DESEMPENHO TÉRMICO E ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS FRENTE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS: revisão sistemática de literatura no uso de arquivos climáticos futuros[1]

OLIVEIRA, Bianca Bonachela de (1); SILVA, Denise Helena (2)

(1) FAUUSP, bianca.bonachela.oliveira@usp.br

(2) FAUUSP, dhduarte@usp.br

RESUMO

Em avaliações de desempenho térmico e energético em edificações pelo método de simulação utiliza-se arquivos climáticos moldados a partir de dados climáticos históricos, fator que não condiz com a realidade trazida pelas mudanças climáticas. Visando mitigar tal problema e trazer o "futuro" para a avaliação de desempenho térmico, começaram a ser desenvolvidos arquivos climáticos futuros baseados nas projeções de aumento de temperatura descritos em relatórios do "Intergovernmental Panel on Climate Change" (IPCC). Este artigo integra pesquisa de mestrado em andamento e apresenta os resultados de revisão sistemática de artigos científicos publicados entre 2020 e 2025 que utilizaram arquivos climáticos futuros, com o objetivo de identificar convergências metodológicas e subsidiar a elaboração de procedimento orientativo para sua aplicação em avaliações de desempenho térmico voltada a edifícios residenciais. Dentre as principais informações estão: o método de desenvolvimento do arquivo climático futuro e seu desenvolvedor, principais assuntos discutidos, indicadores utilizados e como a ferramenta está sendo empregada. Com base nos resultados, foi possível identificar estrutura recorrente: as avaliações são usualmente baseadas numa comparação entre o "hoje" e o "futuro", podendo agregar ajustes pontuais (possibilidades de modificações na envoltória da edificação, entre outros).

Palavras-chave: arquivos climáticos futuros; mudanças climáticas; desempenho térmico; conforto térmico; edifícios residenciais

ABSTRACT

In thermal and energy performance assessments of buildings using simulation methods, climate files generated from historical climate data are commonly used — a factor that does not align with the reality imposed by climate change. To mitigate this issue and incorporate the "future" into thermal performance evaluations, future weather files have started to be developed based on temperature rise projections described in reports from the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). This article is part of an ongoing master's research and presents the results of a systematic review of scientific publications (2020–2025) that used future weather files, with the aim of identifying methodological convergences and supporting the development of a guiding procedure for their application in thermal performance assessments of residential buildings. Key information collected includes: the method used to develop the future weather file and its developer, main topics addressed, performance indicators used,

[1] OLIVEIRA, Bianca Bonachela de; SILVA, Denise Helena. DESEMPENHO TÉRMICO E ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS FRENTE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS: revisão sistemática de literatura no uso de arquivos climáticos futuros. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., 2025, São Paulo. **Anais**... São Paulo: FAUUSP, 2025. p. 1-9. DOI 10.46421/sbqp.v9i.7776

and how the tool has been applied. Based on the results, a recurring structure was identified: assessments are usually based on a comparison between "present" and "future" scenarios, which may include specific adjustments (such as modifications in the building envelope, urban heat island effect, among others).

***Keywords**: future weather files; climate change; thermal performance; thermal comfort; residential buildings*

1 INTRODUÇÃO

Periodicamente, o IPCC ("Intergovernmental Panel on Climate Change"), organismo associado à Organização das Nações Unidas (ONU) responsável por compilar o que há de mais recente e confiável conhecimento de base científica sobre as mudanças climáticas publica relatórios de avaliação que, além de sintetizar e atualizar o conhecimento sobre o tema, também sumariza possibilidades de impactos que as mudanças do clima podem trazer para a humanidade com o objetivo final de servir como material orientativo na definição de políticas governamentais de mitigação e adaptação à realidade projetada para os próximos anos. (IPCC, 2025)

