

Análise do conforto térmico e da qualidade da ventilação interna em salas de aula naturalmente ventiladas da Zona Bioclimática 2

Analysis of thermal comfort and quality of indoor ventilation in naturally ventilated classrooms in Bioclimatic Zone 2

Paula Scherer, Mestra em Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo

paula_scherer@hotmail.com

Giane de Campos Grigoletti, Doutora em Engenharia Civil

giane.c.grigoletti@ufsm.br

Resumo

A presente pesquisa tem por objetivo identificar o conforto térmico promovido por estratégias convencionais de ventilação natural em salas de aula da Zona Bioclimática 2. Também visa a verificar quais estratégias viabilizam taxas de ventilação adequadas, tendo em vista o contexto de disseminação da doença do COVID-19. Foram realizadas simulações no *software EnergyPlus*, versão 8.9.0, para a obtenção das temperaturas operativas na sala de aula, que foi configurada com 8 condições distintas de ventilação natural. Também foi aplicada a equação proposta na EN 16798-1 para estimar a taxa de ventilação no modelo. Os resultados mostraram que as estratégias de ventilação cruzada são mais satisfatórias para a sala de aula analisada, pois viabilizaram taxas de ventilação adequadas às recomendações da OPAS. Porém, quando houve uso de ventilação cruzada e higiênica, foi identificado considerável desconforto térmico, em virtude da redução da temperatura operativa no ambiente.

Palavras-chave: Ventilação Natural; Conforto Térmico; Qualidade da ventilação; Salas de Aula.

Abstract

This research aims to identify the thermal comfort promoted by conventional natural ventilation strategies in classrooms in Bioclimatic Zone 2. It also aims to verify which strategies enable adequate ventilation rates, considering the context of COVID-19 disease dissemination. Simulations were carried out in the EnergyPlus software, version 8.9.0, to obtain the operating temperatures in the classroom, which was configured with 8 different conditions of natural ventilation. The equation proposed in EN 16798-1 was also applied to estimate the ventilation rate in the model. The results showed that cross ventilation strategies are more satisfactory for the analyzed classroom, as they enabled ventilation rates that were adequate to the PAHO recommendations. However, when cross ventilation and hygienic ventilation were used, considerable thermal discomfort was identified, due to the reduction of the operating temperature in the environment.

Keywords: Natural Ventilation; Thermal Comfort; Ventilation Quality; Classrooms.

1. Introdução

Quando o ambiente térmico é confortável, ele permite às pessoas a sensação de bem-estar. Se o espaço não viabiliza conforto térmico adequado é identificada, inclusive, a diminuição no desempenho das tarefas dos usuários. O clima ambiental, dessa forma, pode determinar o nível de satisfação dos ocupantes em espaços fechados de longa permanência, como salas de aula (ZHANG *et al.*, 2007; KROEMER; GRANDJEAN, 2005).

A bioclimatologia propõe usar os conhecimentos das características climáticas da região para estabelecer estratégias passivas de projeto arquitetônico. Assim, busca-se viabilizar ambientes que satisfaçam as necessidades térmicas dos usuários (OLGYAY, 1968). A ventilação natural é a segunda estratégia bioclimática mais recomendada para edifícios no Brasil, seguida, apenas, do sombreamento. Para a Zona Bioclimática 2 (ZB2), a ventilação cruzada é a estratégia indicada para o período de verão, sendo sugeridas aberturas médias (ABNT, 2005; LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Pesquisas que analisam a aplicabilidade de estratégias de ventilação natural em salas de aula foram realizadas por vários pesquisadores na última década (GONÇALVES; VANDERLEI, SOARES, 2012, VIANA; AMORIM, 2013; MACIEL, 2016; RODRIGUES, 2017; OLIVEIRA; CUNHA; LEITZKE, 2020), o que evidencia a importância do tema para a comunidade científica.

Ademais, em virtude do contexto da pandemia de COVID-19, foi dado maior enfoque à necessidade de ventilação natural em espaços fechados. Conforme Brasil (2020), dentre as recomendações de biossegurança para o retorno presencial das aulas no contexto pandêmico, está a priorização da ventilação adequada por meio de janelas abertas. Além disso, a Organização Pan-Americana de Saúde (OPAS, 2021), frente ao risco da população contrair COVID-19 em ambientes com aglomerações e com ventilação inadequada, desenvolveu um roteiro com recomendações para melhorar a ventilação em ambientes fechados. O documento é destinado a gestores de instituições de saúde, gestores de edificações e público em geral. Esse roteiro apresenta advertências sobre ambientes de assistência à saúde, ambientes não residenciais e ambientes residenciais, considerando locais em que há ventilação natural ou ventilação mecânica.

