

MARCO ANTONIO HYGINO BARCELLOS, ÉRICA GOELHO PAGEL E SAULO VIEIRA DE OLIVEIRA SILVA

Influência das aberturas de portas e janelas no desempenho térmico em sala de aulas: estudo de caso no Instituto Federal de Educação do ES (IFES)

Influence of door and window openings on thermal performance in the classroom: a case study at the Federal Institute of Education of ES (IFES)

Influencia de las aperturas de puertas y ventanas en el rendimiento térmico en las aulas: estudio de caso en el Instituto Federal de Educación de ES (IFES)

Influência das aberturas de portas e janelas no desempenho térmico em sala de aulas: estudo de caso no Instituto Federal de Educação do ES (IFES)

Influence of door and window openings on thermal performance in the classroom: a case study at the Federal Institute of Education of ES (IFES)

Influencia de las aberturas de puertas y ventanas en el rendimiento térmico en las aulas: estudio de caso en el Instituto Federal de Educación de ES (IFES)

Marco Antonio Hygino Barcellos

Arquiteto e Urbanista. Pesquisador no Grupo de Pesquisas Arquitetura e Estudos Ambientais (ARQAMB) da Universidade Vila Velha (UVV).

Architect and Urban Planner. Researcher at the Architecture and Environmental Studies Research Group (ARQAMB) at Vila Velha University (UVV).

Arquitecto y Urbanista. Investigador del Grupo de Investigación en Arquitectura y Estudios Ambientales (ARQAMB) de la Universidad Vila Velha (UVV).

marcohygino@hotmail.com

Érica Coelho Pagel

Arquiteta e Urbanista. Doutora em Engenharia Ambiental. Universidade Vila Velha (UVV). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Cidade (PPGAC). Grupo de Pesquisas Arquitetura e Estudos Ambientais (ARQAMB).

Architect and Urban Planner. PhD in Environmental Engineering. Vila Velha University (UVV). Postgraduate Program in Architecture and City (PPGAC). Architecture and Environmental Studies Research Group (ARQAMB).

Arquitecto y Urbanista. Doctorado en Ingeniería Ambiental. Universidad Vila Velha (UVV). Programa de Postgrado en Arquitectura y Ciudad (PPGAC). Grupo de Investigación en Arquitectura y Estudios Ambientales (ARQAMB).

erica.pagel@uvv.br

Saulo Vieira de Oliveira Silva

Mestre em Arquitetura e Cidade pela Universidade Vila Velha (UVV). Professor no Instituto Federal de Educação do ES (IFES). Curso técnico em Edificações e Engenharia Civil.

Master in Architecture and City from Vila Velha University (UVV). Professor at the Federal Institute of Education of ES (IFES). Technical course in Buildings and Civil Engineering.

Máster en Arquitectura y Ciudad por la Universidad Vila Velha (UVV). Profesor del Instituto Federal de Educación de ES (IFES). Curso Técnico en Edificación e Ingeniería Civil.

saulomestradoarq@gmail.com

Resumo

O desconforto térmico em salas de aula afeta negativamente o aprendizado, o bem-estar e o desenvolvimento dos estudantes, comprometendo o desempenho acadêmico e a capacidade de concentração dos alunos. Em climas tropicais quentes e úmidos, como é o caso de várias regiões brasileiras, o desconforto térmico é uma questão relevante para ambientes escolares, já que a falta de conforto pode reduzir a produtividade e gerar sensação de fadiga. O objetivo desta pesquisa foi avaliar o desempenho térmico em salas de aula de um Instituto de Educação localizado nesse tipo de clima, analisando o impacto de diferentes configurações das aberturas das janelas, portas e taxas de ocupação dos espaços. A metodologia adotada incluiu monitoramento da temperatura do ar e da umidade relativa do ar, e o uso de simulações computacionais no software DesignBuilder. Para calcular o desconforto térmico entre os grupos simulados, aplicou-se o modelo adaptativo da American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE 55), que considera fatores climáticos locais e adaptações fisiológicas dos ocupantes. Os resultados demonstraram que a proporção de área de janela em relação ao piso é o fator que mais contribui para a melhoria do conforto térmico, especialmente quando associada a uma ventilação natural cruzada com portas posicionadas em corredores abertos. Além disso, verificou-se que o aumento da taxa de ocupação eleva o desconforto causado pelo calor, impactando a qualidade do ambiente educacional. Portanto, o estudo da eficiência e design das configurações de aberturas é essencial no planejamento de edificações escolares, assegurando espaços de ensino mais saudáveis, confortáveis e propícios ao aprendizado.

Palavras-chave: Desempenho térmico. Ventilação natural. Janelas. Simulação computacional.

Abstract

Thermal discomfort in classrooms negatively affects students' learning, well-being, and development, compromising their academic performance and ability to concentrate. In hot and humid tropical climates, as found in several regions of Brazil, thermal discomfort is a relevant issue for school environments, as the lack of comfort can reduce productivity and cause feelings of fatigue. The objective of this research was to assess thermal performance in the classrooms of an educational institute located in this type of climate, analyzing the impact of different configurations of window and door openings and space occupancy rates. The adopted methodology included monitoring of air temperature and relative humidity, as well as the use of computational simulations in the DesignBuilder software. To calculate thermal discomfort among the simulated groups, the adaptive model of the American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE 55) was applied, which considers local climatic factors and physiological adaptations of the occupants. The results showed that the proportion of window area relative to floor space is the factor that most contributes to improving thermal comfort, especially when associated with cross natural ventilation with doors positioned in open corridors. Additionally, it was found that increasing the occupancy rate raises heat discomfort, impacting the quality of the educational environment. Therefore, studying the efficiency and design of opening configurations is essential in the planning of school buildings, ensuring healthier, more comfortable spaces conducive to learning.

Keywords: Thermal performance. Natural ventilation. Windows. Computer simulation.

Resumen

El malestar térmico en las aulas afecta negativamente al aprendizaje, el bienestar y el desarrollo de los estudiantes, comprometiendo el rendimiento académico y la capacidad de concentración de los estudiantes. En climas tropicales cálidos y húmedos, como ocurre en varias regiones brasileñas, el malestar térmico es un tema relevante para los ambientes escolares, ya que la falta de confort puede reducir la productividad y generar sensación de fatiga. El objetivo de esta investigación fue evaluar el desempeño térmico en aulas de un Instituto Educativo ubicado en este tipo de clima, analizando el impacto de diferentes configuraciones de aberturas de ventanas, puertas y tasas de ocupación de espacios. La metodología adoptada incluyó el monitoreo de la temperatura del aire y la humedad relativa, y el uso de simulaciones por computadora en el software DesignBuilder. Para calcular el malestar térmico entre los grupos simulados se aplicó el modelo adaptativo de la Sociedad Estadounidense de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE 55), que considera factores climáticos locales y adaptaciones fisiológicas de los ocupantes. Los resultados demostraron que la proporción del área de ventanas con relación al piso es el factor que más contribuye a mejorar el confort térmico, especialmente cuando se asocia con ventilación cruzada natural con puertas ubicadas en pasillos abiertos. Además, se encontró que el aumento en la tasa de ocupación aumenta el malestar causado por el calor, impactando la calidad del ambiente educativo. Por tanto, el estudio de la eficiencia y el diseño de las configuraciones de apertura es fundamental en la planificación de los edificios escolares, garantizando espacios de enseñanza más saludables, cómodos y propicios para el aprendizaje.

Palabras clave: Rendimiento térmico. Ventilación natural. Ventanas. Simulación por ordenador.

Introdução

Os impactos que a arquitetura escolar brasileira tem no usuário e no processo de ensino aprendizagem tem sido discutido desde os anos de 1930 quando o educador Anísio Teixeira defendeu que a qualidade das condições materiais e físicas da construção do edifício escolar eram fundamentais e indispensáveis para o trabalho educativo (DÓREA, 2003). Diante deste cenário, já se sabe que ambientes ruidosos, com baixa iluminação ou que geram desconforto térmico são responsáveis pelo desvio de atenção, baixa cognição e produtividade na maior parte dos estudantes (Kowaltowski, 2011).

