considerando que “[...] a arquitetura e o urbanismo fornecem ferramentas de redução de danos e de controle epidêmico” (IAB/SP, 2020, p. 21).

Segundo o Instituto de Arquitetos do Brasil – Departamento de São Paulo (IAB/SP, 2020), as 5209 escolas estaduais de São Paulo – o estado com maior número de casos da doença, já somando mais de 5 milhões de casos confirmados até o dia 17 de agosto de 2022 (OMS, 2022) – estão situadas em diferentes contextos climáticos e socioeconômicos, sendo que muitas delas não estão adequadas para uso e não oferecem ambientes saudáveis, isto é, são incapazes de oferecer condições adequadas de ventilação natural e conforto ambiental, fazendo com que se tornem geradores e transmissores de doenças, influenciando diretamente na saúde humana. Neste momento, portanto, é preciso entender que as escolas precisam de readequações estruturais para serem consideradas saudáveis (IAB/SP, 2020).

A Fundação para o Desenvolvimento da Educação (FDE, 2006), responsável por construir e manter as escolas públicas estaduais, propõe a adoção das estruturas pré-fabricadas e a inserção de materiais pré-estabelecidos para a construção dessas edificações, afirmando que são capazes de garantir a qualidade e reduzir os prazos da obra. Defende ainda que a construção desses espaços educacionais deve ser racionalizada, com a repetição de elementos construtivos de forma que se evitem exceções e adaptações, fazendo com que as escolas geradas possuam soluções semelhantes para iluminação, ventilação, vedação, coberturas, pisos e conforto térmico (FDE, 2011).

Em contrapartida, o estado de São Paulo possui grande diversidade de condições climáticas e socioeconômicas, sendo que “[...] os ambientes escolares demandam diferentes soluções para o conforto térmico, ventilação, iluminação e acústica, com características que exigem flexibilidade de soluções e respostas de desenho” (IAB/SP, 2020, p. 17).

Portanto, considera-se de grande importância o estudo não só da construção e das condições ambientais das escolas estaduais da rede pública de ensino do estado de São Paulo, como também de que maneira podem ser oferecidos ambientes adequados para alunos e funcionários usufruírem em um contexto pós-pandemia de forma segura.

Considerando a relevância da Organização das Nações Unidas (ONU, 2015) e a importância dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, a pesquisa procurou alinhamento junto às metas estipuladas. Nesse estudo, foram priorizados os objetivos 3 e 11, que consistem, respectivamente, em assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para

todos, em todas as idades, e tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis.

Figura 1. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU.



Fonte: ONU - Organização das Nações Unidas, (2015).

Assim, o estudo tem como objetivo geral investigar as estratégias adotadas na construção das escolas com o padrão adotado pela FDE a fim de identificar se escolas que possuem tais condições podem ser consideradas como edificações saudáveis. Para a análise, foi escolhida a Escola Estadual Fazenda Juta VI, localizada em Sapopemba, em São Paulo.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O betacoronavírus SARS-CoV-2 foi detectado pela primeira vez em amostras de lavado broncoalveolar de pacientes na cidade de Wuhan, província de Hubei, China, em dezembro de 2019. O mesmo é o causador da infecção respiratória aguda denominada COVID-19, que possui alto nível de transmissibilidade e, consequentemente, grande distribuição no mundo (BRASIL, 2021). Segundo dados da Organização Mundial da Saúde (OMS, 2022), até o dia 17 de agosto de 2022, havia mais de 589 milhões de casos confirmados da doença no mundo, sendo o Brasil responsável por mais de 34 milhões destes.

O vírus pode ser transmitido “[...] por meio do contato direto, indireto, ou próximo de pessoas infectadas através de secreções infectadas como saliva e secreções ou gotículas respiratórias, que são expelidas quando uma pessoa infectada tosse, espirra, fala ou canta” (OMS, 2020b, p. 1, tradução nossa).

Segundo o Instituto de Arquitetos do Brasil – Departamento de São Paulo (IAB/SP, 2020), qualquer pessoa é suscetível a contrair a doença, independente da faixa etária, embora

exista uma prevalência no agravamento dos sintomas em pessoas que não fazem parte do grupo de crianças e adolescentes, com exceção daquelas com menos de 1 ano de idade ou que possuem condições crônicas de saúde, de acordo com dados do Instituto Nacional de Saúde da Mulher, da Criança e do Adolescente Fernandes Figueira (IFF/FIOCRUZ, 2020).

No entanto, esta parcela da população pode assumir o papel de vetora do vírus, levando a doença para suas casas e, conseqüentemente, contaminando outras pessoas que vivem nesses locais (IAB/SP, 2020). Embora muitos países tenham optado pelo fechamento das escolas em todo o mundo como forma de mitigação da disseminação da doença, a OMS (2020a) alega que crianças e adolescentes sofreram impactos significativos de perda educacional, saúde e bem-estar após serem afastadas do ambiente escolar.