No "Assessment Report" ou "AR" mais recente, o AR6, há constatações alarmantes, dentre elas, de acordo com os autores, aponta-se que, mesmo com o crescimento das iniciativas governamentais entre o relatório anterior (AR5) e o mais atual, as projeções de emissões de CO2 estimadas até 2030 tornam provável que o aquecimento da superfície global ultrapasse os 1,5°C durante o século XXI, o que torna mais difícil cumprir a meta de limitar o aquecimento em menos de 2°C quando em comparação com o clima anterior ao processo de industrialização (Lee et al., 2023), conforme pactuado no Acordo de Paris (Nações Unidas Brasil, 2015). A possibilidade vista como provável pelo relatório do IPCC tornou-se realidade em 2024. De acordo com o site Copernicus, 2024 se tornou o primeiro ano em que a temperatura média global claramente excedeu os 1,5°C. (Copernicus, 2025)

Dados da EPE (Empresa de Pesquisa Energética) reforçam a emergência do tema, no "Atlas da Eficiência Energética Brasil - 2024" (EPE, 2024), é apontado que em 2023 houve aumento de consumo de energia na ordem de 150kWh por domicílio quando comparado aos consumos dos anos de 2020, 2021 e 2022. O aumento dos consumos é justificado pelo uso mais intenso de aparelhos de ar condicionado e ventiladores devido à intensa onda de calor que ocorreu no final do ano de 2023 devido à chegada do El Niño (EPE, 2024). Visando justamente trazer a variável "futuro" para a prática das simulações computacionais de modelos termodinâmicos de edificações, começaram a ser desenvolvidos arquivos climáticos considerando cenários futuros de aquecimento conforme os relatórios do IPCC (Crawley e Barnaby, 2011). O presente trabalho se insere nesse contexto, ao buscar entender como os arquivos climáticos futuros estão sendo empregados.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para a elaboração dos arquivos climáticos futuros, Belcher, Hacker e Powell (2005) ressaltam a existência de quatro métodos que podem ser utilizados: "stochastic weather generation", interpolação, "morphing" e "downscaling". Os quatro primeiros métodos são estatísticos, enquanto o último é desenvolvido através da regionalização de modelos climáticos globais (CGMs).

Tootkaboni et al. (2021) em estudo comparativo entre resultados de modelo de simulação termo-energetica de uma residência típica da cidade de Roma (Itália) com arquivos climáticos futuros provindos do CCWorldWeatherGen (Morphing), Meteonorm (stochastic weather generation), WeatherShift (Morphing) e arquivo elaborado por "downscaling" (EURO-CORDEX) constatou que os valores de demanda de resfriamento nos meses de verão dos ambientes internos da edificação simulada são significativamente maiores nos arquivos climáticos gerados por

métodos estatísticos do que os elaborados por "downscaling", dessa forma, os autores concluíram que os arquivos climáticos provindos de "downscaling" representariam melhor a variabilidade temporal do clima, resultando em banco de dados climáticos com menores distorções.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

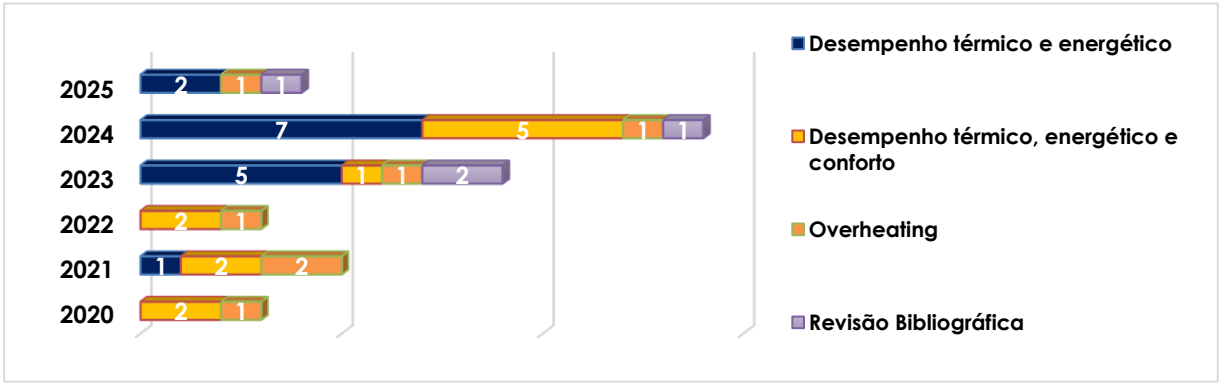
O levantamento do material foi executado pela plataforma de pesquisa "ScienceDirect" através das palavras-chave: "future weather file", "residential building", "tropical climate" e "subtropical climate". Adicionalmente, foi incluído filtro visando material publicado entre 2025 e 2020. No total, foram encontrados 242 artigos científicos, sendo 34 deles selecionados como de interesse para compor os levantamentos aqui apresentados.

