XVIII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
XIV ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
AMBIENTE CONSTRUÍDO E USUÁRIO: PERSPECTIVAS LATINO-AMERICANAS

Conforto Térmico e Eficiência Energética de Salas de Aula Destinadas ao Ensino Superior

Confort Térmico y Eficiencia Energética en Salón de Clases de Educación Superior

Thermal Comfort and Energy Efficiency in Higher Education Classrooms

Desempenho Térmico do Ambiente Construído/ *Desempeño Térmico del Entorno Construido/*

Thermal Performance of the Built Environment

Buss, Clarissa.
Mestrado, Universidade Federal da Integração Latino-Americana-UNILA, Foz do Iguaçu, Brasil,
clarissa.buss@unila.edu.br

Sacht, Helenice M.
Doutorado, Universidade Federal da Integração Latino-Americana-UNILA, Foz do Iguaçu, Brasil,
helenice.sacht@unila.edu.br

Resumo

Nesta pesquisa foram identificadas e avaliadas estratégias projetuais que favoreçam o conforto térmico e a eficiência energética em salas de aula destinadas ao ensino superior em regiões de clima subtropical úmido, especificamente em Foz do Iguaçu. Como ferramenta inicial para a seleção de soluções passivas foram utilizadas cartas bioclimáticas, modelagem tridimensional e simulações computacionais das soluções, para estudo de caso de uma edificação da Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA), com uso dos programas *Climate Consultant, SketchUp*, plugin *Euclid* e *EnergyPlus*. Os resultados confirmaram a possibilidade de otimizar o desempenho térmico e energético das salas de aula, empregando de forma integrada, elementos como paredes externas com alta refletância, coberturas com materiais de baixa absortância e alta emissividade, maximização do sombreamento, janelas com grande porcentagem de abertura, além de vidros com baixa transmissão solar e fator solar, oferecendo aplicabilidade, tanto no planejamento de novos projetos, quanto na adaptação de construções existentes.

Palavras-chave: Universidade. Tipologia educacional. Salas de aula. Ensino superior. Simulação computacional.

Resumen

En esta investigación, se evaluaron estrategias de diseño que favorecen el confort térmico y la eficiencia energética en salón de clases universitarias de clima subtropical húmedo, con enfoque en Foz do Iguaçu. Como herramienta inicial para la selección de soluciones pasivas, se emplearon cartas bioclimáticas, modelado tridimensional y simulaciones computacionales de las soluciones. El estudio de caso fue en un edificio de la Universidad Federal de Integración Latinoamericana (UNILA), utilizando los programas Climate Consultant, SketchUp, Euclid y EnergyPlus. Los resultados confirmaron la viabilidad de optimizar el desempeño térmico y energético mediante la integración de elementos como muros exteriores de alta reflectancia, cubiertas con materiales de baja absorbancia y alta emisividad, maximización de la sombra, ventanas con un alto porcentaje de apertura, además de vidrios con baja transmitancia solar y factor solar. Estas estrategias ofrecen aplicabilidad tanto en la planificación de nuevos proyectos como en la adaptación de edificaciones existentes.

Keywords: Universidad. Tipología educativa. Salón de clases. Educación superior. Simulación computacional.

Abstract

In this research, project strategies that enhance thermal comfort and energy efficiency in classrooms designed for higher education in humid subtropical climate regions were identified and evaluated, with a specific focus on Foz do Iguaçu. As an initial tool for selecting passive solutions, bioclimatic charts, three-dimensional modeling, and computational simulations of the proposed solutions were utilized. The case study involved a building of the Federal University for Latin American Integration (UNILA), employing the Climate Consultant, SketchUp, Euclid plugin, and EnergyPlus software. The results confirmed the feasibility of optimizing the thermal and energy performance of classrooms by integrating elements such as high-reflectance external walls, roofs with low absorptance and high emissivity materials, maximized shading, windows with a high percentage of operable openings, and glazing with low solar transmittance and solar heat gain coefficient. These strategies offer applicability both in the planning of new projects and in the adaptation of existing buildings.

Keywords: University. Educational typology. Classrooms. Higher education. Computational simulation.

Introdução

Considerando que o ambiente das salas de aula influencia na qualidade da educação e seus desdobramentos, há estudos que visam compreender a relevância do espaço físico e as condições que mais impactam o desempenho acadêmico, sejam elas relacionadas a fatores ambientais, questões espaciais ou elementos tecnológicos das salas de aulas. Além disso, nesse âmbito, as edificações educacionais públicas deveriam ser melhor planejadas, pois geralmente apresentam um consumo de energia elétrica significativo, e além de atenderem às exigências normativas e legislações que visam suprir as futuras demandas de energia, precisam adotar urgentemente, medidas que promovam maior eficiência energética em suas construções.