De acordo com a OMS (2020a), para diminuir o contágio da COVID-19 e tornar a escola um local seguro, é necessário adaptações ao contexto pós-pandemia em busca de prover ambientes saudáveis. Nesta realidade, é recomendada a prática do distanciamento físico entre os indivíduos (pelo menos 1 metro de distância), uso de proteção individual por parte dos alunos e funcionários, higienização do espaço e monitoramento da saúde daqueles que frequentam o local, destacando-se, também, a garantia de uma ventilação natural adequada nos ambientes educacionais para crianças menores de 18 anos, por meio de janelas abertas projetadas adequadamente para passagem do ar, evitando que o mesmo apresente uma baixa qualidade. Segundo o American Institute of Architects (AIA, 2020, p. 4), “[...] o objetivo principal é proteger a saúde e a segurança de alunos, professores e funcionários enquanto promovendo um ambiente de aprendizagem positivo e acolhedor que também seja seguro”. No entanto, muitas escolas no Brasil, majoritariamente as públicas, não preenchem os pré-requisitos estabelecidos pela OMS (2020a).

Segundo Schmid (2005, p. 161), “muitos são os riscos associados à qualidade do ar sobre a saúde e a comodidade das pessoas”, estabelecendo, portanto, que ambientes com ventilação natural inadequada são prejudiciais para o ser humano, tendo em vista que:

A qualidade do ar nos ambientes internos é especialmente importante, por ao menos três razões. Primeiramente, porque neles as pessoas passam a maior parte do seu tempo. Depois, porque o ar interno é a soma do ar externo com alguma coisa – não a subtração, como pode parecer. A presença das pessoas dentro dos ambientes fechados é um fator suficiente para que a qualidade do ar vá piorando com o tempo. E os filtros de aparelhos de ar-condicionado, sem o cuidado da limpeza periódica, contaminam, mais que purificam, o ar insuflado. [...] Por último, sendo limitado o volume de ar dentro dos ambientes, a concentração de poluentes facilmente atinge níveis muito mais altos que no ar externo. (SCHMID, 2005, p.151).

Sendo assim, é possível afirmar que a arquitetura é capaz de influenciar a saúde. Segundo Bastitella (2017 *apud* CARVALHO, 2017, p. 136), “a afirmação de que o ambiente é o grande responsável pelo estado de saúde humano não é nova e remonta aos gregos, particularmente a Hipócrates que [...] defende a noção da saúde como um estado de equilíbrio entre o homem e seu meio ambiente.”

De acordo com Crivelaro e Pinheiro (2016, p. 10), “a salubridade de uma moradia ou de um local de trabalho se torna essencial por causa da necessidade da manutenção da saúde humana”. Dessa forma, entende-se que o ambiente possui a capacidade de influenciar significativamente na saúde daqueles que o ocupam e na transmissão de doenças.

Certas características do ambiente interno podem mudar o estado de saúde, o comportamento e o desempenho dos estudantes. A asma, por exemplo, é um dos problemas mais frequentes diagnosticados quando de um ambiente físico não saudável. Investir na qualidade do ambiente interno proporciona, por exemplo, melhores condições para o ar interno, pois controlam as fontes de contaminação, providenciam adequada ventilação e previnem a acumulação de poluentes. Com isso, os estudantes ficarão menos dias doentes. (MUELLER, 2007, p. 21).

Portanto, é importante promover espaços que ofereçam conforto e segurança. Para a construção de escolas que ofereçam condições adequadas em um contexto pós-pandemia, “[...] o olhar para as edificações escolares busca adaptações espaciais que contribuam para a não disseminação do vírus e para a garantia de ambiências saudáveis” (IAB/SP, 2020, 17).

A ventilação e garantia de qualidade de ar interno estão profundamente ligadas ao conceito de conforto ambiental, sendo que este “[...] pode ser entendido como um conjunto de condições ambientais que permitem ao ser humano sentir bem-estar térmico, visual, acústico e antropométrico, além de garantir a qualidade do ar e conforto olfativo” (LAMBERTS *et al.*, 2014, p.43).

De acordo com Mueller (2007), escolas saudáveis devem oferecer condições de conforto ambiental e uma boa qualidade de ar interno, considerando diferentes estratégias de ventilação natural e renovação do ar no edifício, ao mesmo tempo em que oferece um espaço visualmente agradável, estimulante, seguro e de fácil manutenção.

Segundo Schmid (2005, p. 152), “[...] um valor muito alto de umidade propicia o crescimento de fungos, que podem desencadear reações alérgicas [...] Já um valor muito baixo de umidade predispõe ao ressecamento das mucosas e facilita a transmissão de doenças”. Isso afirma a importância de se fazer estudos acerca das condições climáticas e dos níveis de umidade do local anteriores à construção de qualquer edificação, para que

sejam traçadas estratégias de projeto capazes de trazer conforto ao indivíduo, gerando espaços saudáveis.

Burgos, Grigoletti e Paixão (2015), afirmam que adequação da ventilação natural e conforto térmico em ambientes escolares também é capaz de trazer benefícios para o aprendizado. Isso mostra que, com a adequação desses espaços, é possível trazer outras vantagens, além da diminuição do contágio da COVID-19 e outras doenças.