Visto que a ventilação natural tem como função a renovação do ar, podendo ainda promover o conforto ambiental em edificações (AMORIM; SILVA; ALMEIDA, 2014; LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014), o presente trabalho objetiva identificar o conforto térmico promovido por estratégias convencionais de ventilação natural aplicáveis em salas de aula da ZB2. Também busca identificar a viabilização de taxas de ventilação adequadas frente ao contexto de disseminação de COVID-19.

2. Procedimentos metodológicos

A metodologia possui uma abordagem quantitativa baseada em simulações computacionais e estrutura-se em três etapas, conforme a descrição a seguir.

As simulações foram realizadas com o arquivo climático para Santa Maria (RS) que possui dados registrados pelo INMET. O arquivo é disponibilizado pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LABEEE, 2018). Santa Maria (RS) é um município que faz parte da ZB2 (ABNT, 2005) e possui clima subtropical úmido, sendo a umidade relativa do ar mais

alta nos meses de outono e inverno. O vento Sudestado, que é úmido e frio, predomina no município (HELDWEIN; BURIOL; STRECK, 2009). A temperatura média anual de Santa Maria (RS) é de 18,8°C (INMET, 2009).

2.1. Critérios de avaliação

Acerca dos critérios de avaliação, foi adotado, primeiramente, o PHOCT (Percentual de Horas Ocupadas em Conforto Térmico), conforme a metodologia da INI-C (Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas). De acordo com BRASIL (2021) o PHOCT é a razão entre as horas ocupadas que viabilizam conforto térmico e o total de horas ocupadas no edifício. Para definir o PHOCT, foi utilizado o Modelo Adaptativo de Conforto Térmico da ASHRAE 55/2017. Esse modelo relaciona as faixas de temperatura aceitáveis a parâmetros meteorológicos ou climatológicos externos. O uso do Modelo Adaptativo é realizado em espaços com janelas operáveis e que sejam ventilados naturalmente. Nesse âmbito, foram utilizados limites de aceitabilidade de 80%, que se destinam a aplicações típicas, segundo a ASHRAE (2017).

Também foram avaliadas as taxas de ventilação no ambiente. Frente à necessidade de viabilização de qualidade do ar, principalmente em razão da COVID-19 e possíveis futuros eventos pandêmicos ou endêmicos (TELENTI *et al.*, 2021), foi utilizado como critério a recomendação da OPAS (2021) para ambientes fechados não residenciais. Tratando-se de ambientes naturalmente condicionados, a taxa mínima recomendada é de 10 litros/segundo/pessoa, segundo o *Comité Européen de Normalisation* (CEN, 2019). A estimativa, conforme indica a OPAS (2021), é feita a partir da Equação 1:

$$\text{Taxa de ventilação} = k \times \text{Velocidade do vento} \times \text{Menor área de abertura} \times 1000 \quad (1)$$

Sendo:

$k = 0,05$ na ventilação unilateral e $0,65$ na ventilação cruzada; *Velocidade do vento* = velocidade na altura do edifício em um local sem obstruções.

2.2. Determinação do objeto de simulação

O objeto de simulação é uma sala de aula escolar genérica, inserida no município de Santa Maria (RS), que é situado na ZB2, conforme a NBR 15220-3 (ABNT, 2005). A modelagem da sala de aula foi realizada no programa *SketchUp Make*, com auxílio do *plugin* *Euclid 0.9.0*.

A sala de aula foi modelada conforme as diretrizes do Manual de Orientações Técnicas do Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE, 2017), sendo respeitada a área para iluminação natural mínima (1/5 da área do piso), a área mínima de ocupação (1,30 m² por aluno) e a área mínima de ventilação no modelo (1/10 da área do piso). O sistema construtivo do modelo atende às recomendações do FNDE (2017) e é constituído de laje em concreto, piso cerâmico, parede com blocos cerâmicos de 6 furos, laje pré-moldada de concreto (teto) e cobertura com telha cerâmica. A janela é feita de vidro claro comum e a porta de compensado em madeira (ABNT, 2005b, 2005c; WEBER *et al.*, 2017). As propriedades térmicas dos materiais são identificadas nas Tabelas 1 e 2, sendo apresentadas: espessura (e), condutividade térmica (λ), peso específico aparente (ρ), calor específico (c), emitância térmica (ϵ), absorvância solar (α), transmissividade (σ) e refletividade (ρ).