Dentre os aspectos a serem considerados no levantamento estão: (1) Origem do arquivo climático de cenário futuro; (2) Modelo numérico utilizado nas simulações; (3) Se trata-se de estudo de Desempenho térmico e energético de edifícios ou de conforto térmico; (4) Índice ou indicador utilizado como métrica; (5) Como o arquivo climático futuro é utilizado; (6)Objetivo principal da pesquisa apresentada no artigo; (7) Se e como o entorno da edificação avaliada foi considerado na simulação computacional (apenas o efeito de sombreamento ou estimativa de ilha de calor urbana); (8) Principais conclusões.

4 RESULTADOS

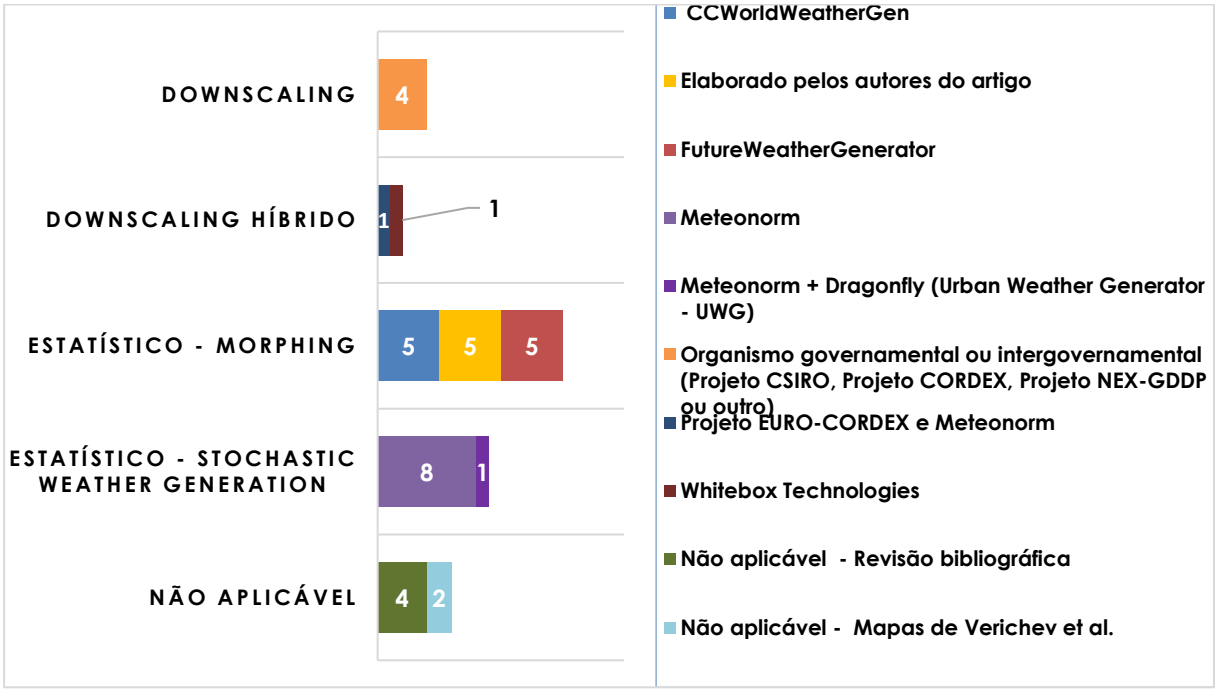
Com base na leitura dos artigos selecionados, as informações foram sistematizadas em uma planilha de Excel, a qual foi utilizada para a elaboração dos gráficos a seguir. A informação "bruta" por cada um dos artigos consultados pode ser acessada através do link < https://drive.google.com/file/d/1NOjMK-x5wv5hdubNbhCQNrXUwcICyPTu/view?usp=sharing >.