A ventilação adequada também desempenha um papel importante na manutenção do conforto térmico de um ambiente. Além disso, salas de aula com pouca ventilação e, conseqüentemente, com baixa qualidade de ar (elevada concentração de CO₂), prejudicam o ensino e a aprendizagem, pois reduzem a atenção dos alunos, afetando negativamente a memória e a concentração. (BURGOS; GRIGOLETTI; PAIXÃO, 2015, p. 68).

Segundo Kowaltowski (2011, p. 112), “são essenciais as pesquisas das condições do conforto ambiental e a possibilidade de introduzir melhorias, para propiciar um ambiente adequado ao ensino.” O conforto ambiental, portanto, é capaz de influenciar na saúde e no desempenho daqueles que usufruem do espaço escolar.

3. METODOLOGIA

A metodologia adotada para o estudo consiste em duas fases distintas. Na primeira, foram realizadas leituras e pesquisas para a compreensão da problemática e entendimento do contexto em que está localizado a Escola Estadual Fazenda Jutá VI, localizada em Sapopemba, em São Paulo. Na segunda fase, por sua vez, foi feita a coleta de dados e informações para preparação dos arquivos a serem simulados para diagnóstico da ventilação natural existente, com a modelagem simplificada da escola dentro do software Design Builder e, posteriormente, a simulação computacional em nove cenários diferentes variando a taxa de ocupação e a vazão eficaz de ar exterior, baseando-se nos métodos adotados por Franceschini *et al.* (2021) e adotando os parâmetros estabelecidos pela ABNT NBR 16401-2008 (Tabela 1).

Tabela 1. Cenários propostos para o estudo, com variações da taxa de ocupação e a vazão eficaz de ar exterior (Vef)

Variáveis	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5	Cenário 6	Cenário 7	Cenário 8	Cenário 9
Fp (L/s.pessoa)*	5 (nível 1)			6,3 (nível 2)			7,5 (nível 3)		
Taxa de ocupação (%)**	35	70	100	35	70	100	35	70	100
Pz (pessoas)	11,2	22,4	32	11,2	22,4	32	11,2	22,4	32
Pz (pessoas) arredondado	11	22	32	11	22	32	11	22	32
Fa (L/s.m2)*	0,6 (nível 1)			0,8 (nível 2)			0,9 (nível 3)		
Az (m2)	49,7025	49,7025	49,7025	49,7025	49,7025	49,7025	49,7025	49,7025	49,7025
Vef (L/s)	84,8215	139,8215	189,8215	109,062	178,362	241,362	127,23225	209,73225	284,73225

Fonte: Elaborado pelas autoras, (2022).

Os cenários propostos foram feitos a partir de variações da taxa de ocupação em 35%, 70% e 100% e seguem os níveis de ventilação recomendados para salas de aula, segundo a ABNT NBR 16401-2008, que prevê as taxas de renovação de ar adequadas para ambientes fechados (FRANCESCHINI *et al.*, 2021).

Desta forma, considerando os dados apresentados na Tabela 1, foram estabelecidos 9 cenários, conforme descrito a seguir:

- a) Cenário 1 - 35% ocupação + Nível 1 – [5L/s p/ pessoa];
- b) Cenário 2 - 70% ocupação + Nível 1 – [5L/s p/ pessoa];
- c) Cenário 3 - 100% ocupação + Nível 1 – [5L/s p/ pessoa];
- d) Cenário 4 - 35% ocupação + Nível 2 – [6,3L/s p/ pessoa];
- e) Cenário 5 - 70% ocupação + Nível 2 – [6,3L/s p/ pessoa];
- f) Cenário 6 - 100% ocupação + Nível 2 – [6,3L/s p/ pessoa];
- g) Cenário 7 - 35% ocupação + Nível 3 – [7,5L/s p/ pessoa];
- h) Cenário 8 - 70% ocupação + Nível 3 – [7,5L/s p/ pessoa];
- i) Cenário 9 - 100% ocupação + Nível 3 – [7,5L/s p/ pessoa].

Segundo a NBR 16401 (ABNT, 2008), a vazão eficaz de ar exterior (V_{ef}) é calculada a partir da soma da vazão que está relacionada às pessoas e a vazão que está relacionada à área ocupada, sendo $V_{ef} = P_z * F_p + A_z * F_a$, onde F_p é a vazão por pessoa, expressa em litros por segundo (L/s*pessoa); F_a é a vazão por área útil ocupada (L/s*m²); P_z é o número máximo de pessoas na zona de ventilação; e A_z é a área útil ocupada pelas pessoas, expressa em metros quadrados (m²). A norma também estabelece três níveis de vazão eficaz para a ventilação, sendo eles: nível mínimo (1), nível intermediário (2) e nível superior (3).