Em áreas tropicais quentes, como o Brasil, para evitar, portanto, o estresse térmico, é prática comum os prédios escolares, principalmente privados, dependerem de sistemas mecânicos, como o uso de ar-condicionado, aumentando na maior parte das vezes o consumo de energia elétrica. Desta forma a adaptação das construções ao clima é defendida pelos preceitos da arquitetura bioclimática, que prioriza os aspectos relacionados ao conforto ambiental coerentes com o potencial do ambiente, sendo nos trópicos priorizados os aspectos relacionados ao conforto térmico (Corbella; Magalhães, 2008). A NBR 15220 estabelece o zoneamento bioclimático brasileiro e recomenda diretrizes construtivas para cada zona (ABNT, 2005); já o conjunto da NBR 15575 determina requisitos de desempenho mínimos para os sistemas de vedações verticais e horizontais das edificações residenciais (ABNT, 2021). Além das normas mencionadas, ressalta-se ainda a American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers - ASHRAE 55 que aborda a temática do conforto adaptativo no interior das edificações para a ocupação humana, levando em conta o meio externo e a adaptabilidade do usuário.

A grande carga de radiação solar e o alto teor de umidade do clima tropical quente e úmido, pressupõe a adoção, como premissas básicas de projeto, de estratégias de conforto térmico como o sombreamento, ventilação e especificação de materiais com baixo índice de propagação térmica. Dentre estas, a tipologia, o tamanho e a usabilidade da abertura têm influência direta no escoamento do vento no interior do ambiente que, por convecção, contribui para um ambiente confortável (Cândido et al., 2010).

Prakash e Ravikumar (2015) identificaram um conjunto de estratégias para localizar aberturas de janelas em paredes adjacentes, diminuindo a temperatura em 50%. A este respeito, Hassan, Guirguis, Shaalan e El-Shazly (2007) investigaram os efeitos no conforto térmico da localização e tamanho das aberturas. Os resultados mostraram uma maior intensidade do fluxo do ar interno quando duas aberturas foram posicionadas opostas ou perpendiculares uma à outra. Outro fato importante sobre a melhoria do fluxo de ar interno é respeitar diferentes proporções de tamanho e elevações das aberturas de entrada e saída do ar, uma vez que essas proporções impactam no escoamento aéreo (Seifert et al., 2006). Stavrakakis, Zervas, Sarimveis e Markatos (2012) estudaram a otimização do projeto de aberturas de janelas para conforto térmico em edifícios naturalmente ventilados. Favarolo e Manz (2005) afirmaram que a posição vertical da abertura, ou seja, a diferença de altura entre a posição inferior e superior de uma janela, por exemplo, é o parâmetro de maior impacto na velocidade do ar interior; em contraste, a distância horizontal da abertura da parede e a área de abertura são de menor impacto na velocidade do ar interior.

Nesse contexto, é possível destacar a janela como um elemento arquitetônico chave para elevar o conforto no interior do ambiente. A janela pode ser utilizada de forma

Influência das aberturas de portas e janelas no desempenho térmico em sala de aulas: estudo de caso no Instituto Federal de Educação do ES (IFES)

Influence of door and window openings on thermal performance in the classroom: a case study at the Federal Institute of Education of ES (IFES)
Influencia de las aberturas de puertas y ventanas en el rendimiento térmico en las aulas: estudio de caso en el Instituto Federal de Educación de ES (IFES)

muito versátil, considerando seus diversos tamanhos, tipos, materiais, localizações e funcionalidades, sendo um dos principais meios para direcionar a ventilação e iluminação natural ao ambiente e podendo impedir a incidência solar indesejada com a adição de dispositivos de sombreamento. No entanto, para que a janela possa oferecer significativa eficiência, é fundamental que ela seja escolhida a partir de estudos preliminares da região, como frequência, velocidade e direção dos ventos dominantes, trajetória solar, entre outras avaliações técnicas (Nico-rodrigues et al., 2015).

Nesse contexto, existem diversas propostas na literatura de estratégias de ventilação natural para melhorar o conforto térmico em edificações, com relação ao tamanho e localização das aberturas. Entretanto, a maior parte dos trabalhos considera seus resultados por meio de estudos com aberturas hipotéticas, geralmente modelos geométricos simplórios – sem constar, por exemplo, o desenho real da esquadria, e, portanto, distantes da realidade construtiva de um edifício. Adicionalmente, outro elemento de abertura importante em uma edificação, mas menos investigado, são os padrões de abertura das portas. A investigação de Hayati, Mattsson e Sandberg (2017) mostrou que a ventilação unilateral através de portas e janelas abertas pode ser um método de ventilação com menor custo, além disso, os autores encontraram em seus resultados o aumento de cerca de 50% da taxa de troca de ar no ambiente com uma hora de ventilação de porta aberta no edifício investigado.

Em se tratando de salas de aula brasileiras, outro fator que pode ser estratégico no conforto térmico é a densidade ocupacional do ambiente uma vez que os seres humanos são fontes de calor para o ambiente. Vázquez-torres, Beizae e Bienvenido-huertas (2022) apontaram uma redução da temperatura interna de 0,9 °C no verão e o aumento de 1,9 °C no inverno, com o aumento dos níveis de ocupação em um edifício religioso localizado em clima temperado úmido. Escolas no geral, se caracterizam pela possibilidade de manter altos níveis de ocupação por longos períodos do dia. A média de alunos por professor varia consideravelmente no mundo, sendo de aproximadamente 30 em países como Brasil, Colômbia, República Dominicana e México, e podendo ser de apenas 10 alunos por professor na Grécia, Malta, Bélgica, Polônia, entre outros (OECD, 2019).

De acordo com dados do INEP – Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (2019), a média de alunos por turma da educação básica é de 29,6 estudantes por turma no Brasil, e de 30,2 estudantes por turma, se consideradas apenas as escolas urbanas. Já no Estado do Espírito Santo e no Município de Vitória, os valores são 30,7 e 32,3, respectivamente. Estes dados são do Parecer CNE/CEB nº 8/2010, do Conselho Nacional de Educação (BRASIL, 2010) que define os padrões mínimos de qualidade de ensino para a Educação Básica na esfera pública. Esse documento indica, para o ensino médio, entre outros fatores, a quantidade de até 30 alunos por professor e uma densidade ocupacional mínima de 1,50 m²/pessoa como uma relação adequada para o processo de ensino e aprendizagem. Em adição, a Lei Federal nº 13005/2014 (BRASIL, 2014), denominada Plano Nacional de Educação (PNE), estabelece em sua meta 7 a busca pela qualidade da educação básica preconizando a colaboração entre a União e os entes federados na elaboração de parâmetros mínimos, inclusive para a infraestrutura das escolas.

As aberturas das edificações e o número de ocupantes em um espaço tornou-se ainda mais evidente durante a pandemia do COVID-19, iniciada no final de 2019, em que ambientes educacionais naturalmente ventilados e com uma redução do número usual de estudantes tiveram eficácia maior na qualidade do ar por meio da ação

Influência das aberturas de portas e janelas no desempenho térmico em sala de aulas: estudo de caso no Instituto Federal de Educação do ES (IFES)

Influence of door and window openings on thermal performance in the classroom: a case study at the Federal Institute of Education of ES (IFES)
Influencia de las aberturas de puertas y ventanas en el rendimiento térmico en las aulas: estudio de caso en el Instituto Federal de Educación de ES (IFES)

do vento (Lovec; Premrov; Leskovar, 2021), destacando a importância da articulação desses estudos não só diante da temática do conforto ambiental, mas, também, de ambientes mais saudáveis.

De forma a contribuir com o tema, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho térmico em salas de aula sob diferentes padrões de aberturas e ocupação no Instituto Federal de Educação (IFES), localizado em Vitória, ES. O resultado desse estudo pode ainda auxiliar projetistas, na tomada de decisões fundamentais na concepção dos ambientes educacionais visando melhor conforto térmico, eficiência energética e ensino-aprendizagem.

