XXI ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
14 a 16 de outubro de 2026 | Goiânia-Brasil
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8344

Conforto Térmico em Salas de Aula Naturalmente Ventiladas

Thermal Comfort of Naturally Ventilated Classrooms

Ana Carla Lara Nobre
Unicamp| Campinas | Brasil | acnobre76@gmail.com
Lucila Chebel Labaki
Unicamp | Campinas| Brasil | lucila@fec.unicamp.br
Leticia de Oliveira Neves
Unicamp | Campinas | Brasil | lneves@unicamp.br

Resumo

Em ambientes escolares, condições térmicas inadequadas podem comprometer as condições de permanência e bem-estar dos alunos. Nesse contexto, este estudo analisa o conforto térmico em três salas de aula de uma escola pública em Igarapava-SP, segundo o modelo adaptativo da ASHRAE 55-2023 (80% de aceitabilidade), por meio de simulações no EnergyPlus. A geometria arquitetônica foi modelada a partir das plantas baixas originais e as propriedades térmicas foram atribuídas com base em referências brasileiras estipuladas. Os resultados indicam predominância de temperaturas consideradas fora da zona de conforto nas salas analisadas, com percentuais entre 49% e 51% das horas de ocupação. As diferenças entre pavimentos e orientações solares foram discretas, sugerindo que o conforto térmico está fortemente condicionado pela tipologia construtiva e pelas características da envoltória. Os resultados apontam para a insuficiência da tipologia construtiva adotada e reforçam a necessidade de estratégias de condicionamento térmico passivo em escolas públicas situadas em clima quente.

Palavras-chave: Conforto térmico. ASHRAE 55. EnergyPlus. Edifícios escolares.

Abstract

In school environments, inadequate thermal conditions can compromise students' occupancy conditions and well-being. In this context, this study analyzes the thermal comfort of three classrooms in a public school in Igarapava-SP, Brazil, according to the ASHRAE 55-2023 adaptive model (80% acceptability), through EnergyPlus simulations. The architectural geometry was modeled based on the original floor plans, and the thermal properties were assigned based on established Brazilian references. The results indicate a predominance of temperatures considered outside the comfort zone in the analyzed classrooms, with percentages ranging between 49% and 51% of occupied hours. The differences between floors and solar orientations were minor, suggesting that thermal comfort is strongly conditioned by the constructive typology and the characteristics of the building envelope. The results point to the inadequacy of the constructive typology adopted and reinforce the need for passive thermal conditioning strategies in public schools located in hot climates.

Keywords: Thermal comfort. ASHRAE 55. EnergyPlus. School buildings.

INTRODUÇÃO

São múltiplas as facetas que regem a educação e aprendizagem. Dentre elas, a infraestrutura escolar constitui um dos elementos fundamentais da complexa rede de ensino, sendo o suporte físico que integra o aluno ao ambiente de aprendizagem.

Como citar:
NOBRE, A. C. L.; LABAKI, L. C.; NEVES, L. O., Conforto Térmico em Salas de Aula Naturalmente Ventiladas. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 21, 2026, Goiânia. **Anais**... Goiânia: ANTAC, 2026.

Nesse contexto, o conforto térmico nas edificações escolares assume papel determinante, uma vez que condições térmicas inadequadas podem comprometer o bem-estar, a atenção e o desempenho cognitivo dos estudantes [6][9]. Escolas públicas brasileiras, em sua maioria naturalmente ventiladas e construídas a partir de projetos padronizados, frequentemente não atendem aos requisitos mínimos de conforto térmico, especialmente em regiões de clima quente [8]

Diante disso, reconhecendo a influência do calor na aprendizagem, torna-se fundamental compreender de que forma as normas de conforto de edificações organizam esses parâmetros. Entre as referências mais utilizadas está a ASHRAE 55-2023 [2], que estabelece critérios para condições térmicas aceitáveis em ambientes internos. A norma incorpora o chamado modelo adaptativo, relevante para edificações naturalmente ventiladas, como escolas públicas brasileiras. Esse modelo parte da premissa de que os ocupantes ajustam suas expectativas térmicas de acordo com as condições climáticas externas e a possibilidade de adaptação comportamental, resultando em faixas de conforto que variam conforme a temperatura média externa. O conforto adaptativo define uma zona de aceitabilidade térmica dinâmica, mais condizente com a experiência real do usuário.