A partir da modelagem da Escola Estadual Fazenda Jataí VI no software Design Builder, respeitando as localizações e dimensões das suas aberturas, as simulações foram realizadas de acordo com os cenários propostos e, dessa forma, foi possível obter níveis de concentração de CO₂ que indicam se a sala de aula é capaz de oferecer níveis adequados de qualidade de ar interno (QAI), pois quanto maior a concentração, menor a qualidade desse ar e uma maior chance de disseminação de doenças em ambientes fechados, incluindo a COVID-19.

Os dados acerca do clima do local foram obtidos por meio do arquivo climático da cidade de São Paulo¹. O horário de funcionamento do edifício foi configurado para representar

¹ Disponível em <https://labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos>.

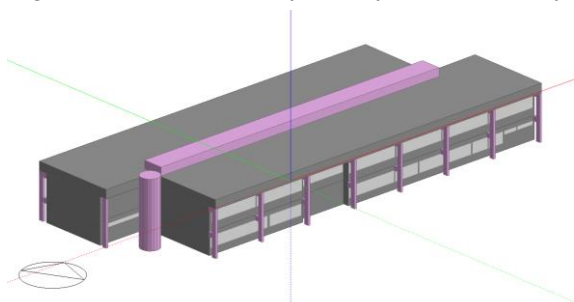
o horário em que acontecem as aulas, isto é, matutino das 7h às 12h35 e vespertino das 13h às 18h35. Este dado é importante pois determina o período em que o edifício se encontra ocupado. O período analisado neste trabalho compreende um dia típico, abrangendo 24 horas.

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

A Escola Estadual Fazenda Juta VI é uma escola pública, mantida pelo Estado de São Paulo e que segue os padrões de construção estabelecidos pela FDE (2006). Sua arquitetura consiste em um prédio basicamente retangular, feito com pilares e vigas de concreto pré-fabricados, lajes alveolares, alvenaria em concreto, vidro comum incolor nas aberturas e telha metálica em sua cobertura. O seu programa apresenta um térreo sendo composto por um programa onde as crianças e adolescentes interagem, contendo áreas de pátio descoberto e coberto, refeitório, cozinha, despensa, sanitários, espaço para professores e salas administrativas. No pavimento superior, por sua vez, se encontram salas de aula e um laboratório de informática (FDE, 2006).

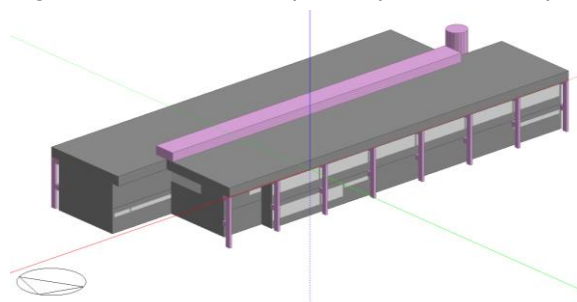
Para início das simulações realizadas, os dados acerca das características construtivas do estudo de caso foram inseridos no software Design Builder v7, assim como foi feita a modelagem da escola, respeitando a sua arquitetura e seu contexto (Figuras 2 e 3).

Figura 2. Geometria do prédio (Face Noroeste).



Fonte: Elaborado pelas autoras, (2022).

Figura 3. Geometria do prédio (Face Sudeste).



Fonte: Elaborado pelas autoras, (2022).

As salas de aula, por sua vez, apresentam oito janelas com folhas basculantes de 705 cm x 210 cm e peitoril 90 cm nas fachadas que se encontram voltadas para o exterior, enquanto possuem outras seis janelas menores na parede oposta à essa com 5 folhas basculantes localizadas próximo ao teto, a fim de que se possa ocorrer a ventilação cruzada. Esses ambientes ficam localizados em áreas do projeto voltadas às orientações Sudeste e Noroeste, em uma região onde não há edificações no entorno capazes de influenciar no sombreamento ou na direção dos ventos.

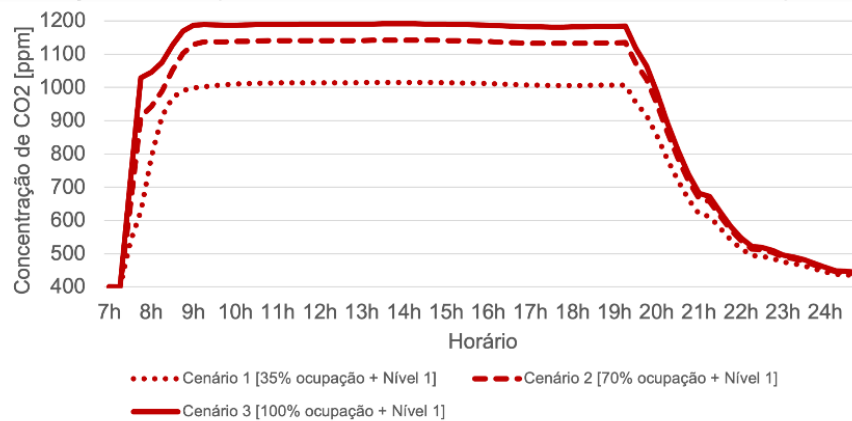
Os resultados obtidos com base nos cenários propostos (Tabela 1), evidenciam a relação entre a concentração de CO₂, expressa em ppm (partes por milhão), e os horários de

um dia letivo comum. É possível enxergar de que forma a ocupação e a vazão interferem na qualidade do ar interno e, conseqüentemente, no risco da disseminação da COVID-19 e outras doenças.