Metodologia

Para se atingir o objetivo do trabalho, estabeleceu-se as seguintes etapas metodológicas: a) monitoramento dos parâmetros ambientais (temperatura do ar, umidade relativa do ar) em uma sala de aula, sem ocupação, no Instituto Federal de Educação do ES sob diferentes padrões de abertura das janelas com intuito principal de calibração e validação do modelo; b) simulações computacionais de desempenho térmico para três salas de aula do edifício escolar em questão, variando os padrões de aberturas das janelas, das portas e a densidade ocupacional e c) utilização do modelo adaptativo da American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers - ASHRAE 55 para cálculo do desconforto térmico entre os grupos simulados.

Monitoramento de Campo

O Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo - IFES é uma instituição de ensino público referência para a sociedade capixaba que teve seu início em 1909, e completou, em 2021, 112 anos de existência. Sua estrutura conta com 22 campi e 49 polos de apoio à educação a distância, espalhados em vários municípios do estado. Oferta cerca de 60 cursos de graduação, 10 pós-graduações lato sensu e 11 mestrados. Abrange também cerca de 100 cursos técnicos em modalidades integradas, ensino de jovens e adultos (EJA) e técnicos pós-médio, totalizando aproximadamente 36.000 alunos/ano (IFES, 2020).

Para este estudo, selecionou-se o Campus Vitória do IFES, localizado no bairro Jucutuquara, na capital do estado – Vitória, às margens de uma das vias arteriais de maior importância no município [FIGURA 1]. Vitória, localiza-se na Região Sudeste do país (Latitude 20°19'10" Sul e Longitude 40° 20' 17" Oeste) e é caracterizada por um clima tropical, com temperatura média mensal entre 21 °C e 26 °C, com as maiores temperaturas no período de verão, e umidade relativa do ar média mensal acima de 70%. A amplitude térmica média fica entre 22,4 °C (junho) e 27,4 °C (fevereiro). Os ventos predominantes no município são no quadrante norte-nordeste, com velocidades de até aproximadamente 6 m/s na primavera e 7 m/s no verão. A ocorrência de chuvas se concentra, principalmente, entre os meses de outubro e janeiro, sendo que o município está entre as duas capitais brasileiras com menores índices de precipitação pluviométrica ao ano (1.252 mm/ano) (INMET, 2021).

Influência das aberturas de portas e janelas no desempenho térmico em sala de aulas: estudo de caso no Instituto Federal de Educação do ES (IFES)

Influence of door and window openings on thermal performance in the classroom: a case study at the Federal Institute of Education of ES (IFES)
 Influencia de las aberturas de puertas y ventanas en el rendimiento térmico en las aulas: estudio de caso en el Instituto Federal de Educación de ES (IFES)



FIGURA 1 – (a) Localização do Ifes na Região Metropolitana da Grande Vitória, (b) Vista aérea e (c) Fachada de acesso do Instituto, (d) Localização dos ambientes selecionados para estudo, (e) Sala de aula H4, (f) Sala de aula C5 e (g) Sala de aula E5..

Fonte: Autores.

O monitoramento de campo deu-se entre os dias 09 e 17 de agosto de 2021, durante o período da pandemia do COVID-19, na sala de aula H4 e no ponto externo imediato do Instituto Federal de Educação do ES. As salas estavam desocupadas, a porta da sala manteve-se aberta, ventiladores e ar-condicionado estavam desligados e foram realizados os monitoramentos de temperatura do ar e umidade relativa do ar, alternando semanalmente o padrão de abertura de cada sala de aula (Janela 100% aberta, Janela 50% aberta e Janelas Fechadas). Os registros foram adquiridos simultaneamente minuto a minuto, utilizando dois termo-higrômetros – um no ponto externo e outro na sala H4; das 07 às 18 h, de segunda a sexta-feira, durante o período da campanha experimental. O equipamento foi posicionado a 0,75 m do chão, o que corresponde à altura da mesa de uma sala de aula e devidamente protegido seguindo as recomendações da ISO 7726 (ISO, 1998).

Simulação Computacional

Para construção da modelagem, configuração e simulação do desempenho térmico do modelo estudado, foi utilizado o software DesignBuilder versão 6.1.0.006 (DESIGNBUILDER, 2019). A escolha do software se deu por possuir interface gráfica que facilita o entendimento e por já ter sido utilizado em outros estudos científicos, inclusive por pesquisadores capixabas, facilitando assim a sua aprendizagem e uso efetivo (Nico-rodrigues et al., 2015). O arquivo climático validado usado foi o ano meteorológico típico (TMY) com extensão EnergyPlus Weather (EPW) (LABEEE, 2019), que corresponde à média mensal das condições meteorológicas da cidade de Vitória de 2004 a 2018.

O modelo foi configurado de acordo com as dimensões do projeto original, os materiais de construção, as propriedades físicas e térmicas do ambiente [FIGURA 2]. As simulações foram realizadas para as salas de aula H4, C5 e E5. Mesmo em se tratando de uma instituição educacional, onde uma parte dos cursos estão de férias em janeiro, optou-se pela escolha do período do verão para simulação. Uma vez que o objetivo do artigo é entender a influência das aberturas nos resultados, este período de estudo é significativo, pois é considerado o mais crítico e de interesse nos estudos de desempenho térmico no ambiente construído, em regiões de clima tropical quente e úmido, [FIGURA 3].

Influência das aberturas de portas e janelas no desempenho térmico em sala de aulas: estudo de caso no Instituto Federal de Educação do ES (IFES)

Influence of door and window openings on thermal performance in the classroom: a case study at the Federal Institute of Education of ES (IFES)

Influencia de las aberturas de puertas y ventanas en el rendimiento térmico en las aulas: estudio de caso en el Instituto Federal de Educación de ES (IFES)

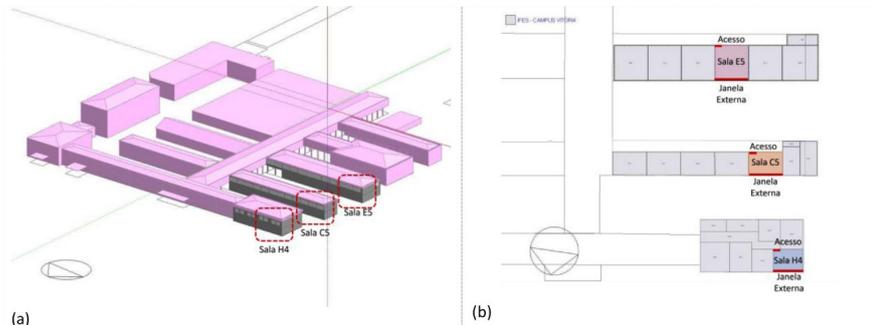


FIGURA 2 – (a) Modelo 3D da edificação com destaque para as salas de aula simuladas. (b) salas de aula simuladas.

Fonte: Autores.

FIGURA 3 – Características construtivas das salas de aula simuladas.

Fonte: Autores.

Sala	Área de piso (m²)	Volume interno (m³)	Nº janelas	Área nominal de janela	Orientação das janelas	Nº de portas / dimensões (m)	Funcionamento das janelas / nº folhas
H4	47,95	150,08	02	6,40 m²	S/SE	01 / 0,80 x 2,10	Correr / 4
C5	53,99	183,57	02	14,76 m²	S/SE	01 / 0,95 x 2,10	Maxim-ar /10
E5	86,00	292,40	02	14,76 m²	S/SE	01 / 0,98 x 2,10	Maxim-ar /10

Os materiais de cobertura, esquadrias e acabamentos foram configurados de acordo com os materiais levantados in loco e utilizando as propriedades térmicas estabelecidas na NBR 15220 (ABNT, 2005). As características dos usuários, tipo de atividade, tempo de uso e permanência foram determinados de acordo com o uso e ocupação do edifício escolar do IFES [FIGURA 4].