Gráfico 1 – Artigos por macrotema e ano de publicação



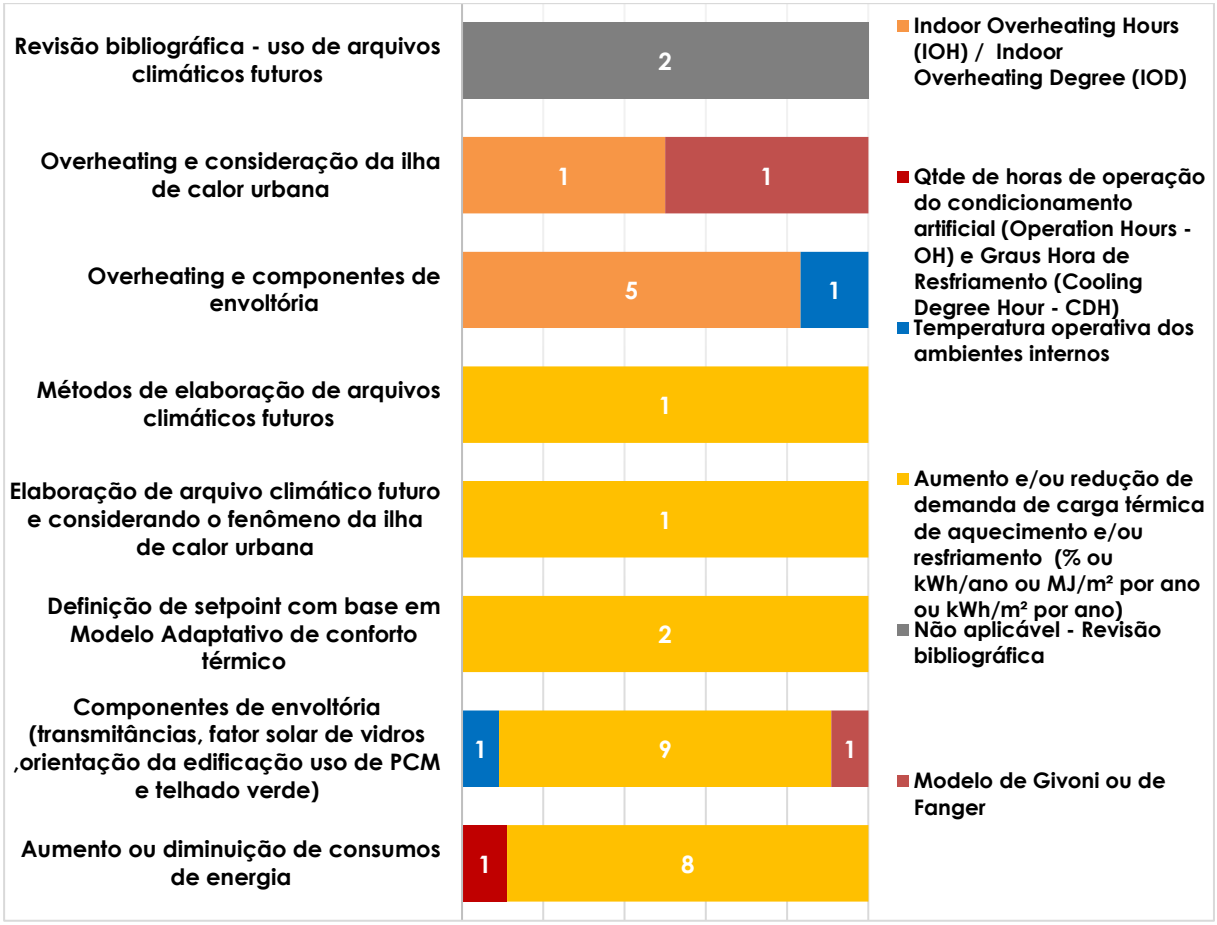
Fonte: As autoras.