Tabela 1: Propriedades dos materiais opacos utilizados.

Material	e cm	λ W/m°C	ρ kg/m³	c kJ/kgK	ϵ [W/mK]	α
Cerâmica (piso)	0,750	1,05	2.000	0,920	0,90	0,20
Argamassa	2,00	1,15	2.000	1,00	0,90	0,70
Concreto	9,85	1,75	2.200	1,00	0,90	0,80
Argamassa (2x)	2,50	1,15	2.000	1,00	0,90	0,20
Cerâmica (2x)	1,34	0,900	1.600	0,920	0,90	0,70
Câmara de ar	6,32	0,361	-	-	-	-
Cerâmica (bloco)	1,00	1,05	2.000	0,920	0,90	0,20
Câmara de ar	25,00	1,190	-	-	-	-
Concreto	4,00	1,75	2.200	1,00	0,90	0,20
EPS+Concreto	7,00	0,223	2.000	1,00	0,90	0,20
Argamassa	1,00	1,15	2.000	1,00	0,90	0,20
Compensado	3,50	0,15	550	2,30	0,90	0,70

Fonte: Weber *et al.* (2017), ABNT (2005b, 2005c).

Tabela 2: Propriedades do material translúcido utilizado

Material	e cm	σ	ρ	α
Vidro comum	0,30	0,85	0,08	0,07

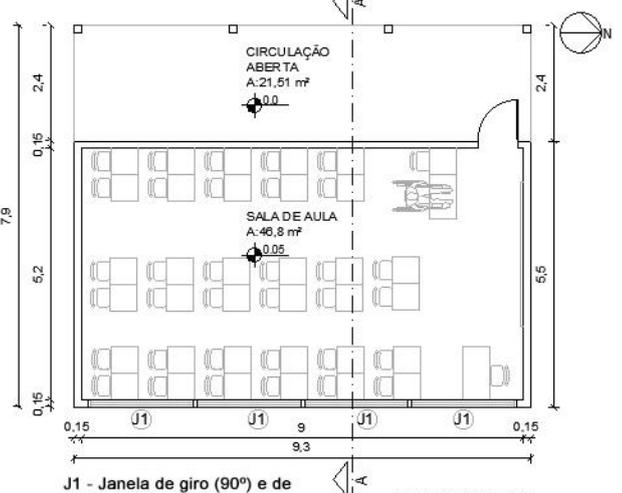
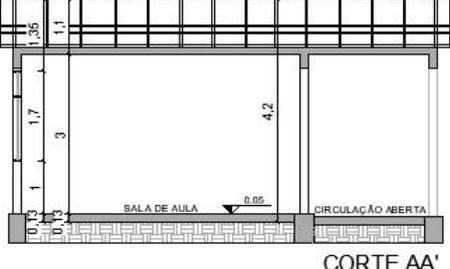
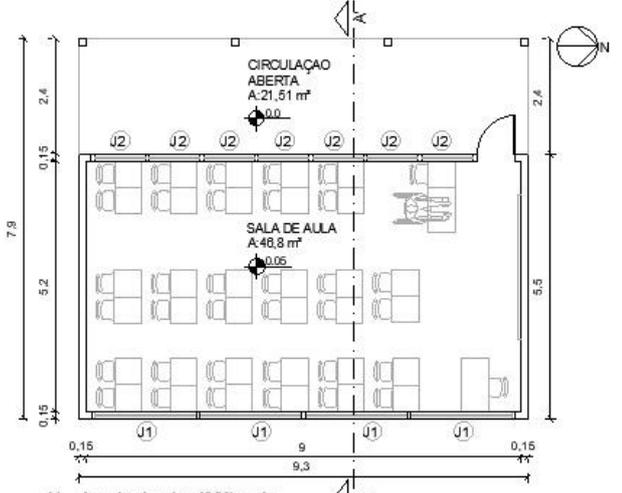
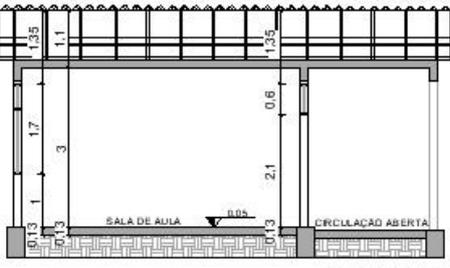
Fonte: Rivero (1986).