Envoltória	
Paredes (0,15 m de espessura): tijolos com 8 furos quadrados (9 x 19 x 19) cm, emboço de 0,030 m	
Densidade de massa aparente do bloco cerâmico	1.600 kg/m³
Condutividade térmica do bloco cerâmico	0,90 W/(m.K)
Calor específico do bloco cerâmico	0,92 kJ/(kg.K)
Densidade de massa aparente da argamassa comum do emboço	2.000 kg/m³
Condutividade térmica da argamassa comum do emboço	1,15 W/(m.K)
Calor específico da argamassa comum do emboço	1,00 kJ/(kg.K)
Emissividade das paredes e piso (ε)	0,90
Absortância (α) das paredes e piso (α)	0,30
Cobertura (laje pré-moldada maciça de 0,1 m de espessura + telha de fibrocimento)	
Densidade de massa aparente do concreto	2.200 kg/m³
Condutividade térmica do concreto	1,75 W/(m.K)
Calor específico do concreto	1,00 kJ/(kg.K)
Densidade de massa aparente da telha de fibrocimento	1.900 kg/m³
Condutividade térmica da telha de fibrocimento	0,95 W/(m.K)
Calor específico da telha de fibrocimento	0,84 kJ/(kg.K)
Vidro fumê das janelas (0,006 m de espessura)	
Transmitância térmica do vidro fumê	5,78 W/(m .K)
Moldura das janelas em alumínio	
Transmitância térmica do alumínio	5,88 W/(m .K)
Ambientes e Usuários	
Vestimenta	verão: 0,50 clo
Taxa metabólica referente aos alunos - atividade sedentária	123,0 W/pessoa
Área da sala de aula (H4)	47,95 m²
Iluminação artificial (H4)	5 W/m
Total de ocupantes sala (H4)	30 pessoas
Densidade de ocupação (H4)	0,63 pessoa/m²
Janelas consideradas abertas (H4)	7h00 às 17h00
Portas consideradas abertas (H4)	7h00 às 17h00
Área da sala de aula (C5)	53,99 m²
Iluminação artificial (C5)	4,44 W/m
Total de ocupantes sala (C5)	30 pessoas
Densidade de ocupação (C5)	0,56 pessoa/m²
Janelas consideradas abertas (C5)	7h00 às 17h00
Portas consideradas abertas (C5)	7h00 às 17h00
Área da sala de aula (E5)	86,17 m²
Iluminação artificial (E5)	3,71 W/m
Total de ocupantes sala (E5)	30 pessoas
Densidade de ocupação (E5)	0,35 pessoa/m²
Janelas consideradas abertas (E5)	7h00 às 17h00
Portas consideradas abertas (E5)	7h00 às 17h00

FIGURA 4 – Parâmetros gerais para a configuração das simulações.

Fonte: Adaptado da NBR 15220 (ABNT, 2005)

Influência das aberturas de portas e janelas no desempenho térmico em sala de aulas: estudo de caso no Instituto Federal de Educação do ES (IFES)

Influence of door and window openings on thermal performance in the classroom: a case study at the Federal Institute of Education of ES (IFES)
Influencia de las aberturas de puertas y ventanas en el rendimiento térmico en las aulas: estudio de caso en el Instituto Federal de Educación de ES (IFES)

A sala H4 possui duas janelas de correr compostas por vidro e caixilharia de alumínio. Nas salas C5 e E5, o modelo das janelas (duas em cada sala) é o Maxim-Ar, também composto por vidro e caixilharia de alumínio [FIGURA 5]. As portas de todas as salas estudadas são de madeira e não possuem aberturas para permitir a ventilação natural quando estão fechadas. Com o objetivo de analisar a influência do padrão de abertura das janelas e portas e da densidade de ocupação no desempenho térmico do ambiente, foram realizados três tipos de simulação para cada sala de aula: a) variando o padrão de abertura das janelas (100%, 50% e 0% de abertura), b) variando o padrão de abertura da porta de acesso a sala de aula (100%; 0% abertura) e c) variando o número de ocupantes (100% e 50% da ocupação). Ao todo, foram realizadas 108 simulações.

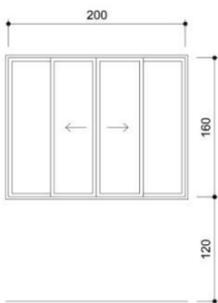
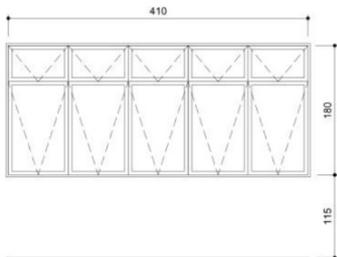
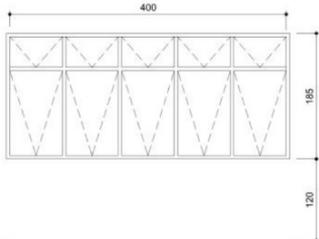
Janela Padrão (sala H4)	Janela Maxim-Ar (sala C5)	Janela Maxim-Air (sala E5)
		
Largura da janela = 2,00 m Altura da janela = 1,60 m Peitoril da janela = 1,20 m Área da janela = 3,20 m ² Possibilidade de abertura da janela = 50% do vão Área de ventilação natural = 1,60 m ²	Largura da janela = 4,10 m Altura da janela = 1,80 m Peitoril da janela = 1,15 m Área da janela = 7,38 m ² Possibilidade de abertura da janela = 30% do vão Área de ventilação natural = 2,21 m ²	Largura da janela = 4,00 m Altura da janela = 1,85 m Peitoril da janela = 1,20 m Área da janela = 7,40 m ² Possibilidade de abertura da janela = 30% do vão Área de ventilação natural = 2,22 m ²

FIGURA 5 – Modelos de aberturas de janela das salas de aula estudadas.

Fonte: Autores.

Após todas as configurações, o modelo foi calibrado e validado utilizando o método de Ruiz e Bandera (2017) que compara os resultados da simulação com os parâmetros ambientais monitorados considerando o mesmo período e a mesma configuração das condições da sala de aula – orientação, horários, padrões de aberturas. A calibração visa obter um modelo que possa reproduzir o objeto de estudo da forma mais confiável, reduzindo assim a possibilidade de dados de saída inconsistentes com a realidade. Para calcular o índice de incerteza entre os valores registrados e simulados neste trabalho, foram considerados as medições realizadas entre 09/08/21 e 17/08/21. Posteriormente, foram adotados os métodos matemáticos Normalized Mean Bias Error (NMBE) e coeficiente de variação do Root-Mean Square Error (CVRMSE), que se encontram entre os mais utilizados para avaliar o grau de incerteza dos resultados (Saleh, 2015). O NMBE é usado para normalizar o índice do erro de polarização média (MBE), representando a média dos erros existentes em uma amostra de dados. O NMBE dimensiona os dados gerados pelo MBE, tornando-os comparáveis. O CVRMSE é responsável por medir a variação dos erros obtidos na comparação de dados medidos e simulados (Ruiz; Bandera, 2017). Os índices NMBE e CVRMSE são obtidos por meio de equações matemáticas que relacionam os dados simulados e os dados registrados in loco, dados, respectivamente, pelas Equações 1 e 2 [FIGURA 6].

Influência das aberturas de portas e janelas no desempenho térmico em sala de aulas: estudo de caso no Instituto Federal de Educação do ES (IFES)

Influence of door and window openings on thermal performance in the classroom: a case study at the Federal Institute of Education of ES (IFES)
 Influencia de las aberturas de puertas y ventanas en el rendimiento térmico en las aulas: estudio de caso en el Instituto Federal de Educación de ES (IFES)

FIGURA 6 – Equações matemáticas utilizadas.