Gráfico 2 – Método de elaboração dos arquivos climáticos futuros por desenvolvedor



Fonte: As autoras.

Gráfico 3 – Principais assuntos tratados e indicadores utilizados por artigo consultado



Fonte: As autoras.

Quadro 1 – Estrutura típica de uma avaliação de desempenho térmico de edifícios de acordo com os artigos consultados

(I) MODELO DE SIMULAÇÃO DE REFERÊNCIA	(II) ARQ. CLIMÁTICO FUTURO	(III) HIPÓTESES DE MELHORIA DA ENVOLTÓRIA OU AJUSTE DE PARÂMETROS DO MODELO DE SIMULAÇÃO	(IV) ANÁLISE DE RESULTADOS

Escolher: Programa computacional adequado; **Desenvolver:** geometria do modelo; **Se pertinente**: Ajuste do modelo de acordo com parâmetros de ocupação definidos em normas ou legislações locais	**Definir:** qual ferramenta usar (morphing, downscaling etc), horizonte de futuro (2050 e 2100, por exemplo) e selecionar os cenários de emissão do IPCC relevantes (RCPs, por exemplo). **Se pertinente:** elaboração ou ajuste do arquivo climático futuro, por exemplo, considerando efeito de ilha de calor urbana	**Definir:** Possibilidade de ajustes na composição da envoltória do modelo de simulação (por exemplo, ajuste de fator solar de vidros, dispositivos de sombreamento, orientações do edifício, isolamento térmico em cobertura ou paredes etc.); **Se pertinente:** ajuste de acionamento de ar-condicionado de acordo com normativas específicas (por ex., modelo adaptativo)	**Definir:** indicadores de medição; **Comparar:** diferentes resultados de cenários climáticos futuros e/ou hipóteses de diferenças na envoltória da edificação, em especial com o tempo presente

Fonte: As autoras.

5 CONCLUSÕES

Dentre as principais observações, constatou-se que o número de artigos que fizeram uso de arquivos climáticos futuros vêm aumentando (denotando interesse crescente no tema), também evidenciou-se que esses arquivos são geralmente desenvolvidos por métodos de "morphing", "stochastic weather generation" ou "downscaling", sendo os dois primeiros usualmente desenvolvidos por organizações privadas enquanto o último é geralmente elaborado por organizações públicas, provavelmente por conta de seu nível de complexidade maior.

Sobre os principais assuntos tratados nos artigos, se observa maior utilização dessa ferramenta na temática de contabilização de consumos de energia, contudo, destaca-se a quantidade significativa de artigos cujo assunto principal refere-se a "overheating" (sobreaquecimento) tendo como referência indicadores descritos na norma inglesa "CIBSE TM59 - Design methodology for the assessment of overheating risk in homes" (2017). Tal fator pode demonstrar uma possibilidade futura de novo indicador de avaliação aplicável a edificações residenciais.

Identificou-se estrutura metodológica recorrente no uso de arquivos climáticos futuros, com poucas variações entre os estudos. As análises costumam se basear na comparação entre duas situações principais: o desempenho térmico e energético da edificação no contexto atual e sob uma ou mais hipóteses futuras de aquecimento. Em alguns casos, incluem-se variações com ajustes nos arquivos climáticos, melhorias na envoltória da edificação etc.

