



Mudanças climáticas e habitação multifamiliar: influência dos materiais do peitoril de varanda no desempenho térmico de apartamento em Vitória/ES

Camila Mauro Borges

Graduanda Arquitetura e Urbanismo, UVV, Brasil

camilamborges@live.com

ORCID iD: 0009-0007-8377-3920

Érica Coelho Pagel

Professora Doutora, UVV, Brasil

erica.pagel@uvv.br

ORCID iD: 0000-0003-4484-1963



Mudanças climáticas e habitação multifamiliar: influência dos materiais do peitoril de varanda no desempenho térmico de apartamento em Vitória/ES

RESUMO

Objetivo - Avaliar o desempenho térmico de diferentes materiais utilizados em peitoris de varanda, em um apartamento de um edifício multifamiliar em clima quente e úmido, considerando o contexto do aumento das temperaturas globais.

Metodologia – Realização de experimentos de campo para calibração do modelo, seguidos de simulações computacionais no software DesignBuilder para avaliar o desempenho térmico atual e futuro, comparando peitoris translúcidos (vidro) e opacos (alvenaria), com análise do consumo energético e custos financeiros associado.

Originalidade/relevância - O estudo preenche uma lacuna na compreensão dos impactos térmicos e energéticos do fechamento de varandas em climas tropicais, especialmente considerando as projeções climáticas futuras.

Resultados – O peitoril em alvenaria apresentou melhor desempenho térmico, com aumento de 7,7% nas horas de conforto na varanda e 4,3% na sala adjacente. As projeções futuras indicam redução significativa no conforto térmico para ambas as configurações.

Contribuições teóricas/metodológicas - Desenvolvimento de uma metodologia integrada que combina medições in loco, simulações computacionais e análise de cenários climáticos futuros para avaliação do desempenho térmico em edificações.

Contribuições sociais e ambientais – Fornece subsídios para revisão de normativas construtivas e desenvolvimento de soluções arquitetônicas mais sustentáveis, visando redução do consumo energético e adaptação às mudanças climáticas.

PALAVRAS-CHAVE: Arquitetura bioclimática. Desempenho térmico. Eficiência energética.

Climate Change and Multifamily Housing: The Influence of Balcony Sill Materials on Thermal Performance of Apartment in Vitória/ES

ABSTRACT

Objective – To evaluate the thermal performance of different types of materials used in balcony sills in a multifamily apartment in hot and humid climate, considering the context of rising global temperatures.

Methodology – Field experiments for model calibration, followed by computer simulations using DesignBuilder software to evaluate current and future thermal performance, comparing translucent (glass) and opaque (masonry) parapets, with analysis of associated energy consumption and financial costs.

Originality/Relevance – The study fills a gap in understanding the thermal and energy impacts of balcony enclosures in tropical climates, especially considering future climate projections

Results – The masonry parapet showed better thermal performance, with a 7.7% increase in comfort hours on the balcony and 4.3% in the adjacent living room. Future projections indicate significant reduction in thermal comfort for both configurations.

Theoretical/Methodological Contributions – Development of an integrated methodology combining on-site measurements, computer simulations, and future climate scenario analysis for building thermal performance evaluation.

Social and Environmental Contributions – Provides support for reviewing construction regulations and developing more sustainable architectural solutions, aiming at reducing energy consumption and adaptation to climate change.

KEYWORDS: Bioclimatic architecture. Thermal performance. Energy efficiency.



Cambio Climático y Vivienda Multifamiliar: La Influencia de los Materiales del antepecho de Balcón en el Desempeño Térmico de Apartamento en Vitória/ES

RESUMEN

Objetivo – Evaluar el desempeño térmico de diferentes materiales utilizados en antepechos de balcón en un apartamento de un edificio multifamiliar en clima cálido y húmedo, considerando el contexto del aumento de las temperaturas globales.

Metodología – Realización de experimentos de campo para calibración del modelo, seguidos de simulaciones computacionales en el software DesignBuilder para evaluar el desempeño térmico actual y futuro, comparando antepechos translúcidos (vidrio) y opacos (mampostería), con análisis del consumo energético y costos financieros asociados.

Originalidad/Relevancia – El estudio llena un vacío en la comprensión de los impactos térmicos y energéticos del cerramiento de balcones en climas tropicales, especialmente considerando las proyecciones climáticas futuras.

Resultados – El antepecho de mampostería presentó mejor desempeño térmico, con un aumento del 7,7% en las horas de confort en el balcón y 4,3% en la sala adyacente. Las proyecciones futuras indican una reducción significativa en el confort térmico para ambas configuraciones.

Contribuciones Teóricas/Metodológicas – Desarrollo de una metodología integrada que combina mediciones in situ, simulaciones computacionales y análisis de escenarios climáticos futuros para evaluación del desempeño térmico en edificaciones.

Contribuciones Sociales y Ambientales – Proporciona subsidios para la revisión de normativas constructivas y desarrollo de soluciones arquitectónicas más sostenibles, visando la reducción del consumo energético y adaptación al cambio climático.

PALABRAS CLAVE: Arquitectura bioclimática. Desempeño térmico. Eficiencia energética.



1 INTRODUÇÃO

O uso crescente de varandas envidraçadas em edifícios multifamiliares representa um desafio significativo para o conforto térmico e a eficiência energética, especialmente em climas tropicais. Embora tradicionalmente projetadas como espaços intermediários que proporcionam sombreamento e ventilação natural - características ideais de arrefecimento passivo (Maragno e Coch, 2011) - a tendência atual de fechamento com vidro compromete estas funções bioclimáticas originais, transformando um elemento arquitetônico de proteção térmica em um potencial amplificador do desconforto térmico.

Este problema é particularmente evidente na cidade de Vitória/ES, onde a proliferação de varandas envidraçadas intensificou-se após alterações no Plano Diretor Urbano em 1984, quando estas áreas deixaram de ser contabilizadas no Coeficiente de Aproveitamento. Como resultado, a área média das varandas aumentou de 10m² para 20m², estando presente em 97,4% dos novos projetos. Fatores ambientais locais, como ruídos externos e poeira da região industrializada, impulsionaram o fechamento dessas varandas com vidro, transformando espaços de transição térmica em extensões das áreas internas (Barros et al., 2018).

Estudos recentes demonstram os impactos negativos desta prática construtiva. Pagel, Alvarez e Reis Junior (2018) registraram um aumento médio de 3,83°C na temperatura do ar interior em comparação com o ambiente externo durante o verão. Saleh (2015) complementa que o fechamento em vidro, associado à massa térmica dos materiais construtivos, intensifica o ganho de calor, especialmente quando a fachada não oferece proteção térmica adequada.