Estudos brasileiros recentes têm utilizado simulação computacional (EnergyPlus/DesignBuilder) para avaliar o conforto térmico adaptativo em escolas. Silva et al. [8] encontraram apenas 23% de horas em conforto em Cuiabá; Lopes et al. [5] confirmaram limitações do projeto padrão FNDE em climas quentes; Liguori & Labaki [4] mostraram que o modelo adaptativo pode subestimar o desconforto por calor em escolas de Campinas/SP.

Nesse contexto, este artigo avalia o conforto térmico em três salas de aula de uma escola pública em Igarapava-SP, por meio da comparação entre a temperatura operativa obtida nas simulações no EnergyPlus e os limites de aceitabilidade do modelo adaptativo da ASHRAE 55-2023 [2], com o objetivo de verificar se os ambientes apresentam condições de conforto térmico durante o período letivo.

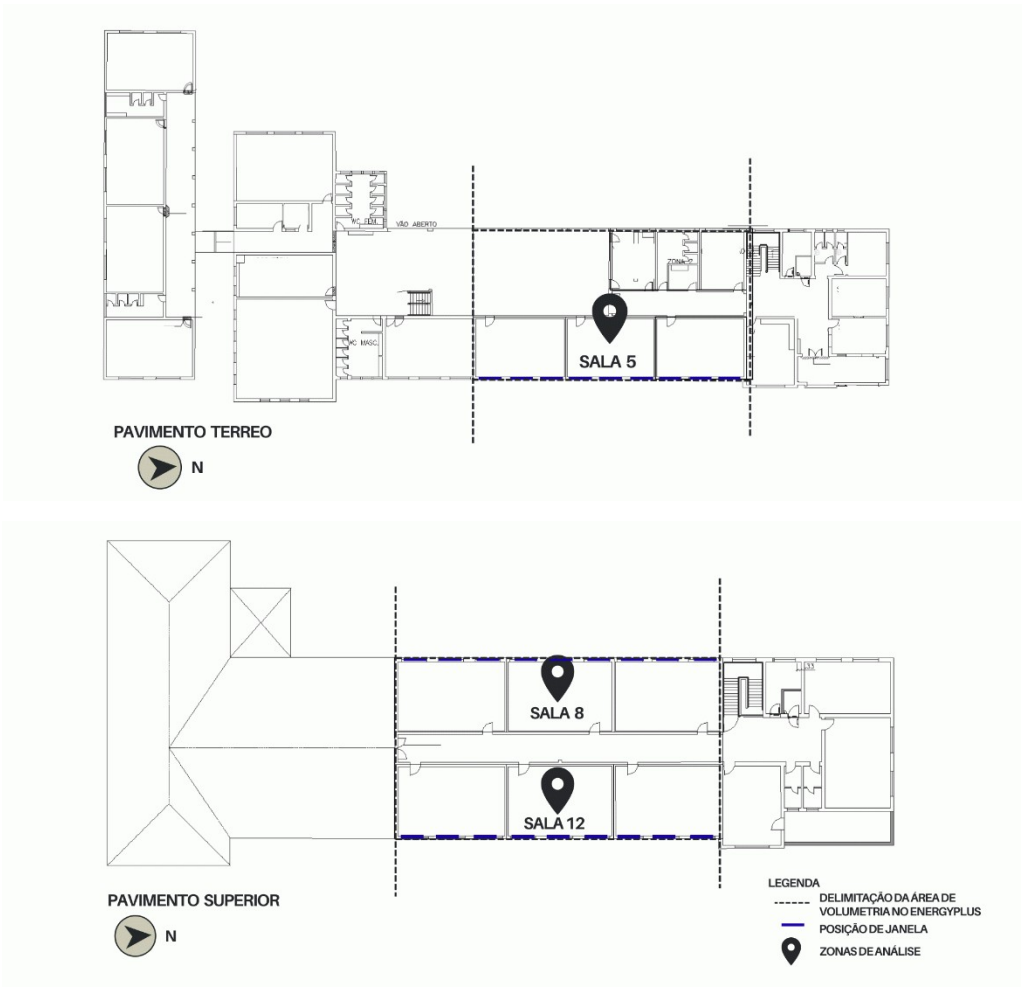
METODOLOGIA

CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

O estudo foi realizado a partir da planta baixa da Escola Estadual Martinho Sylvio Bizutti, localizada no município de Igarapava-SP, que atende alunos do Ensino Médio, com faixa etária entre 14 e 18 anos. Para fins deste trabalho, foram selecionadas três salas de aula para análise e, a partir disso, foi definido o recorte da planta necessário para o desenvolvimento da volumetria.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8344

Figura 1: Plantas da escola com a localização das salas de aula analisadas.



Fonte: plantas FDE – Fundação para o Desenvolvimento da Educação, alterado pelas autoras.

Figura 2: Foto da fachada oeste com vista das aberturas da sala 8.



Fonte: Oliveira, E. R. (2021). Google Maps, adaptado pelas autoras.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8344

GEOMETRIA E ZONEAMENTO

Ao todo, foram estabelecidas 14 zonas térmicas, sendo 6 no pavimento térreo, 7 no pavimento superior e a 14ª sendo designada ao telhado.