Para a avaliação dos cenários estudados, utilizou-se o critério da concentração de CO₂, cujo valor recomenda-se que estejam abaixo de 1000 ppm por profissionais da saúde (ANVISA, 2003 *apud* FRANCESCHINI *et al.*, 2021).

Na figura 4, é analisada a influência no número de pessoas ocupando o mesmo espaço de acordo com os cenários 1, 2 e 3 propostos em nível 1 de vazão eficaz de ar exterior (5 L/s.pessoa).

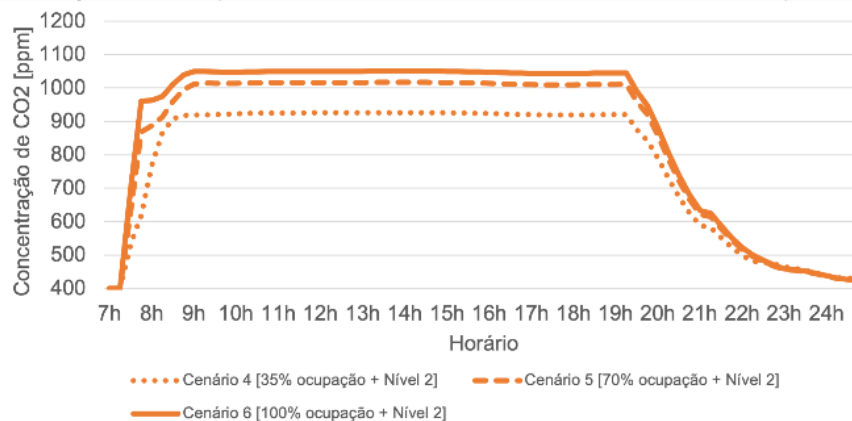
Figura 4. Concentração de CO₂ para cenários 1, 2, 3, com vazão eficaz Nível 1 (5 L/s.pessoa).



Fonte: Elaborado pelas autoras, (2022).

O gráfico exposto (Figura 4) também mostra uma relação diretamente proporcional entre as variáveis ocupação e concentração de CO₂, isto é, quanto maior a ocupação, maior é o nível de concentração de CO₂. Observa-se que este valor é maior durante o período matutino e vespertino, que é o horário em que as pessoas normalmente ocupam o prédio.

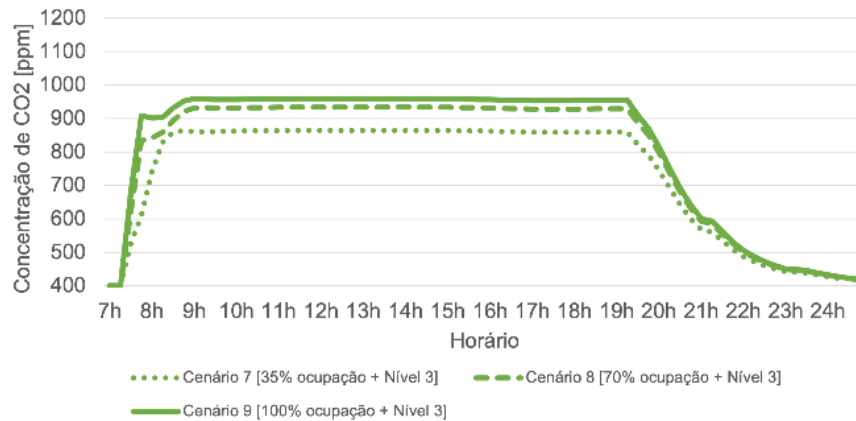
Figura 5. Concentração de CO₂ para cenários 4, 5, 6, com vazão eficaz Nível 2 (6,3 L/s.pessoa).



Fonte: Elaborado pelas autoras, (2022).

Dessa forma, as figuras 5 e 6 apresentam gráficos que ilustram uma diminuição da concentração de CO₂ de acordo com o aumento do nível de vazão. O gráfico que mostra os valores em nível 2 (Figura 5), apresenta os cenários 4, 5 e 6 propostos, enquanto aquele com os valores em nível de 3 (Figura 6) apresenta os cenários 7, 8 e 9.

Figura 6. Concentração de CO₂ para cenários 4, 5, 6, com vazão eficaz Nível 3 (7,5 L/s.pessoa).