O cenário torna-se ainda mais crítico considerando as mudanças climáticas globais. Segundo projeções do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change*), através das Trajetórias Representativas de Concentração (RCP), o aumento das temperaturas pode variar de 0,9°C a 5,4°C até 2100. Este aquecimento, combinado com o efeito das superfícies envidraçadas, demanda uma reavaliação urgente das práticas construtivas, especialmente considerando que a construção civil é responsável por mais de 20% das emissões globais de gases de efeito estufa e consome mais de um terço da energia mundial em sistemas de climatização (PNUMA; GlobalABC, 2024; Refaat; El-Zoklah, 2022).

Este estudo, portanto, propõe-se a investigar, através de simulações computacionais de energia predial (BES – *Building Energy Simulation*), como diferentes materiais utilizados em peitoris de varanda influenciam o desempenho térmico de apartamentos em clima tropical úmido, considerando tanto as condições climáticas atuais quanto cenários futuros de aquecimento global.

2 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho térmico de diferentes tipos de materiais utilizados em peitoris de varanda, em um apartamento de um edifício multifamiliar, localizado em clima quente e úmido, considerando o contexto do aumento das temperaturas globais resultantes das mudanças climáticas.

3 METODOLOGIA

Os procedimentos metodológicos foram organizados em três etapas:

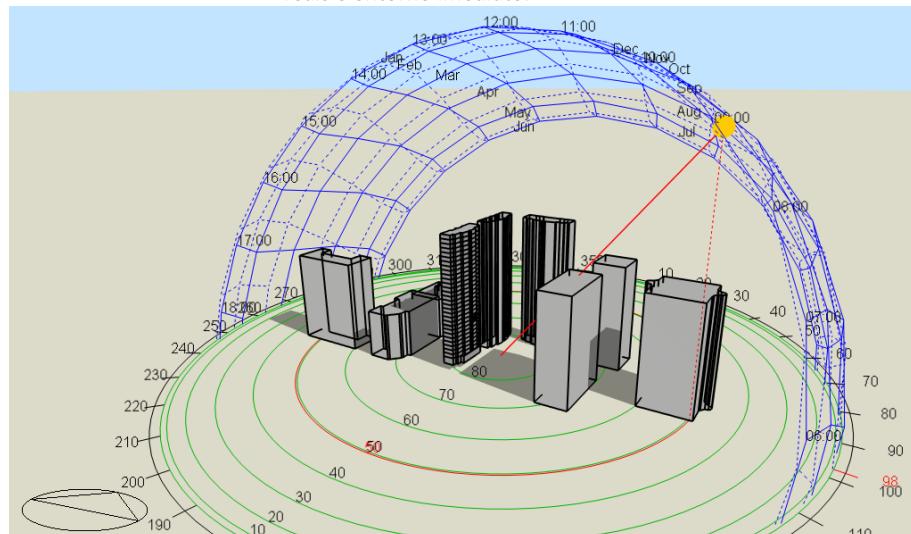
- Experimentos de campo: com medição de temperaturas do ar em um apartamento localizado em Vitória/ES, com o objetivo de calibragem do modelo.
- Simulação do desempenho térmico: avaliação do desempenho térmico atual e projetado para o futuro na sala de estar e na varanda de um apartamento, considerando dois tipos de materiais para o peitoril da varanda: translúcido, representado pelo vidro, e opaco, representado por alvenaria.
- Análise do consumo de energia e estimativa dos custos financeiros associados.

3.1 Simulação Computacional

Para a simulação computacional foi utilizado o programa DesignBuilder, versão 7.2, integrado ao EnergyPlus, versão 9.4, que realiza cálculos simulacionais termo energéticos. O arquivo climático base foi o TMY (*Typical Meteorological Year*) 2009-2023 do OneClimate Building (OneClimate Building, 2024), com extensão EnergyPlus Weather (EPW) representando as médias mensais das condições meteorológicas do período.

Para as projeções climáticas futuras, adotou-se o cenário RCP8.5, desenvolvidos por Bracht *et al.* (2024), que representa a trajetória mais pessimista em termos de emissões de gases de efeito estufa. A simulação combinou o modelo de circulação geral HadGEM2 com o modelo regional RegCM, utilizando a técnica de downscaling dinâmico para refinar as projeções globais para uma resolução espacial mais detalhada das condições climáticas locais.

Figura 1 – Perspectiva isométrica do edifício modelado no software DesignBuilder com coordenadas reais e entorno imediato.





O modelo foi ajustado conforme as dimensões do projeto original, considerando os materiais de construção e as propriedades físicas e térmicas do ambiente. As situações simuladas foram com o peitoril da varanda translúcido, representado por vidros verdes com 3mm, e com o peitoril da varanda em alvenaria, utilizando a mesma composição de que a fachada é composta. Ambas as situações foram simuladas com janelas abertas e janelas fechadas, visando verificar o impacto da ventilação natural no desempenho térmico dos ambientes. Entre os parâmetros considerados estão o número de usuários, o tipo de atividade realizada no espaço, o tempo de uso ou permanência, entre outros (Tabela 1). Quanto à configuração da entrada e saída de ar por meio das aberturas, foi utilizada a condição de ventilação natural calculada disponível no programa de simulação.

Tabela 1 - Parâmetros gerais para configurações das simulações.

Envoltória		
Componentes	Transmitância térmica (W/m ² K)	Capacidade térmica (kJ/m ² K)
Laje	2,808	148,5
Parede interna	3,047	191,6
Parede externa	3,078	198,6
Vidro verde 3mm	5,778	-
Ambiente e Usuário		
Área da sala de estar + área da varanda	35m ² + 12,9m ²	
Total de ocupantes	2 pessoas	
Rotina de ocupação das 7h00 às 22h	100%	
Rotina de ocupação das 22h às 7h00	0%	
Vestimenta	Inverno: 1,00 clo; Verão: 0,50 clo	
Taxa metabólica – comendo/bebendo	0,9	
Iluminação artificial	5,00 W/m – acionadas das 16h00 às 22h00	
Janelas – quando abertas	Acompanham ocupação	
Ventilação Natural	Calculada	

Fonte: As autoras (2025).