A sala 5, localizada no pavimento térreo com orientação para a fachada leste, possui dimensões de 6,04 m x 9,01 m e pé-direito de 3,50 m. A Sala 8, situada no pavimento superior com orientação para a fachada oeste, possui dimensões de 6,01 m x 8,99 m e pé-direito de 3,40 m. A Sala 12, também no pavimento superior, porém orientada para a fachada leste, possui dimensões de 6,04 m x 9,01 m e pé-direito de 3,40 m

DADOS DE ENTRADA DE SIMULAÇÃO

1. CLIMA E LOCALIZAÇÃO:

Por não existir arquivo climático (.EPW) com dados específicos da cidade de Igarapava-SP, adotou-se o arquivo climático de Ribeirão Preto-SP, por apresentar proximidade geográfica, climática e altimétrica com a localidade da escola analisada. Ambas as cidades possuem clima tropical quente, com verão chuvoso e inverno seco, além de altitudes semelhantes, sendo aproximadamente 546 metros para Ribeirão Preto e 521 metros para Igarapava, com diferença altimétrica de cerca de 25 metros.

2. MATERIAIS E COMPONENTES CONSTRUTIVOS

A definição das propriedades termofísicas dos materiais utilizados na modelagem foi realizada com base na biblioteca disponibilizada pelo LabEEE/UFSC [9], complementada por ajustes conforme características construtivas típicas da edificação escolar de estudo. Como não foi possível realizar a caracterização *in loco* dos materiais da envoltória, as composições construtivas foram estimadas a partir das espessuras das paredes indicadas nas plantas arquitetônicas originais, adotando-se materiais compatíveis com o padrão construtivo típico de escolas públicas da região.

As paredes externas são em alvenaria de tijolo cerâmico com revestimento em argamassa, conforme composições detalhadas na Tabela 1. A cobertura é composta por telhado cerâmico e o piso possui acabamento em piso frio. Cada sala possui três janelas com vidro canelado de 6 mm e abertura do tipo maxim-ar (Figura 2), divididas em seis divisórias de abertura, com percentual de área envidraçada correspondente a 39% da área da fachada de cada sala.

A seguir, apresentam-se as Tabelas 1 e 2 e o Quadro 1, detalhando cada classe:

Tabela 1: Componentes de cada material opaco.