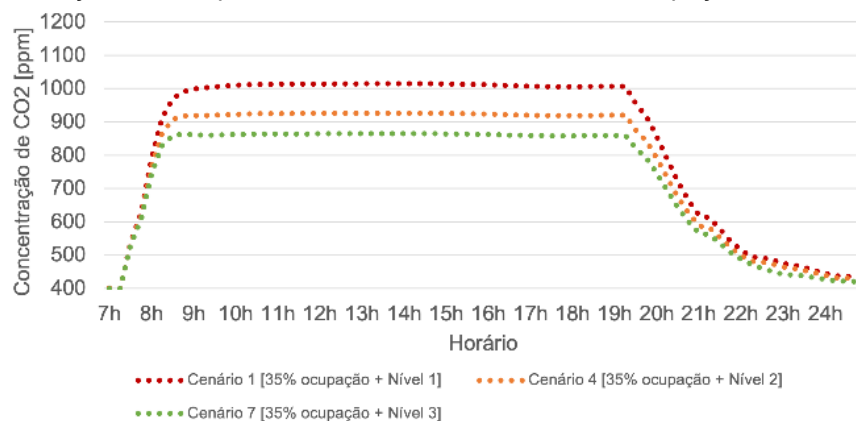


Fonte: Elaborado pelas autoras, (2022).

De acordo com os valores evidenciados nas figuras 5 e 6, é correto afirmar que o nível de concentração de CO₂ sofre uma diminuição considerável a partir do aumento da vazão em L/s por pessoa, atingindo valores adequados (abaixo de 1000 ppm) no cenário 4, com 35% de ocupação no nível 2, e nos cenários 7, 8 e 9 no nível 3, com 35%, 70% e 100% de ocupação respectivamente. Isso mostra que com o aumento no nível de vazão de ar (L/s.pessoa) em conjunto com a diminuição da taxa de ocupação, é possível diminuir a concentração de CO₂, gerando ambientes saudáveis para que crianças e adultos possam realizar suas atividades.

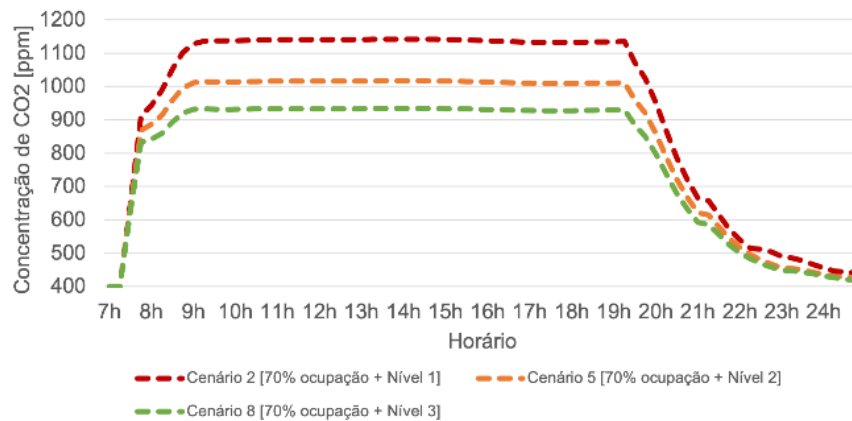
Estudos que utilizam a variável de vazão eficaz de ventilação como fator de comparação também foram realizados com os nove cenários propostos, a fim de se obter informações necessárias acerca de sua influência na concentração de CO₂. Os três gráficos que apresentam os resultados dessas simulações estão ilustrados nas figuras 7, 8 e 9.

Figura 7. Concentração de CO₂ para cenários 1, 4, 7, com taxa de ocupação limitada a 35%.



Fonte: Elaborado pelas autoras, (2022).

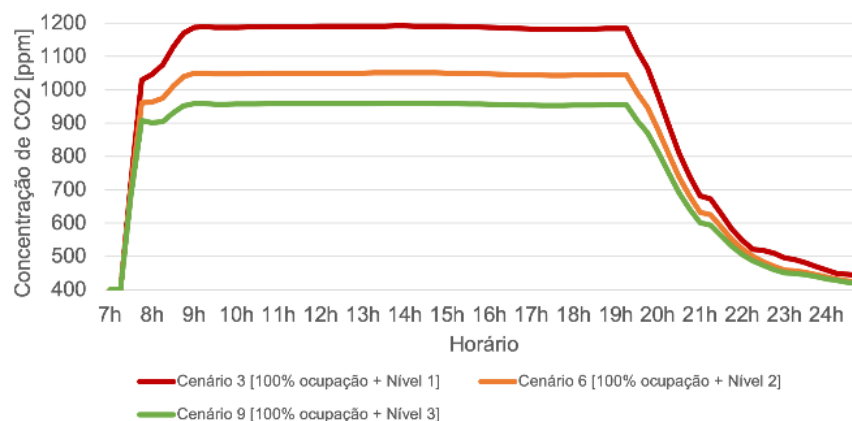
Figura 8. Concentração de CO₂ para cenários 2, 5, 8, com taxa de ocupação limitada a 70%.



Fonte: Elaborado pelas autoras, (2022).