Fonte: Autores.

$$NMBE = \frac{1}{m} \frac{\sum_{i=1}^n (m_i - s_i)}{n - p} 100(\%) \tag{1}$$

$$CV(RMSE) = \frac{1}{m} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_i - s_i)^2}{n - p}} 100(\%) \tag{2}$$

Onde m é dado pela média dos valores medidos, p representa a quantidade de parâmetros ajustáveis do modelo (para fins de calibração p = 0), mi corresponde aos valores medidos in loco, si corresponde aos valores simulados e n é a quantidade de dados a serem comparados. Para a verificação adequada do modelo, recomenda-se que o NMBE e o CVRMSE sejam testados e observados em conjunto, a fim de evitar erros (Haberl; Culp e Claridge, 2005). Para que o modelo seja considerado calibrado, os resultados obtidos pelas Equações 1 e 2 devem estar na faixa de incerteza descrita abaixo [FIGURA 7].

FIGURA 7 – Faixa de incerteza associada com o NMBE e CVRMSE.

Fonte: Adaptado de Haberl, Culp e Claridge (2005).

Variáveis	Método	Faixa de incerteza ashrae 14:2002
Médias mensais	NMBE CVRMSE	± 5
		0 to 15
Médias horárias	NMBE CVRMSE	± 10
		0 to 30

O estudo em questão utilizou o método de cálculo das médias horárias de temperatura do ar para o cálculo dos índices de incerteza, relacionando os resultados do monitoramento de campo e da simulação numérica [FIGURA 8]. Ressalta-se que os resultados se encontram dentro da faixa recomendada por Haberl, Culp e Claridge (2005), tanto para o NMBE quanto para o CVRMSE, considerando o modelo portanto adequado

FIGURA 8 – Índice de incerteza calculado para o NMBE e CVRMSE.

Fonte: Autores.

MÉTODO		NMBE	CVRMSE	SITUAÇÃO
Método	Médias horárias - Período de monitoramento 09/08/21 a 17/08/21	-1,917	2,751	Atendido

O desconforto térmico foi analisado utilizando os dados de temperatura operativa simulados no período de verão para as respectivas salas de estudo, comparados ao modelo adaptativo da American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers - ASHRAE 55, considerando 90% de aceitabilidade, que aborda a temática do conforto adaptativo no interior das edificações para a ocupação humana (ASHRAE STANDARD, 2017). A escolha do percentual de aceitabilidade do usuário de 90% reforça a preocupação com a concepção projetual das edificações atuais e de seus componentes, sendo essa a condição de conforto indicada para a obtenção de um padrão mais elevado de conforto térmico pela própria normativa. Os resultados foram apresentados comparando cada configuração de abertura e padrão de ocupação estudado.

Resultados e Discussão

Os gráficos a seguir apresentam os resultados do percentual de horas em conforto (POC), desconforto por frio e desconforto por calor no total de horas ocupadas durante o período do verão para cada arranjo: janela aberta (100% de abertura)/parcial (50%

Influência das aberturas de portas e janelas no desempenho térmico em sala de aulas: estudo de caso no Instituto Federal de Educação do ES (IFES)

Influence of door and window openings on thermal performance in the classroom: a case study at the Federal Institute of Education of ES (IFES)

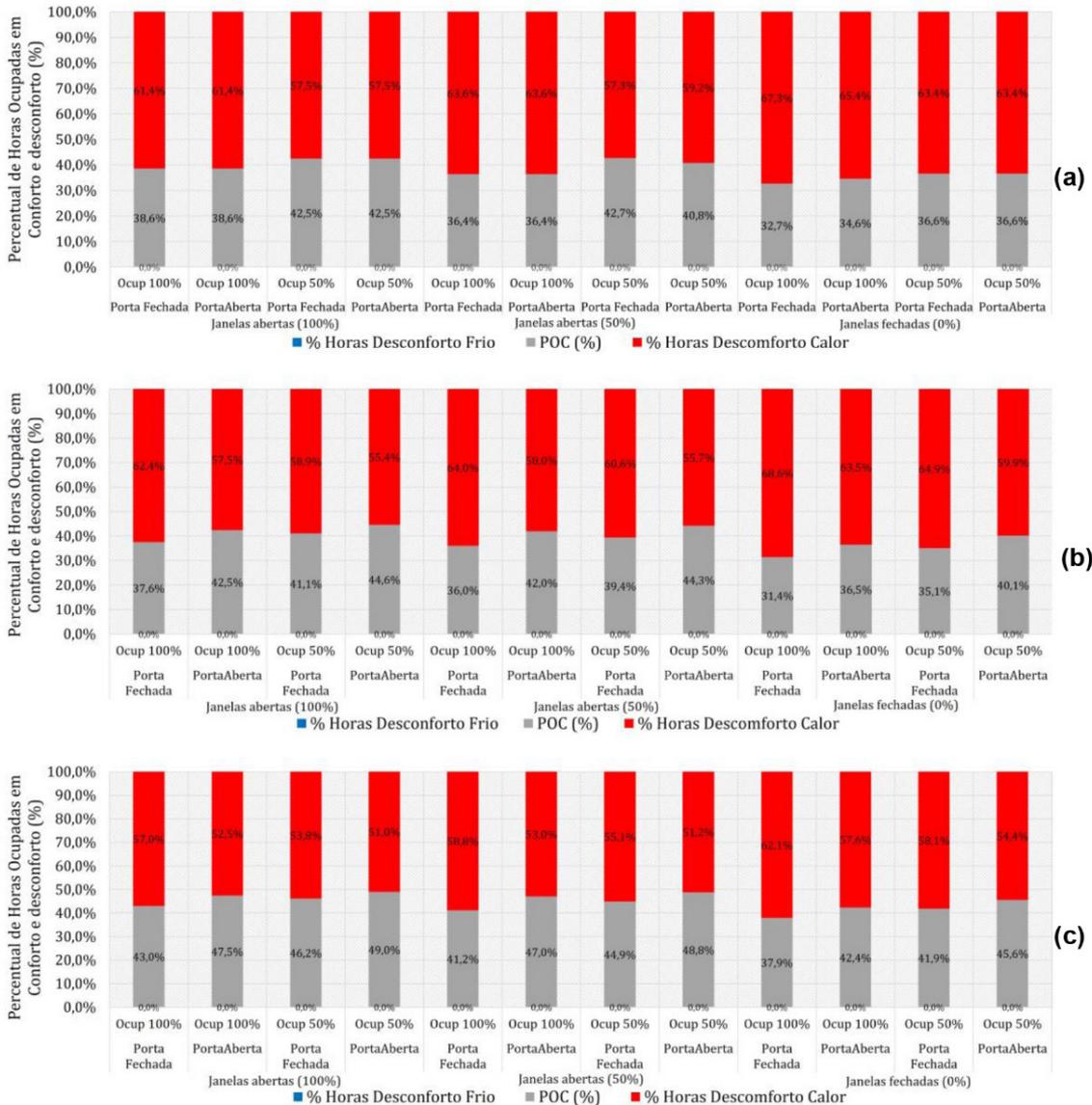
Influencia de las aperturas de puertas y ventanas en el rendimiento térmico en las aulas: estudio de caso en el Instituto Federal de Educación de ES (IFES)

de abertura)/fechada (0% de abertura); porta aberta (100% abertura) e porta fechada (0% de abertura); e ocupação (100% de ocupação e 50% de ocupação) em cada sala simulada [FIGURA 9].

De fato, a janela e o padrão de abertura é o principal fator de influência nos resultados de conforto térmico. O desconforto por calor aumenta a medida que a área do padrão de abertura diminui. A sala H4, por exemplo, apresenta 61,4% de desconforto por calor quando as janelas estão totalmente abertas, 100% da ocupação e portas fechadas e 63,6% e 67,3% de desconforto por calor quando as janelas estão abertas parcialmente e fechadas, respectivamente, sob as mesmas condições. Esses dados nos mostram que a abertura das janelas pode proporcionar vantagens na redução do desconforto térmico, permitindo a circulação de ar fresco e a dissipação do calor acumulado no ambiente. Isso pode ajudar a equilibrar a temperatura interna e melhorar a sensação de conforto, especialmente em dias quentes.

FIGURA 9 – Percentual de horas simuladas em conforto (POC), desconforto por frio e desconforto por calor no total de horas ocupadas durante o período do verão para cada arranjo de janela, porta e ocupação nas salas (a) H4, (b) C5 e (c) E5.