Foram estabelecidas, na configuração base de sala de aula, ocupação máxima de 36 alunos, disponibilidade de ventilação natural unilateral térmica, com área de abertura de 10,98 m² para ventilação natural. A área da sala admitiu o critério de 1,30 m² por aluno, sendo o pé-direito de 3,00 m. As janelas são do tipo de giro (90°) na parte inferior e de tombar (90°) na parte superior, com peitoril de 1,00 m, largura total de 2,10 m e altura de 1,70 m, sendo orientadas para leste para o aproveitamento dos ventos predominantes (PROJETEEE, 2016). Tanto no sistema de tombar (90°) como no de giro (90°), a percentagem de abertura para ventilação e iluminação naturais são de 90%, conforme dispõe o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE EDIFICA, 2017). Além da estratégia de ventilação unilateral, também foi testada a ventilação cruzada, havendo a adição de janelas pivotantes horizontais com largura de 1,05 m, altura de 0,60 m e peitoril de 2,10. Nessas janelas, as percentagens de abertura para ventilação e iluminação naturais são de 90%, conforme PBE Edifica (2017). Ao total, foram simuladas 8 configurações de ventilação natural, conforme o Quadro 1.

As aulas ocorrem nos turnos da manhã e da tarde, sendo o horário de ocupação no ambiente das 07h30min às 11h30min no turno da manhã e das 13h15min às 17h15min no turno da tarde, tendo em vista cumprir uma carga horária mínima de 800h para cada turma, exigida por lei para o ensino fundamental (BRASIL, 1996). Foram considerados os dias de segunda a sexta-feira e excluídos os feriados.

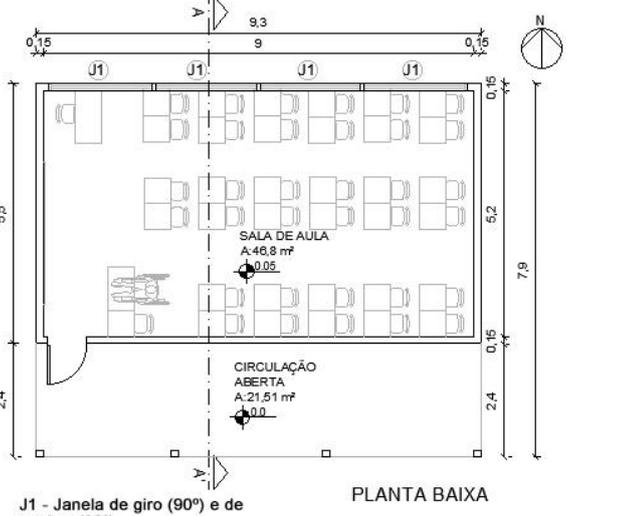
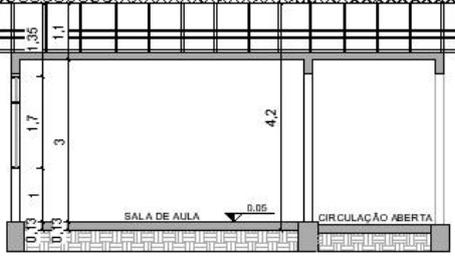
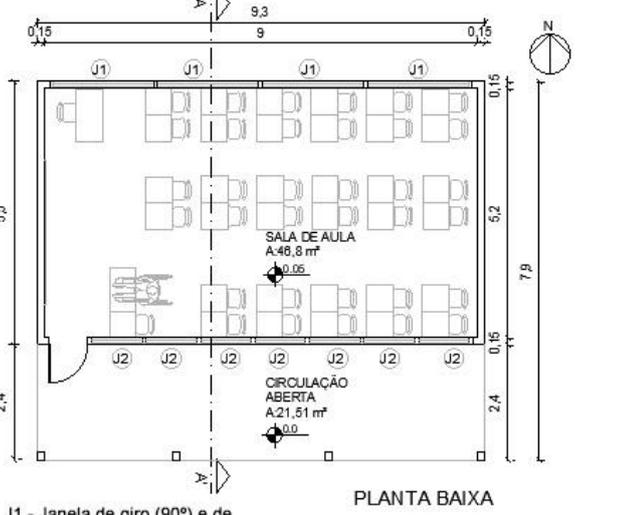
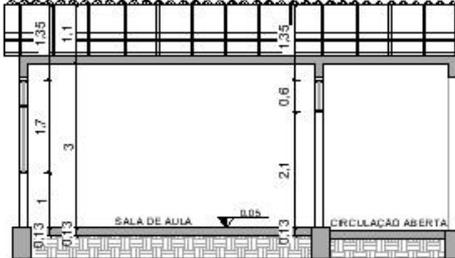
Quadro 1: Casos de ventilação natural simulados