3.2 Experimento de campo e calibração do modelo

O objeto de estudo localiza-se na Enseada do Suá, município de Vitória, capital do Estado do Espírito Santo (Latitude 20°19'06" Sul e Longitude 40°17'50" Leste), caracterizado pelo clima tropical úmido, com temperatura média anual do ar entre 1990 e 2020 de 29,1°C, umidade relativa anual de 82,3% em 24h e evapotranspiração potencial anual de 1874,8 mm, segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2022). De acordo com o Projetando Edificações Energeticamente Eficientes (ProjetEEE) o local apresenta uma média de condições de desconforto por calor em 61% do ano (ProjetEEE, 2024). Com base na planta de elevação do edifício residencial, o apartamento onde o estudo foi conduzido se encontra a 29,4m de altura do nível da rua.

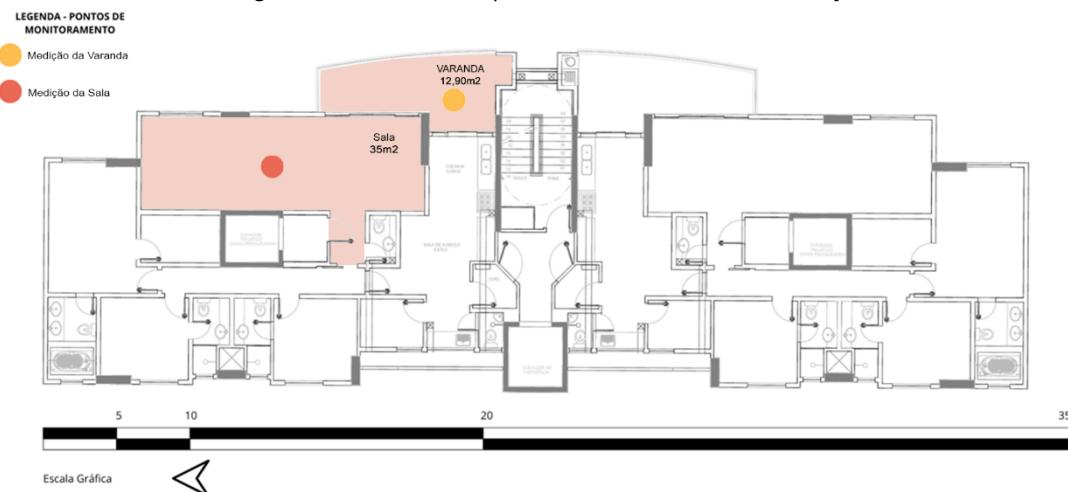
Figura 2 – a) Localização do edifício e o entorno imediato; b) Localização do apartamento na torre; c) Vitória/Espírito Santo, Brasil.



Fonte: a) Google Earth (2024); b) As autoras (2025); c) Adaptado do IBGE (2025).

O apartamento em análise está localizado em uma das torres do condomínio residencial, contando com três edifícios (figura 2A), cada um com 30 andares, sendo duas unidades por pavimento tipo e a em questão possui 142m² (figura 3). O monitoramento das temperaturas foi feito na unidade mais próxima da avenida, especificamente no 10º andar da coluna 2 (figura 2B), que fica mais interna em relação ao grupo de torres. Vizinho ao condomínio, há um hotel (à direita da figura 2A) influenciando no microclima local ao sombreá-lo entre o solstício de inverno e o equinócio de primavera. As medições de temperatura foram realizadas na varanda (figura 4A) e na sala (figura 4C) do apartamento, destacados na figura 3, permitindo uma análise detalhada das condições térmicas do espaço.

Figura 3 – Planta baixa do pavimento exibindo locais de medição



Fonte: As autoras (2025).

O equipamento utilizado para os registros foi o data logger HOBO (figura 4B), modelo U12-013, adequadamente protegido conforme as diretrizes da ISO 7726:2018 (International Organization for Standardization, 2018), com temperatura de operação na faixa 0°C a 50°C e desvio de temperatura interna de 0,1°C/ano (Sigma Sensors, 2025).

O abrigo utilizado durante o experimento tem como objetivo proteger o HOBO da radiação solar direta, que poderia afetar as medições. Para posicionar e ajustar a altura do conjunto (HOBO + abrigo), foi empregado um tripé com altura ajustável. A Figura 4 ilustra o conjunto montado e o HOBO utilizado neste experimento.

Figura 4 – a) Conjunto (Hobo + abrigo) da varanda; b) Data logger HOBO, modelo U12-013; c) Hobo em tripé na sala.



Fonte: a) As autoras (2025); b) TEMPCon, c) As autoras (2025).

O primeiro passo foi posicionar o tripé que sustenta o HOBO, ajustando-o para uma altura de 1,50 m acima do piso. O intervalo estabelecido para as medições pelo Data Logger foi de 1 minuto. As medições de temperatura e umidade relativa do ar foram realizadas simultaneamente, a cada minuto, durante 24 horas. Essa abordagem garantiu que não houvesse alterações na incidência solar nos ambientes durante esse período, o que poderia afetar as temperaturas do ar registradas. É relevante mencionar que o fechamento de vidros móveis da varanda, a janela e as portas que dão acesso aos ambientes permaneceram fechadas durante o experimento.

A calibração tem como objetivo desenvolver um modelo que represente o objeto de estudo da maneira mais precisa possível, minimizando a chance de que os dados gerados sejam inconsistentes com a realidade. Essa abordagem é amplamente utilizada em pesquisas científicas envolvendo simulações computacionais. Um exemplo é o trabalho de Pisello *et al.* (2012), que relatam ter realizado três ajustes no modelo para reduzir o índice de incerteza a níveis aceitáveis. Com base nessa pesquisa sobre calibração, decidiu-se que a metodologia a ser utilizada seguiria diretrizes de estudos semelhantes que alcançaram resultados positivos, como o artigo de Saleh (2015).

O processo de calibração do modelo iniciou-se com a comparação entre os resultados obtidos na simulação computacional, realizada no software DesignBuilder versão 7.2 (Designbuilder, 2023) e os dados coletados durante o experimento. O arquivo configurado foi



modificado no programa para assegurar que a orientação da fachada principal do edifício e as condições de uso das portas e janelas correspondessem às do experimento. Após essas configurações, as simulações foram realizadas, gerando dados para os mesmos dias em que ocorreu o experimento, entre 19 e 26 de janeiro de 2025, durante todas as horas do dia.