Fonte: Autores.



Influência das aberturas de portas e janelas no desempenho térmico em sala de aulas: estudo de caso no Instituto Federal de Educação do ES (IFES)

Influence of door and window openings on thermal performance in the classroom: a case study at the Federal Institute of Education of ES (IFES)
Influencia de las aberturas de puertas y ventanas en el rendimiento térmico en las aulas: estudio de caso en el Instituto Federal de Educación de ES (IFES)

A salas C5 e E5 apresentam um percentual de desconforto por calor menor, em todas os arranjos simulados, quando as portas das salas de aula estão abertas do que quando as portas estão fechadas, o que reforça a importância deste elemento como estratégia passiva no conforto térmico do espaço. Essas salas apresentam, ainda, além das janelas externas, portas de entrada voltadas para corredores abertos por peitoris no edifício escolar. Sendo assim, observa-se que mais importante do que só a abertura da janela ou só a abertura da porta, é a associação entre as duas, provavelmente devido ao efeito da ventilação cruzada entre a abertura de entrada e saída do ar.

A sala H4, ao contrário destas, não apresenta sua porta de entrada voltada para uma circulação aberta, uma vez que, neste setor, o corredor está entre um bloco de salas de aula, não permitindo, portanto, uma ventilação cruzada eficiente. Pode-se verificar que este tipo de layout impacta nos resultados. O percentual de desconforto por calor considerando as janelas totalmente abertas e 100% de ocupação para a sala H4 é 61,4% com as portas abertas ou fechadas. Ou seja, para esta sala, o ato de abrir ou fechar as portas, não altera a influência maior da abertura total da janelas. Entretanto, ao se reduzir a entrada de ar na H4, com a abertura de 50% ou 0% da janela, o efeito da porta no conforto térmico impacta positivamente.

A taxa de ocupação das salas também influenciou nos resultados, ou seja, o desconforto por calor foi maior nas simulações considerando 100% da ocupação em relação as simulações com 50% da ocupação. A sala H4, por exemplo, apresentou 61,4% de desconforto por calor com 100% de ocupação, e 57,5% de desconforto por calor com 50% de ocupação, considerando as janelas totalmente abertas e as portas fechadas. Esse resultado reforça a importância em limitar o número adequado de estudantes no espaço educacional visando uma melhor aprendizagem.

Portanto, tem-se uma melhora significativa no nível de conforto térmico quando as janelas estão totalmente abertas, entretanto, esses dados também revelam que o número de pessoas presentes, suas atividades e a geração de calor produzidos pelos seus corpos, também devem ser levados em consideração, desempenhando um papel crucial na qualidade do ambiente, visto que uma sala com muitas pessoas em atividade, mesmo as atividades sedentárias, como as de estudo, podem contribuir para o desconforto por calor na ausência de climatização e ventilação adequada. A taxa metabólica das pessoas afeta a quantidade de calor que seus corpos produzem. Logo, quanto mais pessoas estiverem presentes em uma sala, maior será a carga térmica total devido ao calor gerado pelos corpos humanos em atividade. Isso pode aumentar a temperatura interna e levar a uma sensação de calor excessivo, especialmente em espaços mal ventilados.

Observa-se que a sala E5 possui maior frequência de horas ocupadas em conforto em comparação as outras salas simuladas, considerando todos os arranjos de janelas, portas e ocupação estudados. Tal fato pode ser atribuído a sua maior área de janela em relação a área de piso, possibilitando maior entrada de ar e, conseqüentemente, maior conforto térmico. A maior quantidade de horas em conforto simuladas (49%) foi encontrada para o arranjo da sala E5, considerando janelas com 100% de abertura, portas abertas e 50% da ocupação. Esta porcentagem de horas de conforto pode ainda estar abaixo da quantidade de horas suficiente para o bem-estar e desempenho das atividades.

As simulações acima consideraram a sala de aula sem a presença de computadores, como é o usual, verificado no dia a dia da escola, uma vez que se trata de um Instituto em que muitos alunos não possuem laptops e utilizam salas específicas de informática para realização das tarefas digitais. A figura [FIGURA 10] indica os

Influência das aberturas de portas e janelas no desempenho térmico em sala de aulas: estudo de caso no Instituto Federal de Educação do ES (IFES)

Influence of door and window openings on thermal performance in the classroom: a case study at the Federal Institute of Education of ES (IFES)
 Influencia de las aberturas de puertas y ventanas en el rendimiento térmico en las aulas: estudio de caso en el Instituto Federal de Educación de ES (IFES)

resultados do percentual de horas em conforto e desconforto para a simulação da sala E5, que apresentou o melhor desempenho entre as salas estudadas, considerando a presença de computadores na mesma.

Observa-se que o desconforto por calor aumenta significativamente considerando a presença dos equipamentos, já que máquinas dissipam calor para o ambiente. O melhor desempenho térmico encontrado pela sala E5 com uma quantidade de horas em conforto simulada de 49% - considerando o arranjo de janelas com 100% de abertura, portas abertas e 50% da ocupação; diminui para 19,2% alterando apenas a presença dos computadores. Quanto mais equipamentos estiverem ligados e operando, maior será a carga térmica adicionada ao local, aumentando a temperatura interna. Esse é um fato importante a ser considerado no projeto dos espaços escolares, pois, com o aumento do uso de sistemas digitais na educação, a tendência é a presença cada vez maior destes equipamentos no ambiente, impactando no conforto térmico ou no aumento do consumo energético pelo uso de sistemas de climatização artificiais.

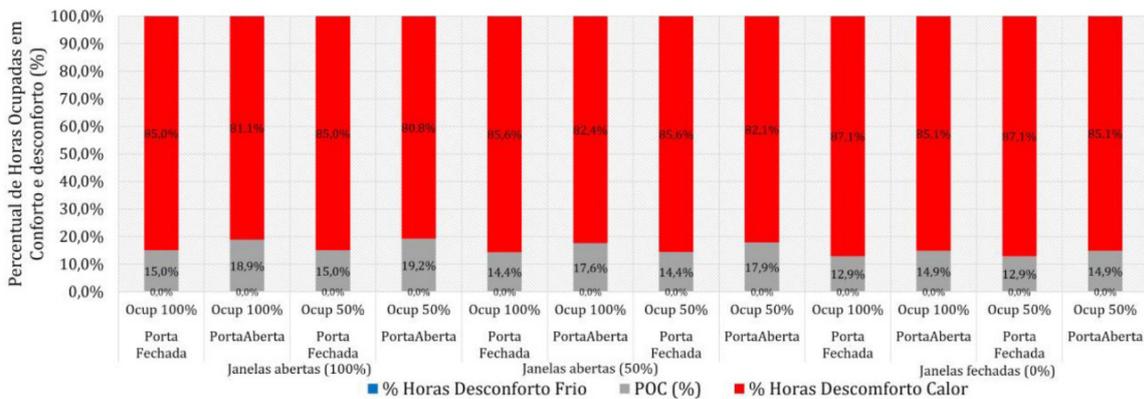


FIGURA 10 – Percentual de horas simuladas em conforto (POC), desconforto por frio e desconforto por calor no total de horas ocupadas durante o período do verão para cada arranjo de janela, porta e ocupação nas salas E5 considerando a presença de computadores.

Fonte: Autores.

A figura [11] mostra os cenários das médias horárias de (a) temperatura do ar e (b) umidade relativa do ar, monitoradas em dois pontos na campanha experimental: no ponto externo ao Instituto e na sala H4. Os registros são distribuídos de acordo com os padrões das aberturas das janelas na sala H4. Mesmo realizando o monitoramento no período do inverno, observa-se que os maiores valores de temperatura do ar são registrados entre 11 e 16 h para todos os dias de monitoramento, evidenciando uma preocupação maior com o desconforto por calor em tais períodos do dia. A máxima média horária de temperatura do ar registrada foi de 24,9 °C às 11 h com a janela fechada. A umidade relativa do ar tende a diminuir nos horários de maior temperatura, entre 11 e 15 h, em todas os pontos de monitoramento. As temperaturas médias horárias registradas no ponto interno da sala de aula mostram associação com as temperaturas médias registradas ponto externo. Ou seja, em dias mais quentes, a sala tende a aumentar a sua temperatura acompanhando a variação externa do dia.