Dentro da amostragem, evidenciou-se que é comum os autores não apresentarem de maneira clara critérios de seleção do arquivo climático futuro empregado em seus trabalhos, o que levanta a preocupação sobre possíveis distorções entre os arquivos produzidos por diferentes métodos e desenvolvedores. Nesse contexto, ressalta-se a necessidade de pesquisas comparativas entre arquivos climáticos futuros de diferentes desenvolvedores e análises críticas aprofundadas sobre a confiabilidade dessa ferramenta.

Além do uso de arquivos climáticos futuros, há autores que embasaram o estudo do

"futuro" traçando a hipótese de mudanças de características da zona bioclimática de uma certa localidade se baseando em mapas produzidos por Verichev et al. Esse foi o método de análise utilizado por LÓPEZ-OCHOA (2024) e ALBATAYNEH (2024).

REFERÊNCIAS

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **About the IPCC**. Genebra: IPCC, 2025.

LEE, H-S. et al. (IPCC). **Syntheses report of the IPCC sixth assessment report (AR6) – Summary for Policymakers**. Genebra: IPCC, 2023.

COPERNICUS. Global Climate Highlights 2024. Bonn: **Copernicus Climate Change Service**, 2025.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Atlas da Eficiência Energética Brasil 2024**. Rio de Janeiro: EPE, 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Plano Decenal de Expansão de Energia 2034 – Caderno de Eficiência e Demanda**. Rio de Janeiro: EPE, 2024.

BARNABY, Charles S.; CRAWLEY, Drury B. **Weather data for building performance simulation.** In: HENSEN, Jan L. M.; LAMBERTS, Roberto (Org.). Building performance simulation for design and operation. London: Routledge, 2011. p. 36-55.

BELCHER, Stephen E.; HACKER, Jacob N.; POWELL, Dejan S**. Constructing design weather data for future climates.** Building Services Engineering Research and Technology, v. 26, n. 1, p. 49–61, fev. 2005.

VERICHEV, K.; ZAMORANO, M.; CARPIO, M. **Effects of climate change on variations in climatic zones and heating energy consumption of residential buildings in the southern Chile**. Energy and Buildings, v. 215, p. 109874, 2020.

TOOTKABONI, Mamak P.; BALLARINI, Ilaria; ZINZI, Michele; CORRADO, Vincenzo. **A comparative analysis of different future weather data for building energy performance simulation**. Climate, v. 9, n. 2, p. 37, 2021.

LÓPEZ-OCHOA, Luis M.; LAS-HERAS-CASAS, Jesús; CARPIO, Manuel; SAGREDO-BLANCO, Enrique. **Adaptation of rural residential buildings in a Mediterranean climate to climate change via energy renovation.** Journal of Building Engineering, v. 94, p. 109913, 2024.

ALBATAYNEH, Aiman; ALBADAINAH, Renad; JUAIDI, Adel. **Climate change impacts on residential energy usage in hot semi-arid regions: A case study of Amman, Jordan**. International Journal of Sustainable Built Environment, v. 83, p. 101576, 2024.

BAGLIVO, Cristina; CONGEDO, Paolo Maria; MAZZEO, Domenico**. Pervasive role of climate change on residential building behavior in different climates.** In: TORGAL, Fernando Pacheco; GORAN-GRANQVIST, Claes (Ed.). Design Principles for Climate Emergencies. Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering, 2023. p. 229-251.

BAMDAD, Keivan. Cool roofs: **A climate change mitigation and adaptation strategy for buildings**. Building and Environment, v. 236, 2023.

CONGEDO, Paolo Maria; BAGLIVO, Cristina; SEYHAN, Aslıhan Kurnuc; MARCHETTI, Raffaele. **Worldwide dynamic predictive analysis of building performance under future climate scenarios.** Journal of Building Engineering, v. 42, p. 103057, 2021.