Material	Espessura	Condutividade	Densidade	Calor específico
Argamassa 25mm	0.025	1.15	1800	1000
Argamassa_15mm	0.015	1.15	1800	1000
Tijolo_14cm	0.14	0.9	1400	900
Tijolo_9cm	0.09	0.9	1400	900
Concreto_4cm	0.04	1.75	2200	1000
Concreto_5cm	0.05	1.75	2200	1000
Concreto_6cm	0.06	1.75	2200	1000
Lajota_8cm	0.08	1.05	2000	920
Lajota_12cm	0.12	1.05	2000	920
Vigota_8cm	0.08	1.75	2200	1000
Vigota_12cm	0.12	1.75	2200	1000
Telha Cerâmica	0.15	0.84	1700	840
Madeira_5cm	0.05	0.29	1000	1340
Aço_3cm	0.03	55	7850	450
PisoFrio	0.001	1.6	2500	840

Fonte: as autoras.

Tabela 2: Componentes de material translúcido.

Material	Espessura	Transmitância Solar	Transmitância visivel	Infravermelho frontal e posterior	Condutividade
VidroCanelado_6mm	0.006	0.78	0.8	0.84	1

Fonte: as autoras.

Quadro 1: Componentes de cada elemento.

Elemento	Camada externa	Camada 2	Camada 3	Camada 4	Camada 5	Camada 6
Parede_20cm	Argamassa_25 mm	Tijolo_14cm	Argamassa_25 mm			
Parede_25cm	Argamassa_25 mm	Argamassa_25 mm	Tijolo _14cm	Argamassa_25 mm	Argamassa_5 mm	
Parede_30cm	Argamassa_15 mm	Tijolo_14cm	Argamassa_15 mm	Tijolo_14cm	Argamassa_15 mm	
Parede_35cm	Argamassa_25 mm	Tijolo_14cm	Argamassa_15 mm	Tijolo_14cm	Argamassa_25 mm	
Parede_40cm	Argamassa_25 mm	Tijolo_14cm	Argamassa_25 mm	Argamassa_25 mm	Tijolo_14cm	Argamassa _25mm
Laje_25cm	Concreto _4cm	Lajota_8cm	Vigota_8cm	Concreto_4cm	Ardosia	
Laje_30cm	Concreto _4cm	Lajota_8cm	Vigota_12cm	Concreto_6cm	Ardosia	
Piso_paraLaje30cm	PisoFrio	Concreto_6cm	Vigota_12cm	Lajota_8cm	Concreto_4cm	
Piso_paraLaje25cm	PisoFrio	Concreto_4cm	Vigota_8cm	Lajota_8cm	Concreto_4cm	
Telha	Telha_Cerâmica					

Porta_Aço	Aço_3cm
VidroCan_6mm	VidroCanelado

Fonte: as autoras.

3. PADRÕES DE USO

As agendas operacionais foram configuradas conforme o funcionamento real das escolas estaduais do estado de São Paulo, considerando calendário anual com férias nos meses de janeiro, julho e dezembro. O funcionamento semanal foi definido de segunda-feira a sexta-feira, por ser uma escola PEI, tem periodo integral, sendo o horário das ocupações das 7 h às 12 h e das 13 h às 18 h.

4. CARGAS INTERNAS

Para contabilização de cargas internas, três elementos foram considerados, sendo eles:

- Ocupação: 31 alunos por sala, considerando uma taxa metabólica de 108 W por pessoa [1].
- Iluminação: 9 W/m², operação durante o período letivo [3]
- Equipamentos: foram considerados computador e projetor do professor com carga total de 400 W. Seu funcionamento foi considerado em alguns horários do período de aula.

5. VENTILAÇÃO NATURAL

A ventilação natural foi representada no modelo por meio do módulo AirflowNetwork do EnergyPlus. As aberturas foram modeladas como elementos operáveis, com coeficiente de descarga de 0,6 para janelas e de 0,001 para portas (portas sempre fechadas). Adotou-se um modelo de abertura em dois estágios, com fator de largura e fator de altura iguais a 1. As janelas permitiam abertura entre 6 h e 18 h, exclusivamente durante o período de ocupação escolar, quando a temperatura operativa interna fosse superior a 19 °C.