Para a análise comparativa, foram consideradas as medições da varanda e da sala. Utilizaram-se os métodos *Normalized Mean Bias Error* (NMBE) e o Coeficiente de Variação do *Root-Mean Square Error* (CVRMSE), que avaliam a incerteza dos resultados (Saleh, 2015). O NMBE normaliza o erro médio de polarização (MBE), refletindo a média dos erros em um conjunto de dados, enquanto o CVRMSE mede a variação dos erros entre dados medidos e simulados (Ruiz; Bandera, 2017). Esses índices são calculados por equações que relacionam os dados simulados e os coletados in loco, conforme as Equações 1 e 2.

$$\text{Equação 1} \quad NMBE = \frac{1}{\bar{m}} \times \frac{\sum_{i=1}^n (m_i - s_i)}{n - p} \times 100 (\%)$$

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

Onde:

\bar{m} = média dos valores medidos;

p = quantidade de parâmetros ajustáveis do modelo (para fins de calibração $p = 0$);

m_i = valores medidos in loco;

s_i = valores simulados; e

n = número de dados a serem comparados.

De acordo com Haberl, Culp e Claridge (2005), é importante que o NMBE e o CVRMSE sejam avaliados em conjunto para garantir uma verificação adequada do modelo, evitando que erros presentes no NMBE, como os de cancelamento, sejam negligenciados. Para que o modelo seja considerado calibrado, os resultados obtidos através das Equações 1 e 2 devem estar dentro da faixa de incerteza especificada na Tabela 2.

Tabela 2 – Faixa de incerteza associada com o NMBE e CVRMSE.

Critério de calibração	Indicador	ASHRAE 14:2002	IPMVP	FEMP
Critério mensal %	NMBE	±5	±20	±5
	CVRMSE	15	-	15
Critério horário %	NMBE	±10	±5	±10
	CVRMSE	30	20	30

Fonte: Adaptado de Ruiz e Bandera (2017).

Este estudo utilizou três métodos para calcular os índices de incerteza associados aos resultados da temperatura do ar: (a) cálculo dos valores de temperatura registrados ao longo de 24 horas; (b) considerando toda a amostra); e (c) cálculo das médias dos índices obtidos em cada um dos dias monitorados (8 dias). Esse procedimento, também seguido por Saleh (2015), foi realizado com o intuito de proporcionar uma análise diversificada dos valores obtidos para o

NMBE e o CVRMSE. A Tabela 3 apresenta os resultados dos índices de incerteza calculados, relacionando os dados do monitoramento de campo com a simulação numérica para a varanda. É importante ressaltar que os resultados se encontram dentro da faixa recomendada por Haberl, Culp e Claridge (2005), tanto para o NMBE quanto para o CVRMSE, considerando os três métodos de cálculo adotados. Assim, o modelo pode ser considerado adequado.

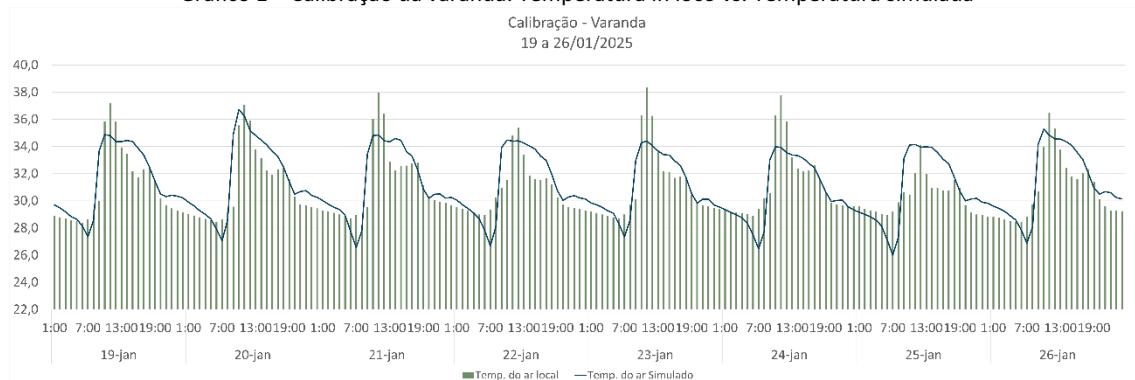
Tabela 3 – Faixa de incerteza associada com o NMBE e CVRMSE.

Método	NMBE	CVMSE	ASHRAE 14:2002	IPMVP	FEMP
Método 1	19/jan. -1,31	4,23	Atendido	Atendido	Atendido
	20/jan. -2,07	4,62	Atendido	Atendido	Atendido
	21/jan. -0,61	4,74	Atendido	Atendido	Atendido
	22/jan. -1,68	4,74	Atendido	Atendido	Atendido
	23/jan. 0,02	4,36	Atendido	Atendido	Atendido
	24/jan. 1,48	4,66	Atendido	Atendido	Atendido
	25/jan. -1,90	6,02	Atendido	Atendido	Atendido
	26/jan. -1,70	4,45	Atendido	Atendido	Atendido
Método 2	Considera a amostra toda	-0,97	1,68	Atendido	Atendido
Método 3	Média entre os índices de cada dia	-0,97	4,73	Atendido	Atendido

Fonte: As autoras (2025).

A partir do gráfico 1 podemos comparar as temperaturas registradas com as simuladas no DesignBuilder observando o atendimento do modelo.

Gráfico 1 – Calibração da varanda: Temperatura in loco vs. Temperatura simulada



Fonte: As autoras (2025).

3.3 Indicador de desempenho térmico

Os indicadores de desempenho térmico são fundamentais para avaliar a eficácia de um espaço residencial em garantir o conforto térmico dos ocupantes. Um dos conceitos-chave nesse contexto é o intervalo de conforto adaptativo, que se refere à faixa de temperaturas internas que permite que os ocupantes se sintam confortáveis em determinado ambiente.



O intervalo de conforto adotado foi o proposto pelo método adaptativo da ASHRAE 55 (2017), que considera o percentual de 90% de aceitabilidade e, assim como em Nico-Rodrigues *et al.*(2015), utilizando a temperatura operativa neutra (TN) como parâmetro envolvido, resultante da equação 3.

$$\text{Equação 3} \quad TN = 15,293 + 0,3106 \times TE$$

Onde:

TN é a média diária da temperatura operativa interna neutra [°C];

TE é a média diária da temperatura do ar externo (bulbo seco) [°C].

A Frequência de Desconforto (FDT) mede as horas em que a temperatura interna supera o limite de conforto. No estudo, um dia (24 horas) representa 100% de desconforto, com cada hora valendo 4,16%. Multiplicando esse valor pelo número de horas de desconforto, obtém-se o percentual diário. Esse cálculo abrange tanto os dias confortáveis quanto as horas de desconforto ao longo de um ano.