Influência das aberturas de portas e janelas no desempenho térmico em sala de aulas: estudo de caso no Instituto Federal de Educação do ES (IFES)

Influence of door and window openings on thermal performance in the classroom: a case study at the Federal Institute of Education of ES (IFES)

Influencia de las aberturas de puertas y ventanas en el rendimiento térmico en las aulas: estudio de caso en el Instituto Federal de Educación de ES (IFES)

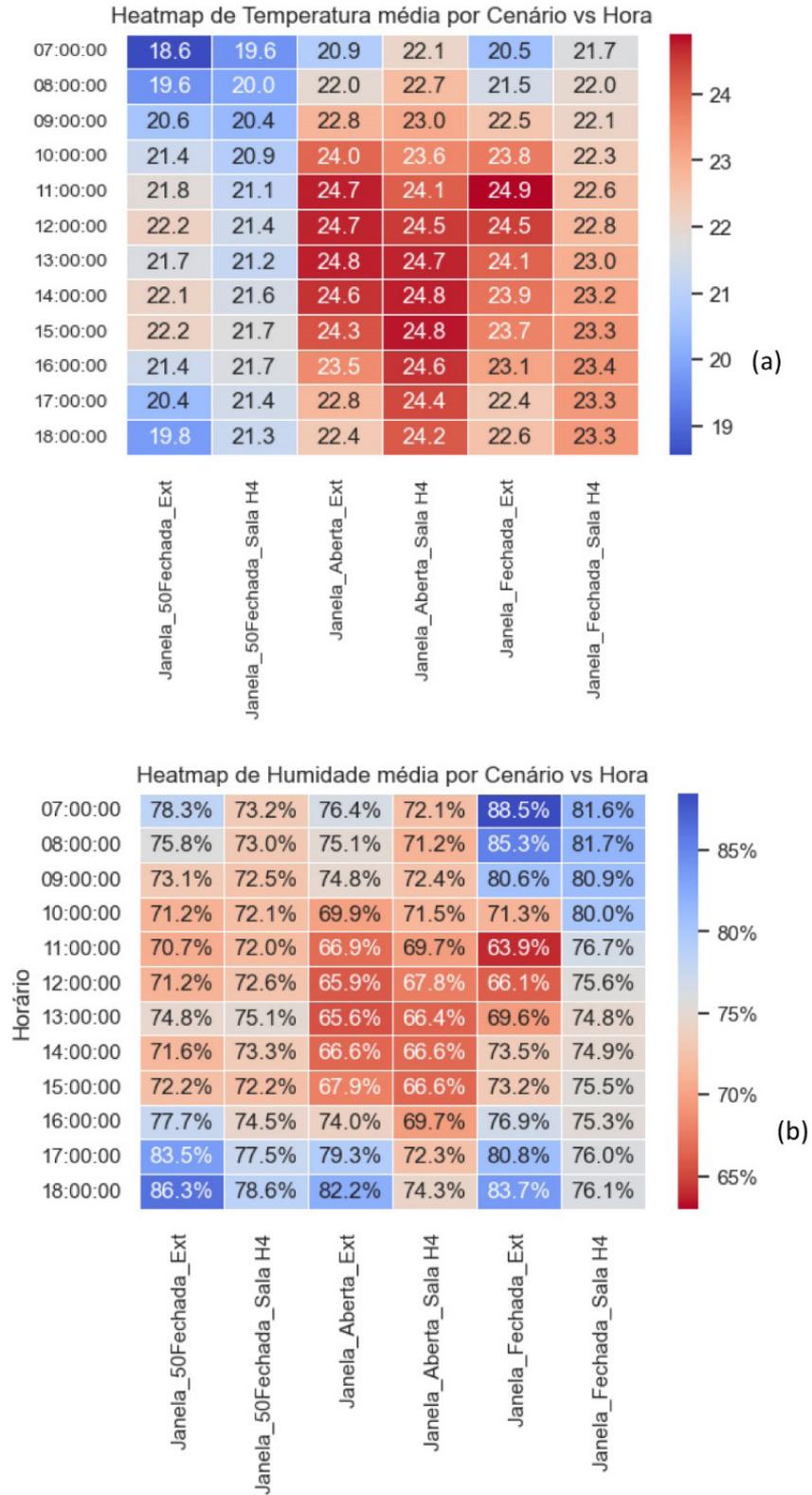


FIGURA 11 – Cenários das médias horárias de (a) temperatura do ar e (b) umidade relativa do ar, monitoradas em dois pontos: no ponto externo ao Instituto e na sala H4.

Fonte: Autores.

Conclusões

Conforto térmico é a sensação subjetiva de bem-estar em relação à temperatura do ambiente em que uma pessoa se encontra. É o equilíbrio entre o calor gerado pelo corpo humano e o calor trocado com o ambiente ao redor. O conforto térmico é influenciado por fatores como a temperatura do ar, umidade, velocidade do ar, níveis de atividade física e vestimentas. Manter um ambiente com conforto térmico é importante para promover a produtividade, o bem-estar e a saúde das pessoas. E, em se tratando de salas de aula, as mesmas merecem preocupação especial devido a sua importante função no sistema de ensino aprendizagem obrigatório para crianças e adolescentes.

A presente pesquisa avaliou o desempenho térmico de salas de aula sob diferentes padrões de aberturas de janelas, portas e ocupação considerando um clima tropical quente úmido, cuja a ventilação natural, e conseqüentemente as aberturas do edifício são de fundamental importância na retirada de calor de forma passiva do ambiente sem gastos energéticos com sistemas mecânicos.

Os resultados mostraram que, em todas as salas estudadas, independentemente do modelo da janela, quanto maior o percentual de abertura, melhor o desempenho térmico. Portanto, pode-se concluir que a abertura das janelas proporciona vantagens na redução do desconforto térmico, permitindo a circulação de ar fresco e a dissipação do calor acumulado no ambiente. Isso ajuda a equilibrar a temperatura interna e melhorar a sensação de conforto, especialmente em dias quentes. Ou seja, a área de abertura das janelas em relação a área de piso da sala, é um fator de impacto no desempenho térmico em relação ao padrão de uso das portas. Entretanto, a associação entre abertura de janelas e portas, considerando a ventilação cruzada por meio de configurações escolares de salas e corredores, com peitoris baixos, resultaram no melhor desempenho térmico em relação a todas as configurações de padrões de abertura estudadas nesta pesquisa. Maior taxa de ocupação e presença de computadores também influencia no desconforto térmico, sendo este último responsável pelo aumento de quase 40% na porcentagem de desconforto térmico avaliada. Tais fatos, mostram a importância do estudo destas configurações no projeto do edifício educacional principalmente diante dos cenários de mudanças climáticas e a presença cada vez maior de ondas de calor no planeta.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (IFES) e ao Laboratório Arquitetura e Estudos Ambientais (ARQAMB) da Universidade Vila Velha (UVV) pelo apoio a pesquisa, a Fundação de Amparo à Pesquisa e inovação do Espírito Santo (FAPES) TO 1063/2022 pela suporte a infraestrutura de pesquisa, desenvolvimento e inovação em laboratórios e a Universidade Vila Velha (UVV) pela bolsa de iniciação científica concedida.