PROCEDIMENTOS DE ANÁLISES

A simulação foi executada para um ano completo com arquivo climático EPW. A análise de conforto térmico considerou apenas as horas de ocupação do período letivo (dias úteis, 7h–12h e 13h–18h), a partir do status de aceitabilidade do modelo adaptativo da ASHRAE 55-2023 [2]. Como análise complementar, foram selecionados dois dias com condições climáticas contrastantes, o dia de maior e o dia de menor temperatura média externa no conjunto simulado (18 de setembro e 30 de junho, respectivamente), para examinar o comportamento horário das salas de aula.

Foram solicitadas as seguintes variáveis de saída, fundamentais para a avaliação termoambiental e da ventilação: temperatura média do ar da zona, temperatura operativa da zona, temperatura média externa de referência para o modelo adaptativo da ASHRAE 55, status de aceitabilidade do modelo adaptativo da ASHRAE 55 com 80% de aceitabilidade e temperatura externa de bulbo seco.

RESULTADOS

A Tabela 3 apresenta a distribuição percentual das horas em conforto e desconforto térmico para as três salas de aula analisadas.

Tabela 3: Resultados percentuais das horas em conforto térmico.

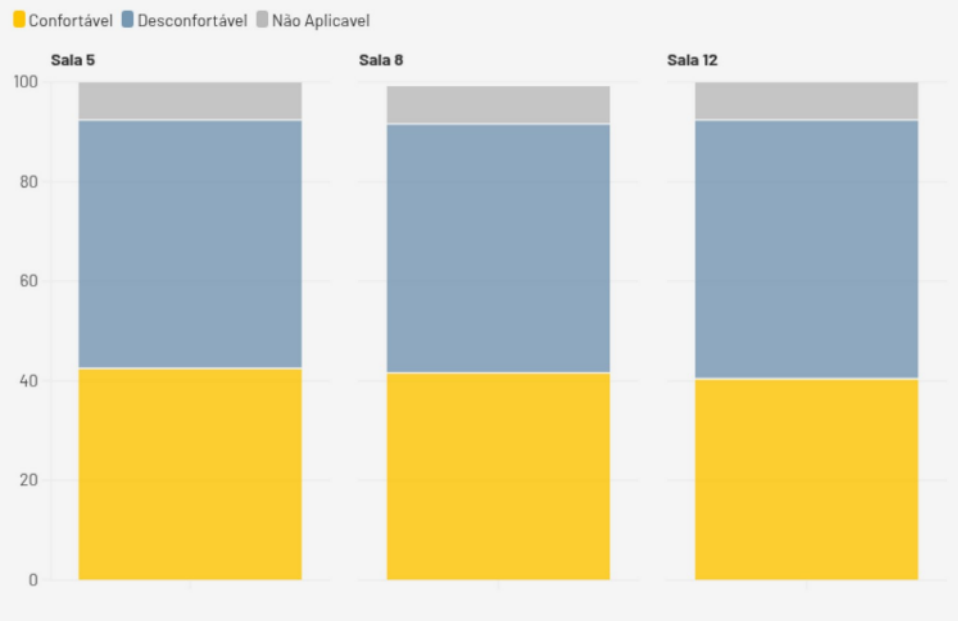
Ambiente	Conforto	Desconforto	Não aplicável
Sala 5	42,5%	49,9%	7,6%
Sala 8	42,0%	50,4%	7,6%
Sala 12	40,8%	51,6%	7,6%

Fonte: as autoras.

Em todas as salas, o desconforto térmico superou o conforto ao longo do período letivo. Os percentuais de conforto variaram entre 40,8% e 42,5%, enquanto o desconforto variou entre 49,9% e 51,6%, indicando que os usuários permanecem mais tempo em condição térmica inadequada do que em condição aceitável. Em todas as salas, 7,6% das horas encontraram-se fora do domínio de aplicabilidade do modelo adaptativo, correspondendo a períodos em que a temperatura média externa não se enquadra nos limites estabelecidos pela norma.