CRUZ, Alexandre Santana; MENDES, Vítor Freitas; MENDES, Júlia Castro; CALDAS, Lucas Rosse; BASTOS, Leopoldo Eurico Gonçalves. **What lies ahead? The future performance of Global South buildings under climate change**: A systematic literature review. Journal of Building Engineering, v. 98, p. 111486, 2024.

FARAHANI, Azin Velashjerdi; JOKISALO, Juha; KORHONEN, Natalia; JYLHÄ, Kirsti; KOSONEN, Risto; LESTINEN, Sami. **Performance assessment of ventilative and radiant cooling systems under climate change in Nordic office buildings.** Journal of Building Engineering, v. 57, p. 104951, 2022.

GAMERO-SALINAS, Juan; MONGE-BARRIO, Aurora; KISHNANI, Nirmal; LÓPEZ-FIDALGO, Jesús; SÁNCHEZ-OSTIZ, Ana. **Passive cooling design strategies as adaptation measures for overheating risk in tropical climates**. Energy and Buildings, v. 252, p. 111417, 2021.

GUO, Jialiang; XIA, Dawei; ZHANG, Lei; ZOU, Yukai; YANG, Xiaolin; XIE, Weien; ZHONG, Zhengnan. **Future indoor overheating risk for urban village housing in subtropical China**. Building and Environment, v. 246, p. 110978, 2023.

HERACLEOUS, C.; MICHAEL, A.; SAVVIDES, A.; HAYLES, C. **Climate change resilience of school premises in Cyprus.** Journal of Building Engineering, v. 44, p. 103358, 2021.

HU, Yan; AI, Zhengtao; WARGOCKI, Pawel; CHANG, Yufan; ZHANG, Guoqiang. **Ventilative cooling of residential buildings in China: A simulation-based study.** Energy and Buildings, v. 317, p. 114382, 2024.

JALALI, Zahra; SHAMSELDIN, Asaad Y.; GHAFFARIANHOSEINI, Amir. **Impact assessment of climate change on energy performance and thermal comfort of residential buildings in Australia.** Building and Environment, v. 243, p. 110627, 2023.

JALALI, Zahra; SHAMSELDIN, Asaad Y.; GHAFFARIANHOSEINI, Amir. **Urban microclimate impacts on residential building energy demand: A case study in Auckland, New Zealand**. Energy and Buildings, v. 53, p. 101808, 2024.

JIMÉNEZ TORRES, M.; BIENVENIDO-HUERTAS, David; MAY TZUC, O.; BASSAM, A.; RICALDE CASTELLANOS, Luis J.; FLOTA-BAÑUELOS, M. **Assessment of climate change's impact on energy demand in India: An application of weather-based technical indexes**. International Journal of Sustainable Built Environment, v. 72, p. 185-201, 2022.

KULUMKANOV, Nursat; MEMON, Shazim Ali; KHAWAJA, Saleh Ali**. Evaluating future building energy efficiency and environmental impact using phase change materials under climate change scenarios**. Journal of Building Engineering, v. 93, p. 109413, 2024.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES (LABEEE). **Parceria LabEEE e INPE: Desenvolvimento de Arquivos Climáticos Futuros para Simulação Energética de Edificações**. Florianópolis: UFSC, 2025.

LI, X.; WANG, Y.; WANG, Y.; WANG, Y.; WANG, Y.; WANG, Y. **Thermal performance of a novel building envelope integrated with phase change material and solar air collector: A numerical study.** Sustainable Cities and Society, v. 89, p. 104298, 2023.

LIKA, Katerina; DERVISHI, Sokol. **Exploring the impact of high-rise residential building morphology on energy performance: A case study in Hong Kong**. Energy Policy, v. 326, p. 119452, 2024.