Há uma vasta quantidade de publicações relacionadas às condições ambientais das salas de aula e seus impactos no desempenho dos estudantes (Taylor, Brown, Rim, 2021; Bluyssen, 2017; Corgnati, Filippi, Viazzo, 2007; Castilla et al., 2017; López-Chao et al., 2020; Manca et al., 2020; Singh et al., 2019; Yang, Becerik-Gerber, Mino, 2013). Embora alguns estudos abordem múltiplas variáveis, a maioria se concentra especificamente na influência dos parâmetros de conforto térmico. Os dados obtidos em tais estudos evidenciam que a maior parte deles se concentra nas áreas de engenharia e tecnologia da construção, embora as áreas de eficiência energética, ecologia e educação também apresentem uma representatividade significativa. Fazendo uma análise preliminar destes estudos, observa-se que a qualidade dos edifícios acadêmicos se encontra abaixo do ideal, o que pode prejudicar o processo de ensino e aprendizagem.

De fato, um ambiente saudável e confortável é essencial em qualquer tipo de construção. Atualmente, espaços fechados são sempre mais utilizados, acomodando seus ocupantes por longos períodos ao longo do dia, o que torna a qualidade ambiental interna um aspecto fundamental (Taylor, Brown; Rim, 2021). Estudos realizados com adultos mostram que a inadequação das condições internas pode afetar os sistemas nervoso, endócrino e imunológico, tanto a curto, quanto a longo prazo (Bluyssen, 2017). Essa questão torna-se ainda mais relevante em edifícios escolares, devido ao impacto que exerce na experiência acadêmica (Corgnati, Filippi, Viazzo, 2007). Nas salas de aula, as condições internas estão intimamente ligadas à capacidade de abstração e à sensação de bem-estar dos ocupantes (Castilla et al., 2017). Microclimas adequados em ambientes educacionais podem melhorar níveis de atenção, concentração, audição, entre outros (Corgnati, Filippi, Viazzo, 2007), além de auxiliar em impulsionar a criatividade. Dessa forma, a arquitetura escolar deve garantir condições apropriadas para que os alunos realizem suas atividades e adquiram conhecimento em diversas áreas

(López-Chao et al., 2020). Portanto, considera-se que a criação de espaços que favoreçam e aprimorem o desempenho acadêmico está diretamente vinculada a um projeto de edifício escolar bem concebido (Manca et al., 2020). As primeiras investigações relacionando o desempenho acadêmico às condições térmicas das salas de aula surgiram por volta da década de 1950 (Corgnati; Filippi; Viazzo, 2007), e vários estudos demonstram que o microclima térmico afeta diretamente a produtividade dos estudantes (Singh et al., 2019). Entre as características ambientais, a temperatura é a que mais influencia na percepção dos usuários sobre a sala de aula (Yang, Becerik-Gerber, Mino, 2013). De fato, estudos apontam que o conforto térmico se destaca como o principal indicador da qualidade ambiental (Montiel, et al., 2020).

Desta forma, o Edifício Multiuso da Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA) foi selecionado para a realização de um estudo de caso, que se concentra na avaliação de condições térmicas da edificação, especificamente das salas de aula, considerando que a importância dos estudos sobre conforto térmico se concentra na satisfação, no bem-estar individual, no desempenho acadêmico e na eficiência energética. Outro fator que justifica este estudo é que a edificação selecionada para análise foi a primeira obra concluída e utilizada pela instituição para fins acadêmicos. Esse aspecto foi decisivo no processo de escolha, pois ofereceu uma oportunidade temporal para retroalimentar o projeto, além de possibilitar a contribuição com sugestões de adequação da segunda fase da construção.

Objetivos

O objetivo geral dessa pesquisa foi identificar e avaliar estratégias projetuais que combinadas, contribuam para o conforto térmico e eficiência energética em edificações de salas de aula destinadas ao ensino superior para locais de clima subtropical úmido, especificamente, Foz do Iguaçu-PR, por meio de simulações computacionais.

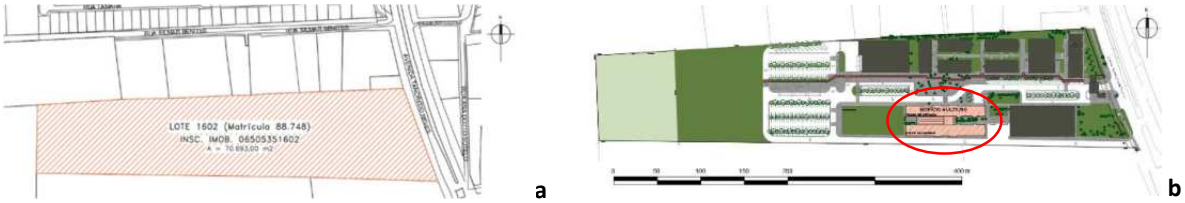
Método

Em relação ao método empregado, a pesquisa foi estruturada em cinco etapas: revisão bibliográfica; caracterização do objeto de estudo (estudo de caso); definição de parâmetros e execução das simulações computacionais e análise dos resultados.