A Sala 12, localizada no pavimento superior com orientação para a fachada leste, apresentou o pior desempenho entre as salas analisadas. Ainda assim, as diferenças entre as três salas foram inferiores a seis pontos percentuais. Considerando que as salas possuem a mesma configuração construtiva, dimensões e aberturas, diferenciando-se essencialmente pela orientação solar e pela posição no edifício, os resultados sugerem que a inadequação térmica está mais associada à tipologia construtiva e às características da envoltória da edificação do que a fatores específicos de orientação ou pavimento. Nota-se ainda que a Sala 5, localizada no pavimento térreo, apresentou desempenho discretamente melhor que as salas do pavimento superior, o que pode estar relacionado à maior inércia térmica do contato com o solo e ao sombreamento parcial proporcionado pela própria edificação, fatores que tendem a atenuar a amplitude térmica nos ambientes térreos. A Figura 3 ilustra essa semelhança entre as três salas.

Figura 3: Gráfico de barras agrupadas de horas de conforto e desconforto.



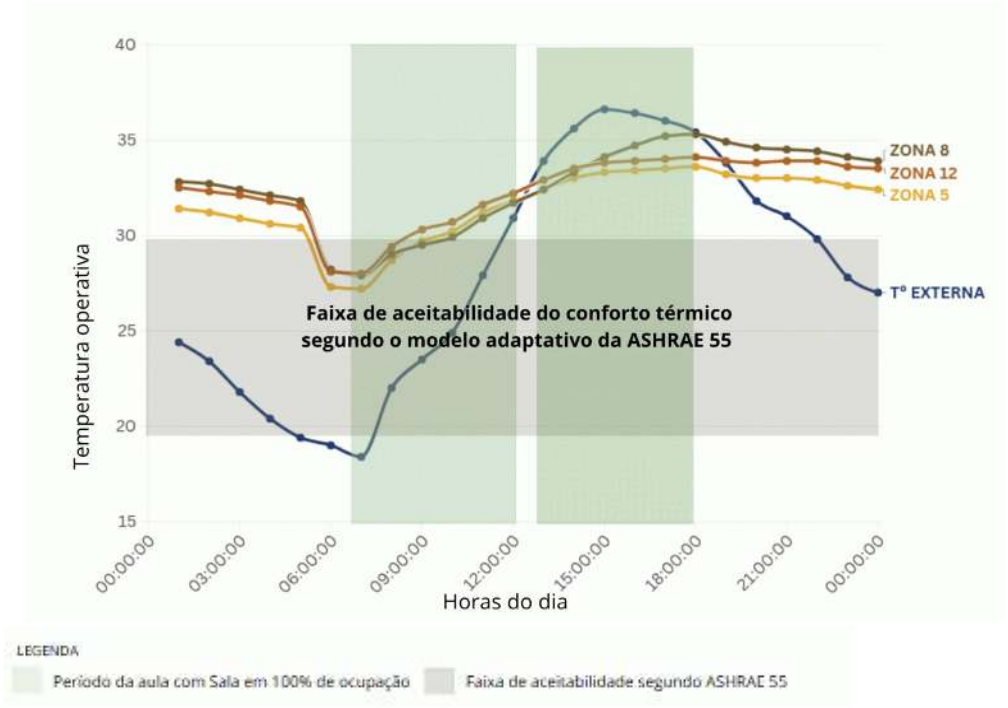
Fonte: as autoras.

Os percentuais de conforto obtidos são compatíveis com valores reportados em estudos realizados em climas quentes. Silva et al. [8] identificaram percentuais de conforto de aproximadamente 23% em escolas de Cuiabá, e Lopes et al. [5] observaram valores inferiores a 30% em edificações escolares em climas quentes. Embora os resultados deste estudo sejam ligeiramente superiores, possivelmente em função das diferenças climáticas regionais, permanecem abaixo de níveis considerados adequados, reforçando a inadequação de projetos padronizados sem adaptação ao contexto climático local.