3.4 Consumo energético (kWh) e custo financeiro (R\$) para resfriamento das horas em desconforto

A análise do consumo energético em edifícios multifamiliares deve ser um determinante para efetuar escolhas construtivas, não apenas para entender o impacto ambiental das construções, mas também para estimar os custos financeiros envolvidos ao longo da vida da obra quando habitada. De acordo com informações da Agência Internacional de Energia (IEA), o consumo de energia em ambientes residenciais é majoritariamente associado à climatização, iluminação e eletricidade para aparelhos eletrodomésticos (IEA, 2025). Assim, a eficiência energética se torna um foco essencial para a redução de custos e a mitigar impactos ambientais.

Esses dados serão analisados considerando as tarifas de energia elétrica de baixa tensão residencial, chamada classe B1 pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2025), e os custos em função do consumo energético para manter os cômodos em conforto. Assim, a implementação de soluções de design que priorizem a eficiência energética não só gera benefícios ambientais, mas também contribui para a economia financeira, reforçando a importância de considerar esses aspectos no planejamento e na construção de novos empreendimentos. Para a realização do cálculo será utilizada a Tarifa de Energia (TE) de R\$0,3010/kWh e a tarifa do uso do sistema de distribuição (TUSD) de R\$0,3835/kWh (EDP Brasil, 2024).

A seleção do equipamento de ar-condicionado foi baseada no Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) utilizando a lista de dispositivos atualizada em abril de 2025 (Inmetro, 2022). Para o espaço conjugado da sala e varanda (47,9 m²) será necessária uma capacidade de 30.000BTUs do tipo split hi-wall. O fator decisivo foi o índice de desempenho de resfriamento Sazonal (IDRS) que avalia a eficiência energética de ar-condicionado considerando o desempenho em diversas condições climáticas ao longo do ano. Medido em Wh/Wh (watt-hora



por watt-hora), um valor mais alto no IDRS indica que o aparelho é mais eficiente (Daikin, 2025). Esse índice é importante para orientar os consumidores na escolha de aparelhos de ar-condicionado que sejam tanto eficientes quanto econômicos, refletindo de forma mais precisa a realidade climática do Brasil. Sendo assim, o modelo selecionado foi da marca Gree, modelo GWC30ATEXF-S6DNA1A, com IDRS de 7,44 Wh/Wh.

De acordo com o fabricante, o consumo anual é de 975,8 kWh/ano, o que resulta em um consumo por hora de 0,111kW/h. Para calcular o consumo energético acumulado ao longo do ano em cada situação simulada, multiplicou-se a FDT anual (em horas) pelo consumo horário do ar-condicionado e aplicou-se a tarifa vigente, conforme disponibilizada pela companhia responsável pela gestão da energia elétrica no Espírito Santo.

Para se chegar à Tarifa Final (TF), é necessário aplicar a Tarifa da ANEEL e os tributos incidentes na equação 4.

$$\text{Equação 4} \quad TF = \frac{TA}{\left(1 - \frac{T}{100}\right)}$$

Onde:

TF (Tarifa Final) é o valor final pelo consumidor por kWh [R\$];

TA (Tarifa da ANELL) é a soma das tarifas TUSD e TE [R\$];

T (Tributos) é a soma das alíquotas dos impostos.

Os impostos incidentes são Programa de Integração Social (PIS – 0,9%)/ Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS – 4,12%) e Imposto sobre Circulação de Mercadoria e Serviços (ICMS – 17%).

Por fim, multiplica-se o valor adquirido na Tarifa Final pelo consumo de cada situação simulada.

4 RESULTADOS

A análise das simulações revela não apenas aspectos técnicos do desempenho térmico, mas também implicações socioterritoriais no contexto urbano de Vitória/ES. O estudo demonstra como decisões arquitetônicas aparentemente pontuais – como a escolha do material do peitoril – podem impactar significativamente o modo de vida, as práticas culturais e o conforto dos usuários, além do consumo energético da cidade.

As simulações comparam a situação existente (peitoril em vidro) com a proposta (peitoril em alvenaria), considerando três cenários climáticos: atual (2009-2023), 2050 e 2090. Esta abordagem temporal permite compreender o impacto imediato das escolhas construtivas e sua sustentabilidade a longo prazo, considerando as temperaturas e os custos energéticos crescentes.



Tabela 3 – Porcentagem de horas em conforto anual na sala e varanda considerando todas as situações simuladas

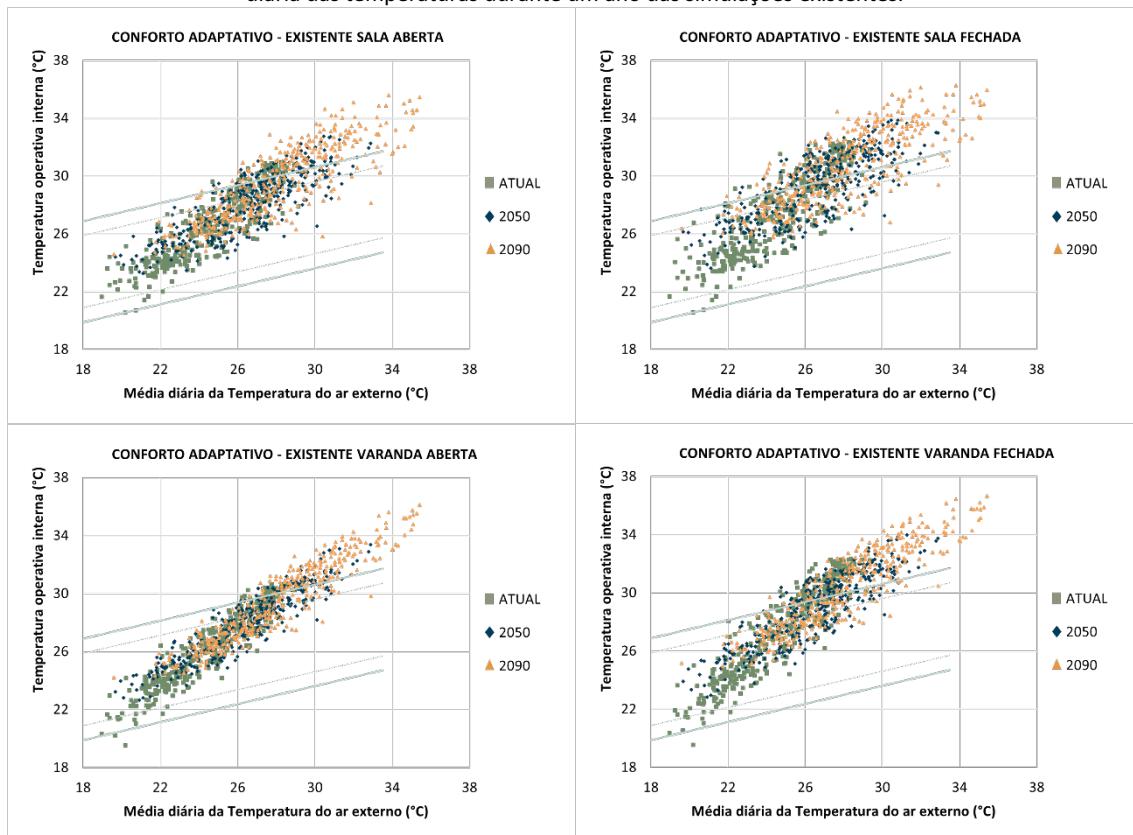
SITUAÇÃO	CÔMODO	EXISTENTE					
		ATUAL		FUTURO 2050		FUTURO 2090	
		Horas	%	Horas	%	Horas	%
FECHADA	Sala	4838	55,23%	3207	36,61%	2060	23,52%
	Varanda	4698	53,63%	3665	41,84%	2610	29,79%
ABERTA	Sala	6094	69,59%	4980	56,87%	3744	42,76%
	Varanda	6093	69,55%	5268	60,14%	3806	43,45%
PROPOSTO							
SITUAÇÃO	CÔMODO	ATUAL		FUTURO 2050		FUTURO 2090	
		Horas	%	Horas	%	Horas	%
FECHADA	Sala	5218	59,57%	3504	40,00%	2317	26,45%
	Varanda	5374	61,35%	4043	46,15%	2991	34,14%
ABERTA	Sala	6404	73,15%	5401	61,69%	3976	45,41%
	Varanda	6774	77,33%	5865	66,95%	4179	47,71%