Objeto de Estudo

O Edifício Multiuso foi concebido em 2019 pela equipe técnica da própria universidade. As obras do Bloco de Aulas 01 foram finalizadas no início de 2023 e o Bloco de Aulas 02 foi inaugurado em julho de 2024. Se insere num lote com área de 70.693,00 m² e apresenta uma área total de 4.884,01m². Está localizado em terreno de propriedade da UNILA (Campus Integração), situado na Av. Tancredo Neves, nº 3147 (Figura 1a-b), próximo ao bairro Porto Belo. A avenida onde se localiza é uma rodovia federal (6 km de extensão, no perímetro urbano da cidade), sendo importante via de acesso ao centro, à Itaipu Binacional e às demais sedes da universidade (Itaipu Parquetec, Jardim Universitário e Almada), atuando como corredor turístico e universitário. O clima de Foz do Iguaçu é do tipo Cfa (Classificação Köppen-Geiger) e de acordo com a nova classificação climática brasileira, encontra-se inserida na Zona Bioclimática 3A (mista e úmida).

Figura 1: Planta de Situação (a) e Implantação Geral do terreno da Av. Tancredo Neves (b).



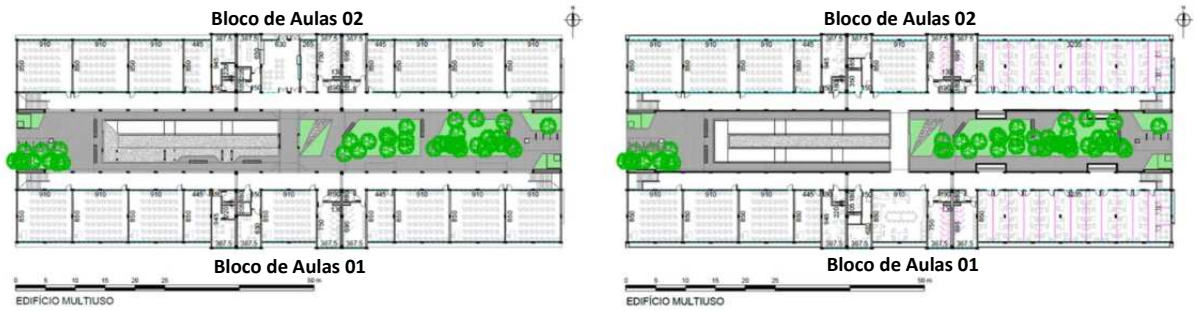
a b

Fonte: Adaptado de SECIC (2019).

A edificação divide-se em dois blocos distintos (Bloco de Aulas 01 e 02), ambos com dois pavimentos, unidos por uma passarela (andares superiores) e uma rampa de acesso central (Figura 2a-b). O Bloco de Aulas 01 (2.444,13m²) contempla em seu pavimento térreo (1.117,22m²), sete salas de aula (capacidade para 51 pessoas) e duas salas para 25 pessoas, além de instalações básicas (sanitários, copa e depósito de materiais de limpeza e sala para terceirizados). O pavimento superior (1.127,87m²), abrange três salas de aula para 51 pessoas e uma sala para 25 pessoas e espaços voltados às atividades administrativas (sala de apoio aos cursos, sala de tecnologia da informação, ambulatório, sala de apoio aos docentes, 11 salas para três professores cada, 03 salas para atendimento individualizado, sanitários e serviços). O Bloco de Aulas 02 (área total 2.439,88m²), compreende no pavimento térreo (1.111,04m²), 06 salas de aula para 51 pessoas e 02 salas para 25 pessoas (além de instalações básicas, como sanitários, copa, cantina, depósito, secretaria e hall de entrada). O pavimento superior (1.127,93m²), engloba 04 salas de aula para 51 pessoas e uma sala para 25 pessoas (espaços para atividades administrativas, sala de apoio aos cursos, sala

administrativa, 11 salas para três professores cada, 03 salas para atendimento individualizado, instalações básicas sanitárias e de serviços).

Figura 2: Planta Baixa do Pavimento Térreo - Edifício Multiuso (a) e Planta Baixa do Pavimento Superior - Edifício Multiuso (b).

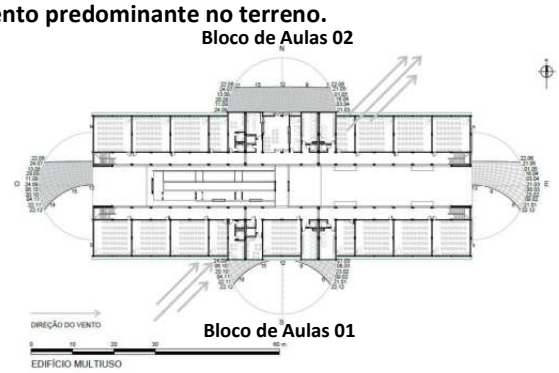


a **b**

Fonte: Adaptado de SECIC (2019).