Influência das aberturas de portas e janelas no desempenho térmico em sala de aulas: estudo de caso no Instituto Federal de Educação do ES (IFES)

Influence of door and window openings on thermal performance in the classroom: a case study at the Federal Institute of Education of ES (IFES)
Influencia de las aberturas de puertas y ventanas en el rendimiento térmico en las aulas: estudio de caso en el Instituto Federal de Educación de ES (IFES)

Referências

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220 - Desempenho térmico de edificações Parte 1: Definições, símbolos e unidades**. Brasil: [s.n.], 2005

_____. **NBR 15575-1 Edificações Habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Brasil: [s.n.], 2021

ASHRAE STANDARD. **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Atlanta: [s.n.], 2017

BRASIL. Lei Federal nº 13005, de 25 de junho de 2014. Aprova o Plano Nacional de Educação – PNE e dá outras providências. Brasil: [s.n.]. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2014/lei/l13005.htm>. , 2014

_____. **Parecer CNE/CEB nº 8/2010**, aprovado em 05 maio 2010. Brasil: [s.n.]. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=5063-parecercne-seb8-2010&Itemid=30192>. , 2010

CÂNDIDO, C. et al. Air movement acceptability limits and thermal comfort in Brazil's hot humid climate zone. **Building and Environment**, v. 45, n. 1, p. 222–229, 2010.

CORBELLA, Oscar Daniel; MAGALHÃES, Mariana. Conceptual differences between the bioclimatic urbanism for Europe and for the tropical humid climate. **Renewable Energy**, v. 33, p. 1019–1023, 2008.

DESIGNBUILDER. **DESIGNBUILDER Software Ltda**. versão 6.1.0.006. [S.l: s.n.], 2019

DÓREA, Célia Rosângela Dantas. **Anísio Teixeira e a arquitetura escolar: planejando escolas, construindo sonhos**. 2003. Mestrado em Educação. Programa de Estudos Pós-Graduados em Educação: História, Política, Sociedade. Pontifícia Universidade Católica de São Paulo. São Paulo, Brasil., 2003.

FAVAROLO, P. A.; MANZ, Heinrich. Temperature-driven single-sided ventilation through a large rectangular opening. **Building and Environment**, v. 40, n. 5, p. 689–699, 2005.

HABERL, Jeff S.; CULP, Charles; CLARIDGE, David E. **ASHRAE's Guideline 14-2002 for measurement of energy and demand savings: how to determine what was really saved by the retrofit**. 2005, Pittsburgh: Proceedings of the 15th International Conference for Enhanced Building Operations, 2005. p. 1–13.

HASSAN, M. A.; Guirguis, N.M; Shaalan, M.R.; El-Shazly, K. Investigation of effects of window combinations on ventilation characteristics for thermal comfort in buildings. **Desalination**, v. 209, n. 1- 3 SPEC. ISS., p. 251–260, 2007.

HAYATI, Abolfazl; MATSSON, Magnus; SANDBERG, Mats. Single-sided ventilation through external doors: Measurements and model evaluation in five historical churches. **Energy and Buildings**, v. 141, p. 114–124, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.02.034>>.

IFES - INSTITUTO FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO. **O IFES**. Disponível em: <<https://ifes.edu.br/o-ifes>>. Acesso em: 20 maio 2020.

INEP – INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA. **Média de Alunos por Turma – 2019**. Disponível em: <<https://www.gov.br/inep/pt-br/aceso-a-informacao/dados-abertos/indicadores-educacionais/media-de-alunos-por-turma>>. Acesso em: 9 ago. 2019.

Influência das aberturas de portas e janelas no desempenho térmico em sala de aulas: estudo de caso no Instituto Federal de Educação do ES (IFES)

Influence of door and window openings on thermal performance in the classroom: a case study at the Federal Institute of Education of ES (IFES)
Influencia de las aberturas de puertas y ventanas en el rendimiento térmico en las aulas: estudio de caso en el Instituto Federal de Educación de ES (IFES)

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Estações automáticas**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em: 11 dez. 2023.

ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7726 - Ergonomics of the thermal environment - Instruments for measuring physical quantities**. Genova: [s.n.], 1998

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

LABEEE - LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. Seção downloads. **Arquivos climáticos em formato EPW**. Disponível em: <www.labeee.ufsc.br/downloads>. Acesso em: 1 mar. 2019.

LOVEC, Vesna; PREMROV, Miroslav; LESKOVAR, Vesna Žegarac. Practical impact of the covid-19 pandemic on indoor air quality and thermal comfort in kindergartens. A case study of Slovenia. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 18, n. 18, 2021.

NICO-RODRIGUES, Edna Aparecida; ALVAREZ, Cristina Engel; SANTO, Amábeli Dell; PIDERIT, Maria Beatriz. Quando a janela define a condição de desempenho térmico em ambientes ventilados naturalmente: caso específico das edificações multifamiliares em Vitória, ES. **Ambiente Construído**, v. 15, p. 7–23, 2015.

OECD – ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT. **Education at a Glance 2019: OECD Indicators**. Paris: OECD Publishing, 2019.

PAGEL, Érica Coelho; GOUVEIA, Gilda Laysa de Oliveira; MARTINS, Ramon Silva; CRUZ, Marcos Vinícius Gualberto da. Ventilação natural e desempenho térmico sob diferentes configurações de aberturas em uma sala de aula. **Ambiente Construído**, v. 22, n. 3, p. 133–157, 2022.

PRAKASH, D.; RAVIKUMAR, P. Analysis of thermal comfort and indoor air flow characteristics for a residential building room under generalized window opening position at the adjacent walls. **International Journal of Sustainable Built Environment**, v. 4, n. 1, p. 42–57, 2015.

RUIZ, Germán Ramos; BANDERA, Carlos Fernández. Validation of Calibrated Energy Models: common erros. **Energies**, v. 10, p. 2–19, 2017.

SALEH, Philip H. Thermal performance of glazed balconies within heavy weight / thermal mass buildings in Beirut, Lebanon's hot climate. **Energy & Buildings**, v. 108, p. 291–303, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.09.009>>.

SEIFERT, Joachim; LI, Yuguo; AXLEY, James; RÖSLER, Markus. Calculation of wind-driven cross ventilation in buildings with large openings. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 94, n. 12, p. 925–947, 2006.

STAVRAKAKIS, G. M.; ZERVAS, P.L.; SARIMVEIS, H.; MARKATOS, N.C. Optimization of window-openings design for thermal comfort in naturally ventilated buildings. **Applied Mathematical Modelling**, v. 36, n. 1, p. 193–211, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.apm.2011.05.052>>.

VÁZQUEZ-TORRES, Claudia Eréndira; BEIZAEE, Arash; BIENVENIDO-HUERTAS, David. **Energy & Buildings The impact of human occupancy in thermal performance of a historic religious building in sub-humid temperate climate**. v. 259, 2022.

Influência das aberturas de portas e janelas no desempenho térmico em sala de aulas: estudo de caso no Instituto Federal de Educação do ES (IFES)

Influence of door and window openings on thermal performance in the classroom: a case study at the Federal Institute of Education of ES (IFES)

Influencia de las aberturas de puertas y ventanas en el rendimiento térmico en las aulas: estudio de caso en el Instituto Federal de Educación de ES (IFES)

RESPONSABILIDADE INDIVIDUAL E DIREITOS AUTORAIS

A responsabilidade da correção normativa e gramatical do texto é de inteira responsabilidade do autor. As opiniões pessoais emitidas pelos autores dos artigos são de sua exclusiva responsabilidade, tendo cabido aos pareceristas julgar o mérito das temáticas abordadas. Todos os artigos possuem imagens cujos direitos de publicidade e veiculação estão sob responsabilidade de gerência do autor, salvo o direito de veiculação de imagens públicas com mais de 70 anos de divulgação, isentas de reivindicação de direitos de acordo com art. 44 da Lei do Direito Autoral/1998: “O prazo de proteção aos direitos patrimoniais sobre obras audiovisuais e fotográficas será de setenta anos, a contar de 1º de janeiro do ano subsequente ao de sua divulgação”.

O **CADERNOS PROARQ (ISSN 2675-0392)** é um periódico científico sem fins lucrativos que tem o objetivo de contribuir com a construção do conhecimento nas áreas de Arquitetura e Urbanismo e afins, constituindo-se uma fonte de pesquisa acadêmica. Por não serem vendidos e permanecerem disponíveis de forma **online** a todos os pesquisadores interessados, os artigos devem ser sempre referenciados adequadamente, de modo a não infringir com a Lei de Direitos Autorais.

Submetido em 29/10/2024

Aprovado em 11/03/2025