Como análise complementar, foram avaliados o dia de maior temperatura média externa (18 de setembro) e o dia de menor temperatura média externa (30 de junho), a fim de observar o comportamento horário das salas em condições climáticas contrastantes.

No dia de maior temperatura externa (Figura 4), o desconforto predominou durante quase todo o período de ocupação nas três salas, confirmando o padrão identificado na análise do período letivo. Observa-se que, durante a manhã, as temperaturas operativas das salas acompanharam de forma relativamente próxima o limite superior da faixa de aceitabilidade, com curtos períodos dentro da zona de conforto. A partir do início da tarde, contudo, as temperaturas internas ultrapassaram esse limite de forma mais acentuada, atingindo valores em torno de 36 °C a 37 °C, enquanto a temperatura externa permaneceu inferior a 30 °C, evidenciando o efeito de acúmulo de calor no interior das salas ao longo do dia. Esse comportamento sugere que a envoltória da edificação contribui para reter o calor absorvido nas horas de maior radiação solar, prolongando o desconforto até o final do período letivo.

Figura 4: Temperatura operativa horária e faixa de aceitabilidade de conforto segundo o modelo adaptativo da ASHRAE 55 - Dia de maior temperatura média externa.



Fonte: as autoras.

No dia de menor temperatura externa (Figura 5), embora o número de horas em conforto tenha aumentado, ainda houve períodos fora da faixa de aceitabilidade. Diferentemente do dia mais quente, nesse caso o desconforto concentrou-se principalmente nas primeiras horas do período letivo, quando as temperaturas operativas das salas, próximas a 18 °C-19 °C, permaneceram abaixo do limite inferior da faixa de aceitabilidade, enquanto a temperatura externa variou entre aproximadamente 4 °C e 12 °C ao longo da manhã. A partir do início da tarde, com a elevação gradual da temperatura externa, as temperaturas operativas das três salas ingressaram na faixa de conforto, situando-se entre 20 °C e 22 °C. Esses resultados indicam que o desconforto térmico não se restringe a condições de calor intenso, mas constitui uma condição recorrente também em dias mais frios, especialmente no início do turno escolar, reafirmando o que os dados do período letivo já apontam.

Figura 5: Temperatura operativa horária e faixa de aceitabilidade de conforto segundo o modelo adaptativo da ASHRAE 55 - Dia de menor temperatura média externa.



Fonte: as autoras.

Os resultados evidenciam que as condições de conforto térmico nas salas analisadas permaneceram insatisfatórias durante grande parte do período letivo, tanto em situações de calor quanto em episódios de temperaturas mais baixas. Além disso, a semelhança dos resultados observados entre ambientes com diferentes orientações solares e localizações no edifício sugere que o desempenho térmico está mais associado às características construtivas da edificação do que a fatores específicos de orientação ou pavimento. Esses achados reforçam a necessidade de aprofundar as investigações sobre estratégias de adequação térmica para edificações escolares em climas quentes, especialmente considerando as particularidades construtivas das escolas públicas estaduais e as condições climáticas locais.

CONCLUSÃO

Avaliou-se, neste estudo, o conforto térmico em três salas de aula da Escola Estadual Martinho Sylvio Bizutti, em Igarapava-SP, por meio de simulações no EnergyPlus e com base no modelo adaptativo da ASHRAE 55-2023 [2] (80% de aceitabilidade).

A partir dos resultados obtidos, é possível afirmar que a edificação não oferece condições de conforto térmico aos usuários durante a maior parte do período letivo. Nas três salas analisadas, o desconforto térmico predominou sobre o conforto, com percentuais entre 49,9% e 51,6% das horas de ocupação em condição térmica inadequada. A proximidade dos resultados entre salas com orientações e pavimentos distintos indica que o conforto térmico insatisfatório tem caráter sistêmico vinculado à tipologia construtiva e às características da envoltória, e não a condições específicas de implantação das salas.