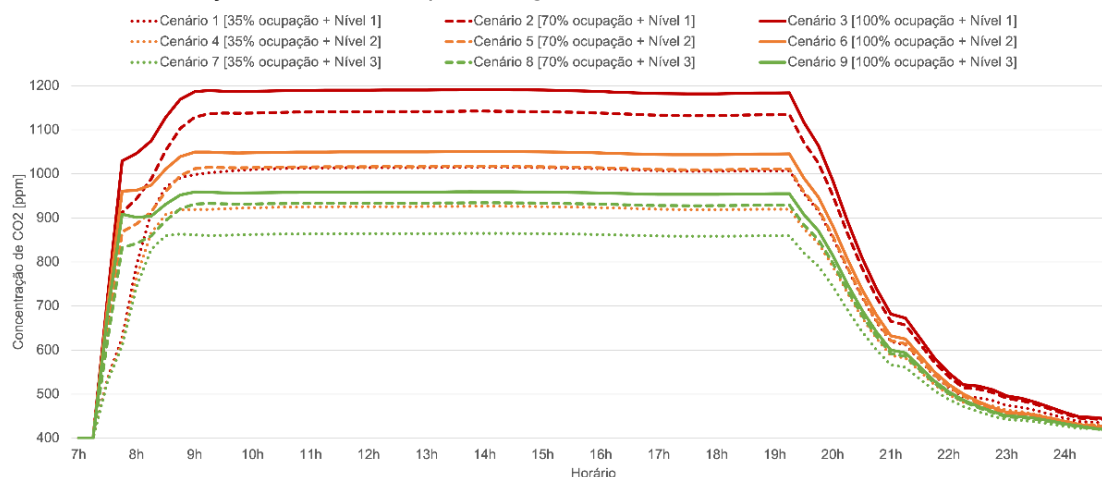
A partir da análise dos dados apresentados, é possível inferir que quanto maior o nível de vazão de ar (L/s.pessoa), maior é a qualidade do ar nas salas de aula estudadas. Nota-se que, mesmo com taxas de ocupação em 70% e 100%, aumentar o nível de vazão é suficiente para obtenção de concentrações de CO₂ adequadas, como mostra as figuras 8 e 9 que, com cenários em nível superior (3), puderam atingir valores satisfatórios.

Figura 9. Concentração de CO₂ para cenários 3, 6, 9, com taxa de ocupação de 100%.



Fonte: Elaborado pelas autoras, (2022).

Na figura 10, por sua vez, é apresentado um comparativo geral entre todos os nove cenários simulados dentro do software Design Builder, com legendas distintas indicando qual o nível de vazão de ar utilizado para obtenção dos valores.

Figura 10. Concentração de CO₂ – comparativo geral entre os nove cenários estudados.

Fonte: Elaborado pelas autoras, (2022).

Por meio da análise do gráfico (Figura 10), o cenário que possui a menor concentração de CO₂ e, conseqüentemente, uma maior qualidade de ar interno, é o 7, onde há uma taxa de ocupação de apenas 35% e vazão eficaz de ar com nível superior (3). O cenário com o pior desempenho nas simulações foi o de número 3, com 100% da ocupação e com nível mínimo (1). Também é possível observar que todos os cenários com nível 3 atingiram valores adequados de concentração de CO₂, enquanto apenas um cenário (4) com nível 2 e nenhum cenário com nível 1 foram capazes de atingir valores abaixo de 1000 ppm, que é o valor máximo recomendado pela ANVISA (2003 apud FRANCESCHINI *et al.*, 2021).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o aumento do número de casos de COVID-19, as escolas de todo o mundo foram obrigadas a fecharem suas portas para os seus alunos e funcionários, adotando modalidades de ensino à distância para a continuidade dos estudos. Tal situação perdurou por muitos meses durante os anos de 2020 e 2021, fazendo com que muitas crianças e adolescentes pudessem sofrer impactos significativos de perda educacional, saúde e bem-estar (OMS, 2020a). Com a diminuição da disseminação da doença por meio do uso de vacinas como método de prevenção à doença, as escolas puderam ser abertas novamente seguindo protocolos sanitários, como o distanciamento social, higiene pessoal, limpeza dos ambientes escolares, redução da capacidade das salas de aula e melhoria da ventilação natural por meio de janelas e portas abertas.

No entanto, considerando as diferenças e limitações socioeconômicas e regionais em que se encontram as escolas públicas do estado de São Paulo, o estudo procurou investigar se as salas de aula de uma escola que segue o padrão construtivo FDE possui características que possibilitam níveis adequados de qualidade de ar interno. Para isso, foram feitos

levantamentos e simulações computacionais utilizando o software Design Builder para a medição da concentração de CO₂, em ppm, em nove cenários distintos que utilizaram a variável de taxa de ocupação em 35%, 70% e 100% e a variável de nível de vazão de ar mínimo (1), intermediário (2) e superior (3).

O resultado que atingiu a menor concentração de CO₂ dentre os cenários simulados foi o qual adotou uma taxa de ocupação de 35% da capacidade total da sala de aula em conjunto com um nível 3 de vazão eficaz de ar. O pior, por outro lado, foi o que possuía 100% da taxa de ocupação e nível 1 de vazão eficaz do ar.