Fonte: As autoras (2025).

Os resultados evidenciam que, enquanto o fechamento de vidro das varandas surge como resposta a problemas urbanos (poluição, ruído), esta solução cria desafios de conforto térmico e eficiência energética. Na configuração atual e com as janelas fechadas, o peitoril da varanda em vidro apresenta menor quantidade de horas anuais de conforto (53,63%) em comparação ao peitoril em alvenaria (61,35%). Esta diferença de 7,72% representa não apenas desconforto térmico, mas um gasto potencial com climatização.

O uso das aberturas mostra-se fundamental, aumentando significativamente as horas de conforto anual tanto com peitoril de vidro (69,55%) quanto com peitoril em alvenaria (77,33%). A escolha do material do peitoril impacta também o ambiente interno da sala de estar, onde há maior permanência dos usuários. Observa-se um aumento de 4,34% nas horas de conforto anual da sala com janelas fechadas (de 55,23% para 59,57%) e de 3,56% com janelas abertas (de 69,59% para 73,15%) ao substituir o vidro pela alvenaria.

Gráfico 2 – Intervalo de conforto adaptativo da ASHRAE 55 (2017) com 90% de aceitabilidade a partir da média diária das temperaturas durante um ano das simulações existentes.



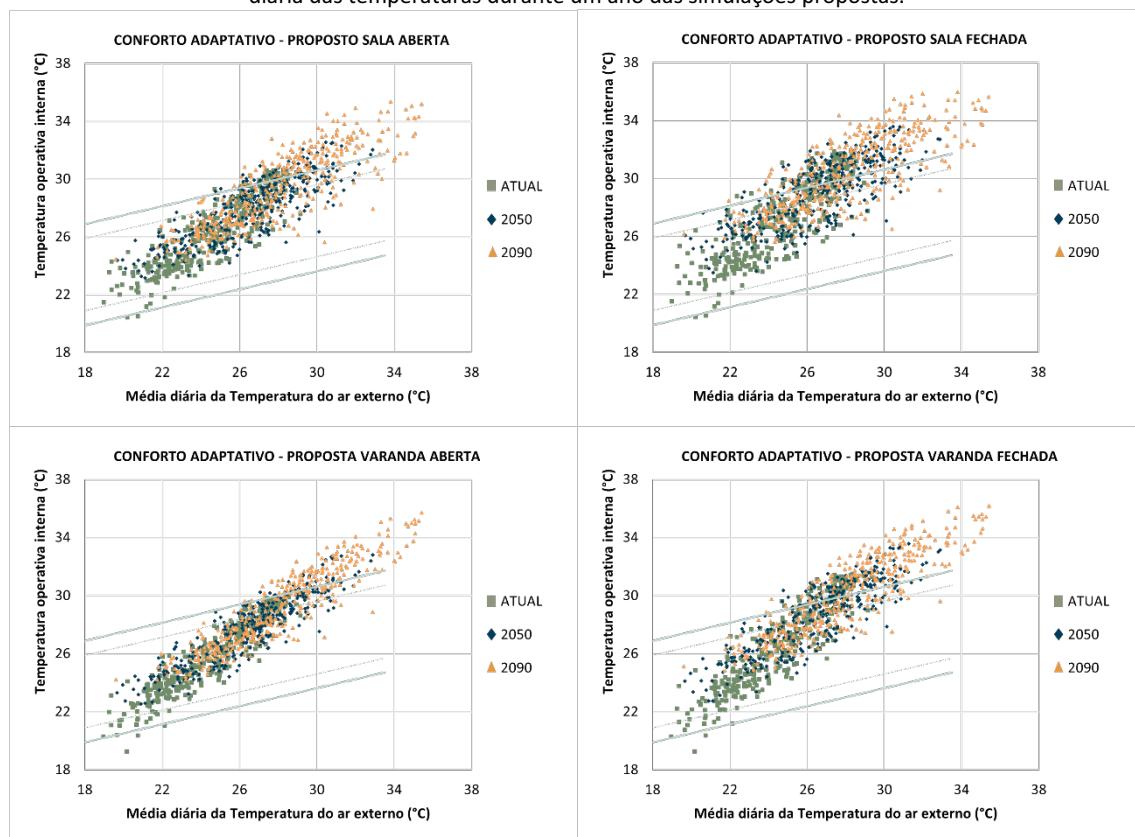
Fonte: As autoras (2025).