(Continua)

Nº	Descrição da configuração de ventilação no objeto de simulação	
1	Ventilação unilateral leste e térmica. Abertura para ventilação: 10,98 m ² .	
2	Ventilação unilateral leste. Ventilação térmica nos sistemas inferiores das janelas e higiênica nos sistemas superiores. Área de abertura para ventilação térmica: 7,20 m ² , e para higiênica: 3,78 m ² .	
Planta-baixa e corte	 <p>PLANTA BAIXA</p> <p>J1 - Janela de giro (90°) e de tombar (90°)</p>	 <p>CORTE AA'</p>
	3	Ventilação cruzada leste-oeste e térmica. Área de abertura para ventilação: 14,51 m ² .
4	Ventilação cruzada leste-oeste. Ventilação térmica nas janelas de orientação oeste e higiênica nas de orientação leste. Área de abertura para ventilação térmica: 1,66 m ² , e para higiênica: 12,85 m ² .	
Planta-baixa e corte	 <p>PLANTA BAIXA</p> <p>J1 - Janela de giro (90°) e de tombar (90°) J2 - Janela pivotante horizontal</p>	 <p>CORTE AA'</p>

Quadro 1: Casos de ventilação natural simulados

(Conclusão)

Nº	Descrição da configuração de ventilação no objeto de simulação	
5	Ventilação unilateral norte e térmica. Abertura para ventilação: 10,98 m ² .	
6	Ventilação unilateral norte. Ventilação térmica nos sistemas inferiores das janelas e higiênica nos sistemas superiores. Área de abertura para ventilação térmica: 7,20 m ² , e para higiênica: 3,78 m ² .	
Planta-baixa e corte	 <p style="text-align: center;">PLANTA BAIXA</p> <p>J1 - Janela de giro (90°) e de tomar (90°)</p>	 <p style="text-align: right;">CORTE AA'</p>
	7	Ventilação cruzada norte-sul e térmica. Área de abertura para ventilação: 14,51 m ² .
8	Ventilação cruzada norte-sul. Ventilação térmica nas janelas de orientação sul e higiênica nas de orientação norte. Área de abertura para ventilação térmica: 1,66 m ² , e para higiênica: 12,85 m ² .	
Planta-baixa e corte	 <p style="text-align: center;">PLANTA BAIXA</p> <p>J1 - Janela de giro (90°) e de tomar (90°) J2 - Janela pivotante horizontal</p>	 <p style="text-align: right;">CORTE AA'</p>

Fonte: Autoras.

2.3. Definição dos parâmetros de simulação e de tratamento de dados

Para a simulação com o *software EnergyPlus*, na versão 8.9.0, como dados de entrada, foram inseridas a geometria do modelo e as propriedades dos materiais, nas opções *Material*, *Material:AirGap*, *WindowMaterial:Glazing*, e no objeto *Construction*. Quanto às cargas internas, além da ocupação de 37 pessoas (36 discentes e 1 docente), também foram inseridas as cargas de iluminação, tendo em vista a utilização de iluminação artificial. Para a iluminação, foi adotado o valor de 9,9 Watts/m², indicado para a obtenção de classificação A de eficiência energética, conforme Brasil (2021).

A simulação da ventilação natural foi realizada através do modelo *AirflowNetwork*. Esse modelo permite a simulação do desempenho de um sistema de distribuição de ar e o cálculo de fluxos de ar de várias zonas, sendo os fluxos impulsionados pelo vento externo (WALTON, 1989). Para definir o fator de abertura das esquadrias, considerando a ventilação natural, foi configurado o objeto *AirflowNetwork:Multizone:Surface*. Sabendo-se que as janelas possuem aberturas de tombar (90°) e de giro (90°), foi adotado o valor 0,9 no campo *Window/Door Opening Factor, or Crack Factor*, que equivale a 90%, conforme PBE Edifica (2017). A porta, que possui abertura de giro, foi mantida fechada nas simulações.

Acerca do controle de abertura das janelas no *EnergyPlus*, para os casos em que há ventilação térmica, no objeto *Schedule:Compact* uma agenda viabilizou a ventilação através da esquadria, que foi controlada pela temperatura de *setpoint*, definida como 24°C. Na ventilação higiênica, as esquadrias ficaram abertas constantemente, sendo o campo *Ventilation Control Mode* definido como *Constant*, no objeto *AirflowNetwork:MultiZone:Surface*.