No que se refere a implantação e configuração arquitetônica, por intermédio da carta solar, (Figura 3), observa-se que a incidência de radiação é mais intensa na fachada norte da do Bloco de Aulas 02, durante o período de inverno e menos acentuada durante as épocas quentes do ano. O Bloco de Aulas 01 recebe maior incidência de radiação na fachada sul durante o verão, resultando em ambientes mais frios e úmidos durante o inverno. A direção do vento predominante aproximada, considerando a verificação em regiões do terreno de livre circulação é sudoeste (Figura 3), que proporciona como impacto uma boa ventilação cruzada nas salas de aula, dado que as aberturas estão posicionadas majoritariamente nas fachadas sul e norte.

Figura 3: Incidência de radiação solar ao longo do ano e vento predominante no terreno.



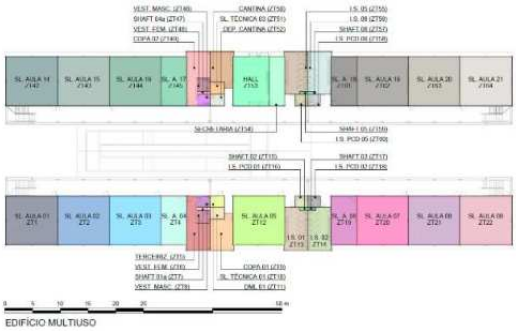
Fonte: Autor (2023).

Definição de Parâmetros e Execução das Simulações Computacionais

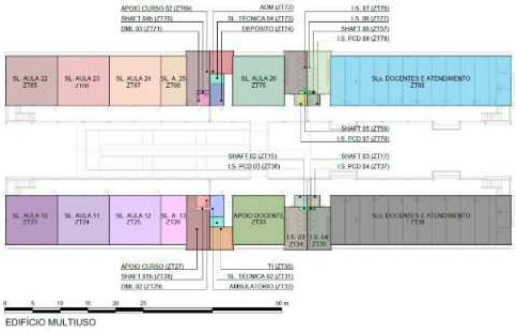
A edificação foi modelada no programa *SketchUp* v. 2017, mediante o uso do plugin *Euclid* v. 9.4.3 (*EnergyPlus* 9.5). O Bloco foi dividido em 83 zonas térmicas (Figura 4a-b), nas quais 26 referem-se às salas de aula e os demais aos espaços administrativos, de serviço, instalações sanitárias, etc. O programa AutoCad foi usado para a delimitação dessas áreas no estágio preliminar do estudo. O

Quadro 1 apresenta as Estratégias projetuais avaliadas nas variações do Edifício Multiuso e a Tabela 1 apresenta resumidamente as propriedades das composições com variação nos elementos construtivos. As estratégias bioclimáticas foram definidas por meio da carta psicrométrica (programa Climate Consultant, 80% de conforto térmico).

Figura 4: Zonas Térmicas.



Zonas Térmicas do Pavimento Térreo



Zonas Térmicas do Pavimento Superior

Quadro 1: Estratégias projetuais avaliadas nas variações do Edifício Multiuso

Estratégia Projetual	Alteração Demandada
Tinta cor palha aplicada nas paredes externas	Alteração do valor de absortância do material no *EnergyPlus* e *EP-Launch*
Substituição do vidro incolor de 6mm por vidro cor verde de 6mm	Alteração das propriedades térmicas e luminosas no *EnergyPlus* e *EP-Launch*
Substituição da telha de aço galvanizado com isolante tipo EPS por telha de fibrocimento pintada de branco de 8mm	Alteração das propriedades do material no *EnergyPlus* e *EP-Launch*
Inclusão de brises horizontais na fachada norte, largura da aleta de 8cm, inclinação de 0° e aproximadamente 18 unidades por metro, no sentido vertical	Alteração da geometria no *SketchUp* e *plug-in Euclid*
Alteração do modelo das janelas, de vidro fixo + maxim-ar e maxim-ar para basculante com inclinação 90° e altura de abertura igual a altura total da superfície transparente	Alteração das propriedades do elemento construtivo no *EnergyPlus* e *EP-Launch*

Fonte: Autores (2023).

Tabela 1: Propriedades dos elementos construtivos empregados nas variações do Edifício Multiuso

Elementos Construtivos		R_T(m².K/W)	U (W/m²°C)	C_T(kJ/m².K)	α
Variação Cobertura Isolamento (sl. de aula, sl. ADM e de serviço)	Telha de Aço Galvanizado (isolante tipo EPS, Lã de Rocha, Laje Nervurada e Forro Fibra Mineral)	4,46	0,22	181,56	0,25
Variação Cobertura Isolamento (circ., IS, DML)	Telha de Aço Galvanizado (com isolante tipo EPS, Lã de Rocha e Laje Nervurada)	3,77	0,27	175,68	0,25
Variação Cobertura Telha (sl. de aula, sl. ADM e de serviço)	Telha de Fibrocimento (Laje Nervurada e Forro Fibra Mineral)	1,97	0,51	180,37	0,102
Variação Cobertura Isolamento (circ., IS, DML)	Telha de Fibrocimento (Laje Nervurada)	1,29	0,77	174,49	0,102
Variação Parede Externa Isolamento	Parede de tijolos cerâmicos (9 x 14 x 19 cm de 6 furos com isolamento na face externa e reboco na face interna)	1,13	0,88	163,97	0,611

Fonte: Autores (2023).