Esse resultado é coerente com a literatura sobre escolas públicas brasileiras em climas quentes, que aponta percentuais de conforto ainda mais baixos em outras regiões do

país. Ainda assim, os valores obtidos permanecem abaixo de níveis considerados adequados, evidenciando que o projeto padronizado adotado não responde satisfatoriamente às condições climáticas locais.

Como limitação da pesquisa, destaca-se que a avaliação do conforto térmico foi realizada com base no modelo adaptativo da ASHRAE 55-2023 [2], originalmente desenvolvido para adultos saudáveis em edificações naturalmente ventiladas. Embora amplamente utilizado em estudos de conforto térmico, sua aplicação em ambientes escolares ocupados predominantemente por crianças e adolescentes representa uma adaptação metodológica, uma vez que essa população não constituiu o grupo de referência utilizado no desenvolvimento do modelo. Dessa forma, os resultados devem ser interpretados considerando essa limitação, o que evidencia a necessidade de pesquisas futuras voltadas à avaliação da adequação de modelos de conforto térmico para diferentes faixas etárias no contexto escolar.

DECLARAÇÃO

Os autores declaram que não fizeram uso de IA generativa e tecnologias assistidas por IA no processo de preparação do manuscrito.

REFERÊNCIAS

[1]ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-1: Edificações habitacionais — Desempenho — Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

[2] AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. ANSI/ASHRAE Standard 55-2023: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta: ASHRAE, 2023.

[3] AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2019: **Energy Standard for Buildings**, Except Low-Rise Residential Buildings. Atlanta: ASHRAE, 2019.

[4] LIGUORI, IN; LABAKI, LC. Avaliação do conforto térmico em ambiente escolar: comparações entre o modelo adaptativo e respostas de sensação e preferência térmica. **In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO,** 18., 2020. Anais [...] . Porto Alegre: ANTAC, 2020. DOI: 10.46421/entac.v18i.895.

[5] LOPES, AFO; SILVA, C.; AMORIM, CND; BATISTA, JO. Avaliação do desempenho térmico de ambiente escolar padronizado, em contexto climático brasileiro, por meio de simulação. termoenergética. **PARC: Pesquisa em Arquitetura e Construção, Campinas,** v. 14, 2023. DOI: 10.20396/parc.v14i00.8670652.

[6] PARK, R. Jisung; GOODMAN, Joshua; HURWITZ, Michael; SMITH, Jonathan. Heat and Learning. **American Economic Journal: Economic Policy** , [sl], v. 12, n. 2, p. 306–339, maio de 2020. DOI: 10.1257/pol.20180612.

[7] PORRAS-SALAZAR, Jose Ali; WYON, David P.; PIDERIT-MORENO, Beatriz; CONTRERAS-ESPINOZA, Sergio; WARGOCKI, Pawel. Reducing classroom temperature in a tropical climate improved the thermal comfort and the performance of elementary school pupils. **Indoor Air** , [sl], v. 28, n. 6, p. 892–904, 2018. DOI: 10.1111/ina.12501.

[8] SILVA, C.; LOPES, A.; GES, TM; AMORIM, CND Conforto térmico adaptativo em escolas brasileiras por meio de simulação de desempenho de edifícios (BPS). **Revista de Engenharia Civil e Arquitetura** , v. 14, n. 3, , 2020. DOI: 10.17265/1934-7359/2020.03.007

[9] WARGOCKI, Pawel; PORRAS-SALAZAR, Jose Ali; CONTRERAS-ESPINOZA, Sergio. The relationship between classroom temperature and children's performance in school. **Building and Environment** v. 157, p. 197–204, junho de 2019. DOI: 10.1016/j.buildenv.2019.04.046.

[10] WEBER, F.; MELO, A. P.; MARINOSKI, D. L.; LAMBERTS, R. **Biblioteca de componentes construtivos brasileiros para simulação do desempenho térmico de edificações.** Relatório técnico. Florianópolis: LabEEE/UFSC, 2017.