Nas simulações, as variáveis de saída para cada estratégia de ventilação, definidas no objeto *Output:Variable*, foram a temperatura operativa da zona (°C) e a temperatura externa de bulbo seco (°C). As variáveis consideraram uma frequência horária. Ademais, foram considerados os dias letivos anuais do turno da manhã e da tarde. Ao total, foram 1600h simuladas.

Quanto ao tratamento de dados, primeiramente foi apresentado, através de uma tabela, o PHOCT de cada caso, conforme a metodologia da INI-C. Também foram apresentados os percentuais de horas em desconforto por frio e por calor para cada uma das 8 condições. O cálculo do PHOCT é utilizado para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas. Esse percentual atende ao objetivo da pesquisa de identificar o conforto térmico de estratégias convencionais de ventilação natural aplicáveis em salas de aula escolares da ZB2.

Os intervalos de temperatura de conforto foram adotados tendo em vista a aceitabilidade de 80% do Modelo Adaptativo de conforto da ASHRAE 55/2017. Para definir as horas ocupadas em conforto térmico, foram levadas em conta apenas as horas de aula: das 07h30min às 11h30min no turno matutino e das 13h15min às 17h15min no turno vespertino.

Para a avaliação da taxa de ventilação no objeto analisado, foram utilizadas as recomendações da OPAS (2021), considerando a comparação quantitativa entre os resultados dos casos com ventilação unilateral e cruzada, através de uma tabela. Conforme o relatório da Organização, a taxa mínima de ventilação recomendada para sala de aula escolar (ambiente fechado, naturalmente ventilado e não residencial) deve garantir 10 l/s/pessoa.

3. Resultados

3.1. Percentual de Horas Ocupadas em Conforto Térmico (PHOCT)

Para a definição do PHOCT (Tabela 3), as temperaturas médias externas de bulbo seco (°C), foram inseridas no modelo de conforto adaptativo da ASHRAE 55/2017, para determinar o intervalo de temperatura de conforto. Em seguida, foi simulada a temperatura operativa (°C) horária de cada condição.

Tabela 3: PHOCT de cada condição simulada

Nº do caso	PHOCT
1	71,19%
2	63,31%
3	66,19%
4	54,31%
5	70,68%
6	62,10%
7	67,43%
8	54,06%

Fonte: Autoras.

De acordo com as estratégias de ventilação simuladas, observa-se que o PHOCT está relacionado à presença de ventilação permanente e à área efetiva de ventilação natural na sala de aula. O caso 8, que teve uma das maiores áreas de abertura para ventilação higiênica evidenciou o maior desconforto térmico. Isso se deve, principalmente, ao desconforto por frio, que ocorre de maio até agosto. Os meses integralmente letivos em que houve maior PHOCT foram março, abril e outubro. Já os casos com ventilação unilateral e somente térmica (1 e 5), evidenciaram PHOCT mais elevado. As percentagens de horas em desconforto por frio e por calor em cada um dos casos, conforme as estratégias de ventilação natural adotadas, podem ser verificadas na Tabela 4.

Tabela 4: Percentagem de horas ocupadas em desconforto

Nº do caso	Percentagem de horas ocupadas desconfortável por	Percentagem de horas ocupadas desconfortável por
	frio	calor
1	28,06%	0,75%
2	35,63%	1,06%
3	32,63%	1,18%
4	42,75%	2,94%
5	28,63%	0,69%
6	36,65%	1,25%
7	31,88%	0,69%
8	43,06%	2,88%

Fonte: Autoras.

Através da Tabela 4, observa-se que o caso com menor quantidade de horas anuais em desconforto por frio foi o 1, com 448h (28,06% das horas ocupadas), que também foi o caso com o PHOCT mais elevado. O caso mais desconfortável por frio foi o caso 8, que somou 689h (43,06% das horas ocupadas). O desconforto por calor, por sua vez, foi baixo em todos os casos, sendo a quantidade mínima de desconforto equivalente a 11h anuais (0,69% das horas ocupadas), identificada no caso 1. Nesse âmbito, conforme pontua Maciel (2016) em

sua pesquisa realizada na ZB3, o aumento da taxa de ventilação do ambiente pode reduzir a temperatura na sala de aula e ocasionar um aumento das horas em desconforto por frio. Isso decorre, por exemplo, do fato do clima da cidade ser ameno.

3.2. Taxas de renovação do ar

Foi estimada a taxa de ventilação (l/s/pessoa) no objeto de simulação para as diferentes condições de ventilação natural. Para calcular a taxa, foi utilizada a Equação 1, conforme as orientações da OPAS (2021).