Resultados

São apresentados os resultados referentes ao desempenho termo energético obtidos para as salas de aula, após a integração das soluções mais adequadas em relação ao desempenho e consideradas viáveis economicamente reunidas num mesmo modelo (Quadro 1), devido ao fato de tratar-se de uma obra pública, embora as mesmas também tenham sido avaliadas separadamente na pesquisa completa (Buss, 2023). Para isso, foram selecionadas as soluções: substituição de cor de fachada (palha), substituição de vidros (monolítico cor verde de 6 mm de espessura), substituição de telha (fibrocimento pintada de branco), inclusão de sombreamento externo (brise horizontal na fachada norte, aleta de 8 cm largura, inclinação de 0° e 18 unidades, vertical) e alteração de modelo de janela (basculante com inclinação 90° e altura de abertura igual a altura total da superfície transparente). De forma a avaliar possíveis ganhos acumulados viabilizados por essa combinação. Para obtenção dos resultados foram usados o programa *SketchUp* v. 2017 e plugin *Euclid* v. 9.4.3 (*EnergyPlus* 9.5).

Consumo Energético com Refrigeração e Aquecimento

O menor e maior consumo de energia para aquecimento por m² ocorreu, respectivamente, na sala de aula 16 (0,12 kWh/m²), do térreo do Bloco de Aulas 02, e na sala de aula 26 (0,49 kWh/m²), do pavimento superior desse mesmo bloco. O consumo mais elevado para refrigeração por m² foi verificado na sala de aula 11 (116,02 kWh/m²) (pavimento superior do Bloco de Aulas 01), e o menor na sala de aula 18 (94,89 kWh/m²) (térreo do Bloco de Aulas 02) (Figura 5).

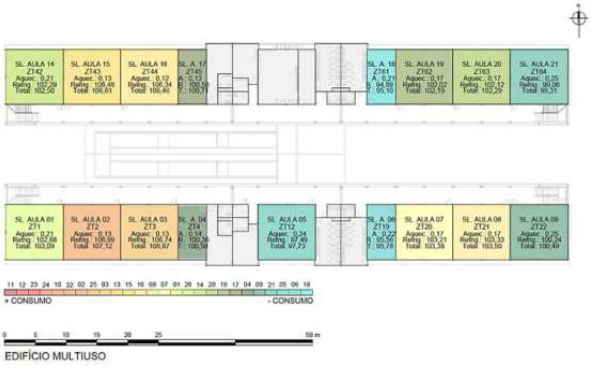
Figura 5: Consumo energético: aquecimento e refrigeração por sala de aula.

Ambiente	Dimensão do ambiente (m²)	Consumo de energia para aquecer o ambiente (kWh)	Consumo de energia para aquecer o ambiente por m² (kWh/m²)	Consumo de energia para refrigerar o ambiente (kWh)	Consumo de energia para refrigerar o ambiente por m² (kWh/m²)	Consumo total de energia por m² (kWh/m²)
Bloco de Aulas 01						
SL Aula 01	83,66	17,83	0,21	8607,25	102,88	103,09
SL Aula 02	82,77	10,93	0,13	8855,23	106,99	107,12
SL Aula 03	82,77	10,79	0,13	8834,50	106,74	106,87
SL Aula 04	41,39	5,89	0,14	4153,81	100,36	100,50
SL Aula 05	82,77	20,25	0,24	8069,51	97,49	97,73
SL Aula 06	41,38	8,98	0,22	3955,43	95,56	95,78
SL Aula 07	82,77	14,11	0,17	8542,68	103,21	103,38
SL Aula 08	82,77	14,16	0,17	8552,22	103,33	103,50
SL Aula 09	83,66	20,92	0,25	8386,48	100,24	100,49
SL Aula 10	83,66	66,75	0,80	9273,20	110,82	110,62
SL Aula 11	82,77	23,07	0,27	9603,23	**116,02**	**116,29**
SL Aula 12	82,77	21,61	0,26	9583,45	115,78	116,04
SL Aula 13	41,39	12,66	0,31	4404,85	106,42	106,73
Bloco de Aulas 02						
SL Aula 14	83,66	17,25	0,21	8552,76	102,29	102,50
SL Aula 15	82,77	10,44	0,13	8813,16	106,48	106,61
SL Aula 16	82,77	10,26	**0,12**	8802,06	106,34	106,46
SL Aula 17	41,39	5,61	0,13	4162,87	100,58	100,71
SL Aula 18	41,39	8,67	0,21	3927,30	**94,89**	**95,10**
SL Aula 19	82,77	13,83	0,17	8443,83	102,02	102,19
SL Aula 20	82,77	13,91	0,17	8452,18	102,12	102,29
SL Aula 21	83,66	20,67	0,25	8282,59	99,06	99,31
SL Aula 22	83,66	33,09	0,40	9009,47	108,77	109,17
SL Aula 23	82,77	21,41	0,26	9478,19	114,51	114,77
SL Aula 24	82,77	20,80	0,25	9472,80	114,44	114,69
SL Aula 25	41,39	11,44	0,28	4416,74	106,70	106,98
SL Aula 26	82,77	40,81	**0,49**	8462,26	102,24	102,73