Em relação ao impacto do aumento das temperaturas globais, observa-se nos gráficos 2 e 3 o crescimento do desconforto interno ao longo do tempo. Contudo, os ambientes mantêm-se mais confortáveis quando é utilizado o peitoril que fornece maior proteção solar. Na situação existente, a média diária anual de horas de conforto na sala é de 13,25h (ambiente fechado) e 16,7h (ambiente aberto) no contexto atual. Em 2050, esses valores diminuem para 8,79h e 13,64h, e em 2090 para 5,64h e 10,26h, respectivamente.

Para a varanda na situação existente, as simulações climáticas no contexto atual apresentam 12,87h (ambiente fechado) e 16,7h (ambiente aberto) de conforto. Nas projeções para 2050, esses valores passam para 10,04h e 11,08h, e em 2090 reduzem para 7,15h e 10,89h, na mesma ordem.

Com a alteração para peitoril em alvenaria (gráfico 3), a média diária anual de horas de conforto na sala atual é de 14,3h (ambiente fechado) e 17,55h (ambiente aberto). Em 2050, esses valores passam para 9,6h e 14,8h, chegando em 2090 a 6,35h e 10,89h. A varanda com peitoril em alvenaria apresenta atualmente 14,72h (fechada) e 18,56h (aberta) de conforto, com projeções em 2050 para 11,08h e 16,07h, e em 2090 para 8,19h e 11,45h.

Gráfico 3 – Intervalo de conforto adaptativo da ASHRAE 55 (2017) com 90% de aceitabilidade a partir da média diária das temperaturas durante um ano das simulações propostas.



Fonte: As autoras (2025).

Estes resultados reforçam a importância da ventilação natural para ambientes em clima quente e úmido, e demonstram como a alteração na fachada, removendo apenas os vidros na parte inferior da varanda, proporciona mais conforto tanto para a varanda quanto para a sala, considerando tanto o arquivo climático histórico quanto as projeções futuras.

Do ponto de vista energético, o envidraçamento de varandas mostra-se ineficiente e sua prática deve ser desencorajada. O impacto das horas de desconforto afeta não apenas o consumo energético, mas também os custos financeiros. A análise considera o consumo de ar-condicionado ao longo de um ano representativo na FDT, especificamente com sala e varanda fechadas. Os resultados são apresentados em termos de custo (R\$) e consumo energético (kWh), conforme ilustrado na Tabela 4.

A maior economia causada pela mudança na fachada é vista na varanda com o clima atual evitando o consumo de 75 kWh/ano, uma redução de 9,7% que representaria R\$65,87 a mais na conta de energia. A segunda maior economia acontece na projeção futura 2090, também na varanda, em que o envidraçamento consumiria 42 kWh/ano, custando R\$37,12 adicionais, uma diferença de 6,2%.



Quando o envidraçamento de varandas for inevitável, Saleh (2015) sugere o ajuste da temperatura de conforto para 26°C em ambientes climatizados, o que em sua pesquisa resultou em economia de 35,6% nos gastos energéticos. Recomenda-se também que a área de estar adjacente à varanda seja adequadamente isolada, protegendo os ambientes internos do calor irradiado.

Tabela 4 – Porcentagem de dias em conforto anual na sala e varanda considerando todas as situações simuladas

SITUAÇÃO	CÔMODO	EXISTENTE						
		ATUAL		FUTURO 2050		FUTURO 2090		
		kWh/ano	R\$	kWh/ano	R\$	kWh/ano	R\$	
FECHADA	Sala	435,3	R\$ 382,14	616,4	R\$ 541,05	743,7	R\$ 652,81	
	Varanda	450,9	R\$ 395,78	565,5	R\$ 496,43	682,7	R\$ 599,22	
PROPOSTO								
SITUAÇÃO	CÔMODO	ATUAL		FUTURO 2050		FUTURO 2090		
		kWh/ano	R\$	kWh/ano	R\$	kWh/ano	R\$	
	FECHADA	Sala	393,2	R\$ 345,11	583,4	R\$ 512,12	715,2	R\$ 627,77
		Varanda	375,8	R\$ 329,91	523,6	R\$ 459,60	640,4	R\$ 562,10

Fonte: As autoras (2025).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo destacou a importância da seleção de materiais para peitoris de varandas em edifícios multifamiliares em climas tropicais, como o de Vitória/ES, e exibe como as simulações computacionais utilizadas são ferramentas indispensáveis para prever e avaliar o desempenho térmico em cenários climáticos futuros, permitindo decisões arquitetônicas mais fundamentadas e sustentáveis.

Os resultados apontam um desalinhamento entre as normativas construtivas vigentes e as demandas de sustentabilidade térmica. Enquanto os códigos de obra e planos diretores incentivam indiretamente o uso extensivo de vidro através de bonificações no coeficiente de aproveitamento para áreas de varanda, os dados demonstram que esta prática compromete significativamente o desempenho térmico das edificações.

A divergência entre regulamentação e eficiência energética evidencia a necessidade de uma revisão normativa que priorize parâmetros técnicos com desempenho mínimo recomendado, garantindo o conforto ambiental sobre tendências estéticas do mercado imobiliário. Esta revisão é fundamental para o desenvolvimento de cidades mais resilientes e adaptadas às mudanças climáticas.

Os peitoris de vidro, embora ofereçam uma estética moderna, mostram-se incompatíveis com as demandas de sustentabilidade e eficiência energética. Em contrapartida, os peitoris de alvenaria provaram-se mais eficientes ao propiciar um ambiente interno mais confortável, reduzindo a necessidade de condicionamento térmico artificial e os custos associados. A implementação de estratégias passivas de design, como o sombreamento eficaz



proporcionado pela alvenaria e a maximização da ventilação natural, mostra-se essencial para mitigar os efeitos do aquecimento global e melhorar o conforto térmico nas edificações.

Para futuras construções em regiões de clima quente e úmido, recomenda-se a utilização de materiais com alta capacidade de refletância solar, combinada com a integração de dispositivos de sombreamento eficazes. É fundamental adotar uma abordagem multidisciplinar no planejamento arquitetônico, considerando aspectos técnicos, ambientais e sociais de forma integrada. Estas práticas não apenas melhoram a qualidade de vida dos ocupantes, mas também contribuem para a redução do impacto ambiental das edificações, promovendo valorização imobiliária associada à sustentabilidade urbana.



REFERÊNCIAS

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Aprovadas as novas tarifas da EDP Espírito Santo**. Brasília, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2023/aprovadas-as-novas-tarifas-da-edp-espírito-santo>. Acesso em: 15 abr. 2025.

ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. **Standard 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Atlanta: ASHRAE, 2017.