Tabela 5: Estimativas de taxa de ventilação

Condições	Taxa de ventilação estimada
1, 2, 5 e 6: ventilação unilateral	3,04 (l/s/pessoa)
3, 4, 7 e 8: ventilação cruzada	39,47 (l/s/pessoa)

Fonte: Autoras.

De acordo com os resultados da Tabela 5, os casos com ventilação unilateral possuíram taxa de ventilação abaixo do recomendado para mitigar e reduzir o risco de transmissão de COVID-19 (valor mínimo: 10 l/s/pessoa). Para essas condições, a OPAS (2021) orienta: o aumento da área de abertura; ventilação cruzada; uso de ventilador de coluna perto de uma janela; e uso de extratores de ar ou exaustores eólicos. Se essas alternativas forem inviáveis, sugere-se inserir um purificador de ar independente com filtro MERV 14/F8.

4. Considerações Finais

O levantamento do conforto térmico de estratégias convencionais de ventilação natural em salas de aula da ZB2, com identificação daquelas que viabilizam taxas adequadas de ventilação, considerando o panorama de disseminação da COVID-19, definiu o propósito deste trabalho. Nesse âmbito, como pontuam autores como Amorim, Silva e Almeida (2014), a ventilação natural é uma forma de garantir a qualidade do ar no interior dos ambientes com baixo dispêndio de energia. A renovação do ar possibilita o maior controle dos poluentes. Entretanto, o desempenho de estratégias de ventilação natural varia de acordo com o local de inserção, em função, por exemplo, de variantes climáticas.

Os resultados desta pesquisa mostraram que, na sala de aula analisada, que é situada em Santa Maria (RS), cidade com verões quentes e invernos amenos, as estratégias com apenas ventilação térmica proporcionaram percentuais de conforto térmico mais altos do que as que possuem ventilação higiênica. Isso se deu porque, nestas últimas, há o aumento nas taxas de renovação do ar, visto que as janelas ficam mais tempo abertas. Ademais, os casos com ventilação unilateral simulados apresentaram maior conforto térmico do que nos em que há ventilação cruzada, nas diferentes orientações simuladas. Porém, é necessário considerar que, conforme as recomendações da OPAS (2021), quando houve ventilação com aberturas em apenas uma parede da sala de aula, as taxas de ventilação foram insuficientes.

Visto o contexto pandêmico de COVID-19, as alternativas com ventilação cruzada são mais recomendadas. A condição 7, em que há ventilação térmica cruzada norte-sul evidenciou os melhores resultados nesse âmbito. Se forem consideradas apenas as situações em que há ventilação higiênica, o caso 4, que teve ventilação cruzada leste-oeste, foi o mais favorável. Observa-se que para que as estratégias com ventilação higiênica sejam mais confortáveis, uma alternativa viável é reduzir a área de abertura que tem ventilação permanente.

Esta pesquisa tornou necessário o uso de simplificações, em virtude das simulações computacionais: a rotina de a abertura e fechamento de janelas, por exemplo, foi fixada através de uma temperatura de *setpoint* equivalente a 24°C. No ambiente real, professores e alunos operam as esquadrias, conforme a percepção de conforto e higienização do ar. Além disso, foi adotado um ambiente conforme as orientações do FNDE, cujo modelo é considerado em escolas públicas, que inúmeras vezes não têm salas de aula equipadas com ar condicionado. Como possível continuidade da pesquisa, pretende-se avaliar estratégias distintas de ventilação natural, bem como simular o uso de ar condicionado no ambiente, objetivando-se ampliar a análise para salas de aula da ZB2.

Referências

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS-ASHRAE. ANSI/ASHRAE *Standard 55: thermal environmental conditions for human occupancy*. Atlanta, 2017.

AMORIM, D.; SILVA, S.; ALMEIDA, M. Definição de estratégias de ventilação natural para assegurar a qualidade do ar interior de um edifício. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE PATOLOGIA DA CONSTRUÇÃO, TECNOLOGIA DA REABILITAÇÃO E GESTÃO DO PATRIMÔNIO - REHABEND, 12., 8., 2014, [S. l.]. Anais [...]. Santander: UC, 2014, p. 1231-1238

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 15220-1: Desempenho térmico de edificações Parte 1. Rio de Janeiro, 2005a.

_____. NBR 15220-2: Desempenho térmico de edificações Parte 2. Rio de Janeiro, 2005b.

_____. NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações Parte 3. Rio de Janeiro, 2005c.

BITTENCOURT, L; CÂNDIDO, C. Introdução à ventilação natural. Maceió: EDUFAL, 2006. 163 p.