Legenda: Maior consumo total | Menor consumo total

Fonte: Autor (2023).

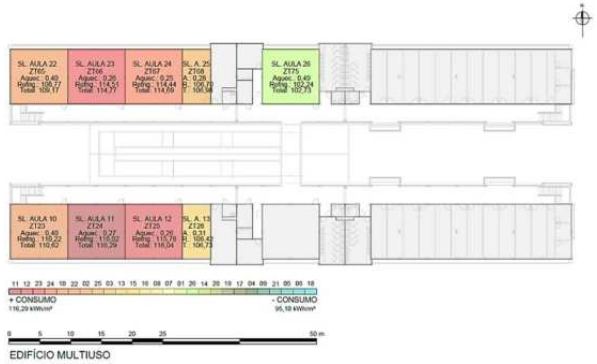
Figura 6: Planta baixa do pavimento térreo dos blocos: consumo para aquecimento, refrigeração e total por m².



Fonte: Autor (2023).

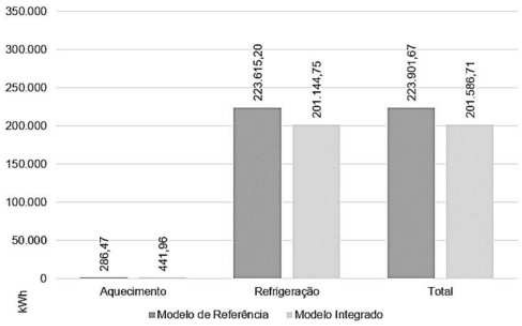
As Figuras 6 e 7 apresentam uma planta baixa esquemática do térreo e do pavimento superior com o consumo em kWh/m² para aquecimento, refrigeração e total de cada sala de aula, combinando as estratégias. O consumo total para aquecimento das salas de aula foi de 441,96 kWh e para arrefecimento de 201.144,75 kWh, em consequência, o consumo energético total com condicionamento mecânico foi de 201.586,71 kWh, ou 105,59 kWh/m². Em comparação ao modelo de referência, o Edifício Multiuso utilizando diferentes estratégias projetuais alcançaria uma redução de 9,97% no consumo total de energia para condicionamento artificial dos espaços (Figura 8).

Figura 7: Planta baixa do pavimento superior com consumo para aquecimento, refrigeração e total por m².



Fonte: Autor (2023).

Figura 8: Consumo energético: modelo de referência x integração de diferentes estratégias projetuais.



Fonte: Autor (2023).

Desempenho Térmico das Salas de Aula Ventiladas Naturalmente

Para avaliação do nível de conforto térmico nas salas de aula ventiladas naturalmente optou-se pelo modelo de conforto adaptativo baseado na ANSI/ASHRAE Standard 55, para o período de um ano. O ambiente que apresentou a menor temperatura operativa mínima ($To_{mín}$) foi a sala de aula 26, com 13,0°C (pavimento superior do Bloco de Aulas 02). A maior temperatura operativa máxima ($To_{máx}$) ocorreu na sala 10, com 35,6°C (pavimento superior do Bloco de Aulas 01). Já a menor temperatura operativa máxima ($To_{máx}$) foi registrada na sala de aula 18 (32,7°C), (térreo do Bloco de Aulas 02) (Figura 9). O ambiente que propiciou o maior percentual de horas ocupadas em situação de conforto térmico foi a sala 17 (térreo do Bloco de Aulas 02) com 89,71%, muito próximo aos 90% requeridos pela INI-C (INMETRO, 2021) para dispensa de projeto de condicionamento artificial. A sala de aula 11 (pavimento superior do Bloco 01) apresentou 76,83%. Supõe-se que a associação de diferentes estratégias, em especial a inclusão dos brises, possibilitaram essa variação quanto aos resultados obtidos (Figuras 10 e 11).

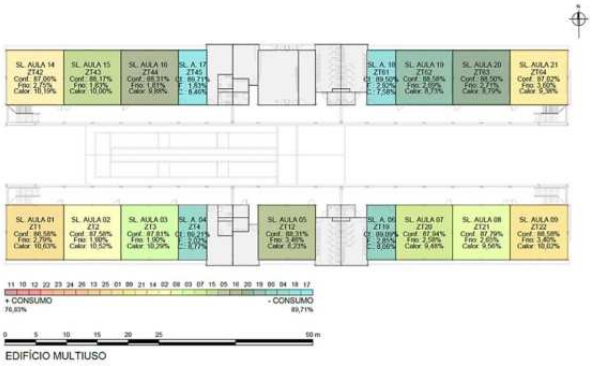
Figura 9: Condição de conforto térmico durante o período de ocupação.