MULVILLE, M.; HARRINGTON, S.; LI, C.; RAUSHAN, K.; ESSIEN-THOMPSON, E.; AHERN, C. **Dwelling Overheating Risk in Cool Climates**. Indoor Environments, v. 2, p. 100072, 2025.

NURLYBEKOVA, Gauhar; MEMON, Shazim Ali; ADILKHANOVA, Indira. **Quantitative evaluation of the thermal and energy performance of buildings with phase change material: The impact of climate conditions**. Energy, v. 209, p. 118342, 2020.

RAJAGOPALAN, Priyadarsini; CHEN, Dong; AMBROSE, Michael. **Investigating envelope retrofitting potential and resilience of Australian residential buildings − A stock modelling approach**. Energy and Buildings, v. 325, p. 114990, 2024.

RINCÓN, Lídia; GANGOLELLS, Marta; MEDRANO, Marc; CASALS, Miquel. **Climate change mitigation and adaptation in Spanish office stock through cool roofs**. Energy and Buildings, v.

323, p. 114738, 2024.

RODRIGUES, Eugénio; PARENTE, Jean; FERNANDES, Marco S. **Building for tomorrow: Analyzing ideal thermal transmittances in the face of climate change in Brazil**. Applied Energy, v. 355, p. 122360, 2024.

SÁNCHEZ-GARCÍA, Daniel; BIENVENIDO-HUERTAS, David; MARTÍNEZ-CRESPO, Jorge; DE DEAR, Richard. **The case of an Australian model considering climate change**. Building and Environment, v. 258, p. 111647, 2024.

SHEN, Pengyuan; LI, Yu; GAO, Xiaoni; ZHENG, Yiqian; HUANG, Peiying; LU, Ang; GU, Wei; CHEN, Shuxing. **Recent progress in building energy retrofit analysis under changing climate conditions: A comprehensive review**. Applied Energy, v. 383, p. 125441, 2025.

SKANDALOS, N.; KARAMANIS, D**. Decarbonizing operational emissions in urban neighborhoods with rooftop photovoltaics and nature-based solutions under different grid decarbonization scenarios**. Energy and Buildings, v. 329, p. 115306, 2025.

TOMRUKCU, Gokce; ASHRAFIAN, **Touraj. Climate-resilient building energy efficiency retrofit: A case study of residential buildings in Turkey**. Energy and Buildings, v. 316, p. 114315, 2024.

VELOSO, A. C. O.; SOUZA, R. V. G. **Climate change impact on energy savings in mixed-mode ventilation buildings in Brazil.** Energy and Buildings, v. 318, p. 114418, 2024.

YAQUBI, Obaidullah; RODLER, Auline; GUERNOUTI, Sihem; MUSY, Marjorie. **Creation and application of future typical weather files in the evaluation of indoor overheating in free-floating buildings**. Building and Environment, v. 216, p. 109059, 2022.

YUAN, Jihui; JIAO, Zhichao; XIAO, Xiong; EMURA, Kazuo; FARNHAM, Craig. **Impact of future climate change on energy consumption in residential buildings in Japan**. Energy Reports, v. 11, p. 1675-1692, 2024.

ZHAN, Haoxiang; MAHYUDDIN, Norhayati; SULAIMAN, Raha; KHAYATIAN, Fazel. **Phase change material (PCM) integrations into buildings in hot and humid climates: A critical review**. Construction and Building Materials, v. 397, p. 132312, 2023.

ZOU, Jiwei; GAUR, Abhishek; WANG, Liangzhu (Leon); LAOUADI, Abdelaziz; LACASSE, Michael. **Assessment of future overheating conditions in Canadian cities using typical and extreme reference years derived from future climate datasets**. Building and Environment, v. 218, p. 109102, 2022.

ZUNE, May; TUBELO, Renata; RODRIGUES, Lucelia; GILLOTT, Mark. **Improving building thermal performance through an integration of Passivhaus envelope and shading in a tropical climate**. Energy and Buildings, v. 252, p. 111417, 2021.