BRASIL. Lei n. 9.394, de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. Disponível em:
http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9394compilado.htm. Acesso em: 10 fev. 2021.

BRASIL. MINISTÉRIO DA ECONOMIA. Portaria Nº 42, de 24 de fevereiro de 2021. Aprova a Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C).

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Contribuições para o retorno às atividades escolares presenciais no contexto da pandemia Covid-19. Brasília: [s. n.], 2020.

COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION-CEN. EN 16798-1: *Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics*. Bruxelas: CEN-CENELEC, 2019.

FUNDO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO-FNDE. Manual de orientações técnicas: elaboração de projetos de edificações escolares - Ensino Fundamental. [S. l.]: Ministério da Educação, 2017. 191 p.

GIVONI, B. *Man, climate and architecture*. 2.ed. Londres: *Applied Science Publisher*, 1976. 483 p.

GONÇALVES, R. B.; VANDERLEI, P. S. S.; SOARES, P. F. Iluminação e ventilação em salas de aula: um estudo sobre a utilização de brise e o cruzamento de ventilação em aberturas. In: SIMPÓSIO DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA - SIMPGEU, 3., 2012, Maringá. Anais [...]. Maringá: [s. n.], 2012. p. 1-11.

HELDWEIN, A. B.; BURIOL, G. A.; STRECK, N. A. A história natural de Santa Maria: o clima de Santa Maria. *Revista Ciência & Ambiente*, Santa Maria, n. 38, p. 43-58, jan. 2009.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. Normais climatológicas do Brasil. 2009. Brasília: [s. n.]. Organizadores: Andrea Malheiros Ramos, Luiz André Rodrigues dos Santos, Lauro Tadeu Guimaraes Fortes.

KROEMER, K. H. E.; GRANDJEAN, E. *Manual de ergonomia: adaptando o trabalho ao homem*. 5. ed. São Paulo: Artmed Editora S.A., 2005. 326 p.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES-LABEEE. Arquivos Climáticos. 2018. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos>. Acesso em: 18 jan. 2021.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. *Eficiência energética na arquitetura*. 3. ed. São Paulo: PW Editores, 2014.

MACIEL, L. F. *Brise-chaminé-solar: avaliação experimental e por simulação CFD/Energyplus de um dispositivo de ventilação*. 2016. 133 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.

OLGYAY, V. *Clima y arquitectura en Colombia*. Cali: *Universidad del Valle*, 1968.

OLIVEIRA, W. C.; CUNHA, E. G.; LEITZKE, R. Eficiência energética em prédios de salas de aula naturalmente ventilados. *Parc Pesquisa em Arquitetura e Construção*, São Paulo, v. 11, p. 1-21, ago. 2020.

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DE SAÚDE-OPAS. Roteiro para melhorar e garantir a boa ventilação de ambientes fechados no contexto da doença causada pelo novo coronavírus, COVID-19. Brasília: OPAS, 2021.

PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM-PBE EDIFICA. Manual para a aplicação do RTQ-R. [S. l.]: Eletrobras/Procel, 2012. 202 p.

PROJETEEE. Dados climáticos. 2016. Disponível em: http://projeteee.mma.gov.br/dados-climaticos/?cidade=RS++Santa+Maria&id_cidade=bra_rs_santa.maria.839360_inmet. Acesso em: 07 dez. 2020.

RIVERO, R. *Arquitetura e clima: condicionamento térmico e natural*. Porto Alegre: DC Luzzatto, 1986.

RODRIGUES A. M. G. *Análise da Qualidade da Ventilação em Salas de Aula*. 2017. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2017.

TELENTI, A. *et al. After the pandemic: perspectives on the future trajectory of COVID-19*. *Nature*, [S. l.], v. 596, n. 26, p. 495-504, ago. 2021.

VIANA, S. S. M.; AMORIM, M. C. C. T. O conforto térmico nas escolas estaduais de Presidente Prudente/SP. *Revista Formação, Presidente Prudente*, v. 2, n. 20, p. 100-139, dez. 2013.

WALTON, G. N. *AIRNET: A Computer Program for Building Airflow Network Modeling*. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology, 1989.

WEBER, F. S. *et al.* Elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa *EnergyPlus*. Florianópolis: LabEEE, 2017. 52 p. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/node/714>. Acesso em: 18 nov. 2020.

ZHANG, G. *et al.* *Thermal Comfort Investigation of Naturally Ventilated Classrooms in a Subtropical Region*. *Indoor And Built Environment*, [S. l.], v. 16, n. 2, p. 148-158, abr. 2007.