O estudo também mostra que, embora a diminuição da taxa de ocupação em 70% e 35% possam contribuir significativamente para a melhoria da qualidade do ar interno, necessita-se da adoção de medidas que possam também contribuir para o aumento no nível de vazão eficaz do ar para que possa atingir uma concentração de CO₂ abaixo de 1000 ppm, que é o valor máximo recomendado pela ANVISA (2003 *apud* FRANCESCHINI *et al.*, 2021).

O estudo afirma que, para que o risco de disseminação da COVID-19 e outras doenças diminua em ambiente escolar e que crianças, adolescentes e adultos possam usufruir de espaços educacionais seguros, é preciso adotar medidas mais eficazes de ventilação. Tal medida é necessária não somente durante o período de pandemia da COVID-19, mas também como prevenção para outras doenças existentes e que ainda poderão surgir.

Espera-se que os resultados deste trabalho possam contribuir para com o desenvolvimento de projetos de arquitetura escolares saudáveis e alinhadas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU (2015).

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Análise em Saúde e Doenças não Transmissíveis. **Guia de vigilância epidemiológica – Emergência de saúde pública de Importância nacional pela doença pelo coronavírus 2019 – COVID-19**. Brasília: Ministério da Saúde, 2021.

BURGOS, Eduardo Goettert; GRIGOLETTI, Giane de Campos; PAIXÃO, Dinara Xavier da. Otimização do conforto ambiental no espaço escolar: uma visão sustentável. **Revista do Departamento de Educação Física e Saúde e do Mestrado em Promoção da Saúde da Universidade de Santa Cruz do Sul**, Rio Grande do Sul, v. 16, n. 1, p. 66-70, jan-mar, 2015.

CARVALHO, Antônio Pedro Alves de. O edifício doente e o edifício saudável. **Revista SUSTINERE**, Rio de Janeiro, v. 5, n. 1, p. 135-152, jan-jun, 2017.

CRIVELARO, Marcos; PINHEIRO, Antônio Carlos da F. B. **Conforto Ambiental: Iluminação, Cores, Ergonomia, Paisagismo e Critérios para Projetos**. 1. ed. São Paulo: Saraiva, 2016.

FIOCRUZ. Instituto Nacional de Saúde da Mulher, da Criança e do Adolescente Fernandes Figueira. **COVID-19 e Saúde da Criança e do Adolescente**. Ago., 2020. Disponível em: <<https://portaldeboaspraticas.iff.fiocruz.br/atencao-crianca/covid-19-saude-crianca-e-adolescente>>. Acesso em: 08 abr. 2021.

FRANCESCHINI, Paula Brumer; LIGUORI, Iara Nogueira; NEVES, Letícia de Oliveira. Avaliação da qualidade do ar interior durante a pandemia de COVID-19 em salas de aula naturalmente ventiladas. In: XVI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 16., 2021, Tocantins. **Anais [...]**. Palmas: Antac, p. 658-667, 2021.

FUNDAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO. FERREIRA, Avany de Francisco; MELLO, Mirela Geiger (organizadoras). **Arquitetura escolar paulista: estruturas pré-fabricadas**. São Paulo: FDE, 2006.

FUNDAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO. **Normas de apresentação de projetos de edificações: arquitetura**. São Paulo: FDE, 2011. Disponível em: <<http://www.fde.sp.gov.br>>. Acesso em 08 abr. 2021.

INSTITUTO DE ARQUITETOS DO BRASIL – DEPARTAMENTO DE SÃO PAULO. **Manual Técnico para Escolas Saudáveis**. São Paulo: IAB, 2020.

KOWALTOWSKI, Doris C. C. K. **Arquitetura escolar: o projeto do ambiente de ensino**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA. **Eficiência Energética na Arquitetura**. Rio de Janeiro: ELETROBRAS/PROCEL, 2014.

MUELLER, Cecília Mattos. **Espaços de ensino-aprendizagem com qualidade ambiental: o processo metodológico para elaboração de um anteprojeto**. 258 p. Dissertação – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**, 2015. Página inicial. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>>. Acesso em: 17 ago. 2022.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Considerations for school-related public health measures in the context of COVID-19**. 2020. Genebra, World Health Organization, 2020a.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Transmission of SARS-CoV-2: implications for infection prevention precautions**. 2020. Genebra, World Health Organization, 2020b.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard**, 2022. Página inicial. Disponível em: < <https://covid19.who.int/>>. Acesso em: 17 ago. 2022.

SCHMID, Aloísio Leoni. **A idéia de conforto: reflexões sobre o ambiente construído**. 1. ed. Curitiba: Pacto Ambiental, 2005.

THE AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS. **Reopening America: Strategies for safer schools**. Jun., 2020. Disponível em: <<https://www.aia.org/resources/6304062-reopening-america-strategies-for-safer-sch>>. Acesso em 08 abr. 2021.

Contatos: thalita_dsa@hotmail.com (aluno) e carolina.maciел@mackenzie.br (orientador).