Ambiente	Horas Ocupadas					
	To_{min} (°C)	To_{max} (°C)	To_{med} (°C)	Conforto (%)	Desconforto por frio (%)	Desconforto por calor (%)
Bloco de Aulas 01						
Sl. Aula 01	16,4	33,4	25,5	86,58%	2,79%	10,63%
Sl. Aula 02	17,0	33,3	25,7	87,58%	1,90%	10,52%
Sl. Aula 03	17,0	33,2	25,7	87,81%	1,90%	10,29%
Sl. Aula 04	17,0	32,9	25,5	89,21%	2,02%	8,77%
Sl. Aula 05	16,4	32,9	25,3	88,31%	3,46%	8,23%
Sl. Aula 06	16,6	32,8	25,3	89,09%	2,85%	8,06%
Sl. Aula 07	16,7	33,1	25,5	87,94%	2,58%	9,48%
Sl. Aula 08	16,7	33,1	25,5	87,79%	2,65%	9,56%
Sl. Aula 09	16,2	33,3	25,4	86,58%	3,40%	10,02%
Sl. Aula 10	13,3	**35,6**	25,7	76,96%	5,50%	17,54%
Sl. Aula 11	14,2	35,5	26,0	**76,83%**	4,38%	**18,79%**
Sl. Aula 12	14,2	35,4	26,0	77,23%	4,31%	18,46%
Sl. Aula 13	14,2	34,7	25,6	80,92%	4,60%	14,48%
Bloco de Aulas 02						
Sl. Aula 14	16,5	33,3	25,5	87,06%	2,75%	10,19%
Sl. Aula 15	17,0	33,1	25,6	88,17%	1,83%	10,00%
Sl. Aula 16	17,0	33,1	25,6	88,31%	**1,81%**	9,88%
Sl. Aula 17	**17,1**	32,8	25,5	**89,71%**	1,83%	8,46%
Sl. Aula 18	16,6	**32,7**	25,2	89,50%	2,92%	**7,58%**
Sl. Aula 19	16,7	32,9	25,4	88,58%	2,69%	8,73%
Sl. Aula 20	16,7	33,0	25,4	88,50%	2,71%	8,79%
Sl. Aula 21	16,2	33,2	25,3	87,02%	3,60%	9,38%
Sl. Aula 22	13,5	35,2	25,6	78,58%	5,54%	15,88%
Sl. Aula 23	14,3	35,0	25,8	78,94%	4,29%	16,77%
Sl. Aula 24	14,4	35,0	25,8	79,21%	4,21%	16,58%
Sl. Aula 25	14,6	34,4	25,6	81,83%	4,31%	13,86%
Sl. Aula 26	**13,0**	34,7	25,3	80,40%	**6,60%**	13,00%

Legenda: Menor conforto Maior conforto

Fonte: Autor (2023).

Figura 10: Planta Baixa do Pavimento Térreo, % de conforto e desconforto térmico com uso de ventilação natural.



Fonte: Autor (2023).

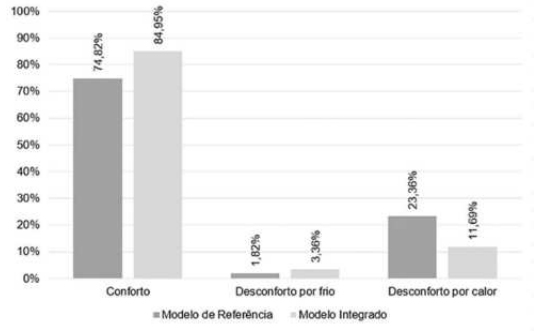
O desconforto por calor, como no modelo de referência, se manteve maior nas salas de aula localizadas no pavimento superior dos dois blocos, entretanto mais intenso no Bloco de Aulas 01. Acredita-se que a localização da cobertura, acima das salas e a influência do elemento de sombreamento na fachada norte podem ter contribuído para esse resultado. Houve alta nos índices de desconforto por frio, porém, bem abaixo quando comparado aos ganhos relativos ao desconforto por sobreaquecimento. A Figura 12 apresenta os resultados obtidos pelo modelo de referência e pelo modelo considerando a integração de estratégias projetuais. A alteração promoveria um ganho médio de 10,13% no percentual de conforto térmico viabilizado nas salas de aula.

Figura 11: Planta Baixa do Pavimento Superior, % de conforto e desconforto térmico (ventilação natural).



Fonte: Autor (2023).

Figura 12: Percentual de conforto térmico: modelo de referência x integração de diferentes estratégias projetuais.