BARROS, M. C. S. L. S. B. et al. A influência da legislação urbana no uso de varandas em edifícios residenciais multifamiliares em Vitoria/ES. **Encontro Nacional De Tecnologia Do Ambiente Construído**, v. 17, n. 1, p. 2083–2089, 2018.

BARROS, M. C. S. L. S. B. et al. Verticalização das moradias em Vitoria/ES e as transformações das fachadas nos edifícios residenciais multifamiliares. **Encontro Nacional De Tecnologia Do Ambiente Construído**, v. 18, n. 18, p. 1–8, 2020.

BRACHT, M. K. et al. Multiple regional climate model projections to assess building thermal performance in Brazil: understanding the uncertainty. **Journal of Building Engineering**, v. 88, n. 109248, 2024.

DAIKIN. **Eficiência energética: o papel das etiquetas de consumo de energia em ar-condicionado**. São Paulo, 2025. Disponível em: <https://www.daikin.com.br/blog/2025/02/03/eficiencia-energetica-do-ar-condicionado-entenda/>. Acesso em: 18 abr. 2025.

DESIGNBUILDER SOFTWARE LTD. **DesignBuilder Version 7.2: User Manual**. Gloucestershire: DesignBuilder Software, 2023.

EDP BRASIL. **Tarifas Vigentes**. São Paulo, 2024. Disponível em: <https://www.edp.com.br/tarifas-vigentes/>. Acesso em: 15 abr. 2025.

HABERL, J. S.; CULP, C.; CLARIDGE, D. E. ASHRAE's Guideline 14-2002 for measurement of energy and demand savings: how to determine what was really saved by the retrofit. In: **International Conference for Enhanced Building Operations**, 2005. Anais [...]. Pittsburgh: Energy Systems Laboratory, 2005.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Vitória (ES) | Cidades e Estados | IBGE**. Rio de Janeiro, 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/es/vitoria.html>. Acesso em: 16 abr. 2025.

IEA - International Energy Agency. **Buildings - energy system**. Paris, 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/energy-system/buildings>. Acesso em: 14 abr. 2025.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais climatológicas do Brasil**. Brasília, 2022. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais>. Acesso em: 22 out. 2024.

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **Programa brasileiro de etiquetagem: tabela de eficiência energética - ar-condicionado**. Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/avaliacao-da-conformidade/programa-brasileiro-de-etiquetagem/tabelas-de-eficiencia-energetica/ar-condicionadores-de-ar>. Acesso em: 17 abr. 2025.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7726:2018: ergonomics of the thermal environment - instruments for measuring physical quantities**. Geneva: ISO, 2018.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate change 2021: the physical science basis**. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2021. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Full_Report.pdf. Acesso em: 10 abr. 2025.



MARAGNO, G. V.; COCH, H. O desenho da varanda e sua repercussão ambiental na arquitetura das casas brasileiras. In: **Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído**, 2011. Anais [...]. Búzios: ANTAC, 2011.

NICO-RODRIGUES, E. A. et al. 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, n. 2, p. 7–23, 2015.

ONECLIMATE BUILDING. **Climate files database**. 2024. Disponível em: <https://climate.onebuilding.org/default.html>. Acesso em: 27 ago. 2024.

PAGEL, E. C. et al. Avaliação e percepção do usuário em relação ao conforto térmico e qualidade do ar em varandas com fechamento em vidros móveis situadas em uma região urbana industrializada. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, v. 13, n. 3, p. 57–78, 2018.

PAPAMANOLIS, N. An overview of the balcony's contribution to the environmental behavior of buildings. **Building and Environment**, v. 39, n. 2, p. 221–231, 2004.

PNUMA; GLOBALABC. **Relatório de status global para edificações e construção**. Nairobi: PNUMA, 2024. Disponível em: <https://www.unep.org/pt-br/resources/relatorios/relatorio-de-status-global-para-edificacoes-e-construcao>. Acesso em: 16 out. 2024.

PROJETEEE. **ProjetEEE - Projetando Edificações Energeticamente Eficientes**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2024. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/projeteee>.

REFAAT, T.; EL-ZOKLAH, M. The Vertical Greening Envelope and Its Effect on Energy Consumption Efficiency in a Residential Building, Case Study: Twin House, 6th of October City. **Journal of Engineering Sciences**, v. 50, n. 5, p. 226–247, 2022. Disponível em: https://jesaun.journals.ekb.eg/article_249516_3c87d7ba0783df4c7d30242582498f4c.pdf. Acesso em: 11 set. 2024.

SALEH, P. H. Thermal performance of glazed balconies within heavy weight/thermal mass buildings in Beirut, Lebanon's hot climate. **Energy and Buildings**, v. 108, p. 291–303, 2015.

SIGMA SENSORS. **Data Logger de Temperatura**. São Paulo, 2025. Disponível em: <https://sigmasensors.com.br/produtos/datalogger-de-temperatura-suporta-sensor-termopar-tipo-j-k-s-e-t>. Acesso em: 7 abr. 2025.

TEMPCON. **HOBO U12-013 temperature/relative humidity/2 external channel data logger**. Londres: Tempcon Instrumentation, 2024. Disponível em: <https://www.tempcon.co.uk/hobo-u12-013-hobo-u12-temp-rh-2xext-logger-u12-013>. Acesso em: 5 nov. 2024.

TOOKABONI, M. P. et al. A Comparative Analysis of Different Future Weather Data for Building Energy Performance Simulation. **Climate**, v. 9, n. 2, p. 37, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2225-1154/9/2/37>. Acesso em: 18 out. 2024.



DECLARAÇÕES

CONTRIBUIÇÃO DE CADA AUTOR

CMB: Curadoria de Dados, Análise Formal, Investigação, Metodologia, Redação - Rascunho Inicial, Revisão e Edição Final.

ECP: Concepção e Design do Estudo, Aquisição de Financiamento, Redação - Revisão Crítica, Supervisão.

DECLARAÇÃO DE CONFLITOS DE INTERESSE

Nós, Camila Mauro Borges e Érica Coelho Pagel, declaramos que o manuscrito intitulado "Mudanças climáticas e habitação multifamiliar: influência dos materiais do peitoril de varanda no desempenho térmico de apartamento em Vitória/ES":

1. **Vínculos Financeiros:** Não possui vínculos financeiros que possam influenciar os resultados ou interpretação do trabalho.
 2. **Relações Profissionais:** Não possui relações profissionais que possam impactar na análise, interpretação ou apresentação dos resultados.
 3. **Conflitos Pessoais:** Não possui conflitos de interesse pessoais relacionados ao conteúdo do manuscrito.
-