Fonte: Autor (2023).

Conclusões

As soluções direcionadas à minimização do sobreaquecimento propostas mostraram-se favoráveis à otimização do desempenho termo energético de salas de aula (cor da fachada externa, vidro das esquadrias, tipo de telha da cobertura, brises na fachada norte e modelo das janelas). A junção de diferentes soluções foi efetiva em relação à elevação média do desempenho energético e térmico. Os dados obtidos da aplicação de estratégias projetuais integradas a um modelo de referência demonstraram que é possível alcançar uma redução média na demanda energética para condicionamento artificial de até 9,97% e uma elevação média do percentual de conforto térmico durante as horas ocupadas de até 10,13%. Devido ao padrão de uso dos ambientes e às características climáticas de Foz do Iguaçu, onde verifica-se a predominância de temperaturas mais elevadas durante os horários de funcionamento da instituição, cores de alta refletância aplicadas à envoltória são desejáveis, quando o objetivo é melhorar as condições de conforto térmico e eficiência energética, bem como vidros de baixa transmissão solar e fator solar, telhas de baixa absortância e alta emissividade, elementos de sombreamento que permitam controlar a exposição demasiada e desfavorável à radiação solar direta e janelas voltadas para o vento predominante, com alta porcentagem de área de abertura, posicionadas de modo à proporcionar a ventilação cruzada.

Faz-se necessário considerar o custo de implementação das soluções e fatores como a necessidade de protocolos de manutenção com prazos mais enxutos, associados à utilização de cores mais claras em locais de grande circulação e uso intenso; avaliar a reflexão e transmissão luminosa relacionadas ao tipo de vidro e sua influência nos níveis de conforto lumínico; analisar questões de durabilidade relacionada ao tipo de telha; características de infiltração de luz natural e a permeabilidade visual relativas ao brise e ao tipo de janela, juntamente com seu impacto nos níveis de conforto lumínico. Apesar dos resultados positivos alcançados, salienta-se que nenhuma sala de aula atingiu percentuais de conforto térmico maiores ou iguais a 90%, o que é um desafio para o clima. Dessa forma, percebeu-se que mesmo a solução integrada não seria suficiente para eliminar a necessidade de uso de ar-condicionado nesses ambientes.

Referências

BLUYSSEN, P. M. Health, comfort and performance of children in classrooms - New directions for research. **Indoor and Built Environment**, [S. l.], v. 26, p. 1040-1050, out. 2017. DOI: https://doi-org.ez350.periodicos.capes.gov.br/10.1177/1420326X16661866

BUSS, C. **Conforto Térmico e Eficiência Energética de Salas de Aula Destinadas ao Ensino Superior.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal da Integração Latino-Americana. Foz do Iguaçu, 2013. Disponível em: https://dspace.unila.edu.br/handle/123456789/7221 Acesso em: 05 Mai. 2025.

CASTILLA, N. et al. Subjective assessment of university classroom environment. **Building and Environment**, [S. l.], v. 122, p. 72-81, set. 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.06.004

CORGNATI, S. P.; FILIPPI, M.; VIAZZO, S. Perception of the thermal environment in high school and university classrooms: Subjective preferences and thermal comfort. **Building and Environment**, [S. l.], v. 42, p. 951-959, fev. 2007. DOI: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.10.027

INMETRO. **Instrução Normativa para Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas.** Brasília, 2021. Disponível em: http://www.pbeedifica.com.br/inic Acesso em: 06 Fev. 2025.

LÓPEZ-CHAO, V. et al. Classroom Indoor Environment Assessment through Architectural Analysis for the Design of Efficient Schools. **Sustainability**, [S. l.], v. 12, p. 1-12, mar. 2020. DOI: https://doi.org/10.3390/su12052020

MANCA, S. et al. The Effect of School Design on Users' Responses: A Systematic Review (2008-2017). **Sustainability**, [S. l.], v. 12, p. 1-37, abr. 2020. DOI: https://doi.org/10.3390/su12083453

MONTIEL, I. et al. Transforming Learning Spaces on a Budget: Action Research and Service-Learning for Co-Creating Sustainable Spaces. **Education Sciences**, [S. l.], v. 11, p. 1-21, ago. 2021. DOI: https://doi.org/10.3390/educsci11080418

SINGH, M. K. et al. Progress in thermal comfort studies in classrooms over last 50 years and way forward. Energy and Buildings, [S. l.], v. 188-189, p. 149-174, abr. 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.01.051

TAYLOR, M.; BROWN, N. C.; RIM, D. Optimizing thermal comfort and energy use for learning environments. **Energy and Buildings**, [S. l.], v. 248, p. 1-14, out. 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111181

YANG, Z.; BECERIK-GERBER, B.; MINO, L. A study on student perceptions of higher education classrooms: Impact of classroom attributes on student satisfaction and performance. **Building and Environment**, [S. l.], v. 70, p. 171-188, dez. 2013. DOI: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.08.030