XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ENTAC 2022

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável
Canela, Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

Série histórica versus ano meteorológico típico: Desempenho térmico de modelo unifamiliar com três alternativas de envoltória em Brasília

Multi-year weather data versus typical meteorological year: Thermal performance of a single-family model with three envelope alternatives in Brasília

Matheus Körbes Bracht
LabEEE – UFSC | Florianópolis | Brasil | matheus.bracht@posgrad.ufsc.br
Vanessa Aparecida Caieiro da Costa
Saint-Gobain Research Brasil | Capivari | Brasil | vanessa.costa@saint-gobain.com
Ana Paula Melo
LabEEE – UFSC | Florianópolis | Brasil | a.p.melo@ufsc.br
Roberto Lamberts
LabEEE – UFSC | Florianópolis | Brasil | roberto.lamberts@ufsc.br

Resumo

O trabalho consiste na simulação do desempenho térmico de uma edificação, considerando uma série histórica de Brasília em comparação a um arquivo de ano meteorológico típico (TMY) e o arquivo climático INMET utilizado na NBR15575. Esses arquivos são usados como dados de entrada para simulações termo energéticas de uma edificação unifamiliar com três diferentes envoltórias. Foi possível observar o aumento de temperaturas durante a série histórica, assim como o aumento de carga térmica de resfriamento e temperaturas operativas máximas em todos os casos. Notou-se uma divergência significativa entre os resultados encontrados da série histórica com os do arquivo climático INMET.

Palavras-chave: Desempenho térmico. Mudanças climáticas. Arquivos climáticos. Edificações residenciais. NBR15575.

Abstract

The work consists of a building thermal performance simulation, considering a multi-year weather data of Brasília in comparison to a typical meteorological year file (TMY) and the

Como citar:
BRACHT, M. K; COSTA, V. A. C; MELO, A. P; LAMBERTS, R. Série histórica *versus* ano meteorológico típico: Desempenho térmico de modelo unifamiliar com três alternativas de envoltória em Brasília. ENTAC2022. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. 1-10.

INMET climatic file used in NBR15575. These files are used as input data for thermo-energy simulations of a single-family building with three different envelopes. It was possible to observe the increase in temperatures during the multi-year data, as well as the increase in cooling thermal load and maximum operative temperatures in all cases. There was a significant divergence between the results found using the historical series with those from the INMET climate file.

Keywords: Thermal performance. Climate change. Weather files. Residential buildings. NBR15575.

INTRODUÇÃO

A importância do conhecimento do efeito do clima nas edificações é cada vez maior [1]. É amplamente aceito que as mudanças climáticas estão ocorrendo devido às emissões de gases de efeito estufa e que causam diversos efeitos ao redor do globo [1][2]. Além disso, o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) destaca que os eventos climáticos extremos estão se tornando mais frequentes e mais extremos, além de, em geral, haver um aumento na temperatura média do globo [2].

Paralelamente, observa-se a crescente busca por dados climáticos horários para analisar o desempenho térmico das edificações e dimensionar seus respectivos equipamentos de climatização. Usualmente, os usuários de simulação termo energética de edificações utilizam arquivos de anos meteorológicos típicos (*TMY – Typical Meteorological Year*) para realizar as simulações e entender o comportamento da edificação [3]. Esses arquivos são baseados em séries históricas de medição horária de diversos parâmetros climáticos, como temperatura de bulbo seco, umidade relativa, radiação difusa, velocidade e direção do vento. Estes arquivos são desenvolvidos utilizando métodos como a da ISO 15927-2:2009 [4], onde, por meio de pesos pré-estabelecidos para cada parâmetro climático, o mês com os dados medidos mais próximo dos dados da série histórica completa é selecionado. Como resultado, esses meses típicos provenientes de diferentes anos da série histórica são combinados em um arquivo anual "sintético". Entretanto, esses métodos são usualmente aplicados em dados históricos provenientes de medições de mais de 20 anos atrás [3].

Considerando os efeitos das mudanças climáticas e do desenvolvimento de ilhas de calor, é possível que estejamos simulando edificações para climas que já apresentam comportamentos diferentes [5]. Em outras palavras, podemos projetar edificações despreparadas para os desafios que elas enfrentarão assim que entrarem em operação [6][7]. Além disso, já é esperado que o uso de arquivos climáticos típicos esteja desconsiderando efeitos extremos, como ondas de calor, que estão previstas para aumentarem em frequência e intensidade nos próximos anos [8].

Esse trabalho busca analisar a evolução dos resultados de desempenho térmico de um modelo de uma edificação utilizando dados de uma série histórica de 60 anos em comparação com dois arquivos de anos meteorológicos típicos para a cidade de Brasília. Os arquivos meteorológicos consistem em um arquivo TMY criado a partir dos últimos 15 anos da série histórica e o arquivo climático INMET utilizado no método de simulação do item desempenho térmico da NBR15575 [10], daqui em diante denominado "arquivo INMET" [11]. O modelo de simulação foi parametrizado com 3

alternativas de envoltória para averiguar o impacto da consideração dos diferentes arquivos climáticos em padrões construtivos distintos. Espera-se, também, verificar a variação dos valores extremos de carga térmica e temperaturas operativas máximas quando são utilizados arquivos climáticos típicos em comparação à série histórica completa como dados de entrada para simulação.

MÉTODO

A pesquisa teve duas etapas principais. Inicialmente, foi realizada a análise de parâmetros da série histórica em busca de tendências e entendimento geral dos dados disponibilizados. Dessa forma, são inicialmente apresentadas as características dos arquivos climáticos utilizados. Em seguida, foi utilizada uma ferramenta computacional para simulações termo energéticas de um modelo de uma edificação referência, com o intuito de compreender os efeitos dos arquivos climáticos considerados no desempenho térmico de três diferentes padrões construtivos. Sendo assim, apresentam-se nas próximas seções: os arquivos climáticos utilizados; as características geométricas da edificação referência e os parâmetros variados nos três casos; e o método de simulação considerado. Para a simulação computacional foi adotado o programa EnergyPlus versão 9.0.

ARQUIVOS CLIMÁTICOS UTILIZADOS

As simulações foram realizadas considerando arquivos climáticos da cidade de Brasília. A série histórica é composta por dados horários medidos na estação localizada no Aeroporto Internacional de Brasília – Presidente Juscelino Kubitschek, entre os anos de 1961 e 2021. Cada ano de dados foi organizado de acordo com o formato *epw* (*EnergyPlus Weather Format*), servindo como dado de entrada da simulação da ferramenta EnergyPlus. Esses mesmos arquivos da série histórica foram utilizados como base para o desenvolvimento do arquivo climático TMYx2007-2021 disponibilizado no site *OneClimate Building* [9]. Como base de comparação foi utilizado o arquivo climático INMET da base padrão citada pela NBR15575 [10].

TIPOLOGIA DA EDIFICAÇÃO

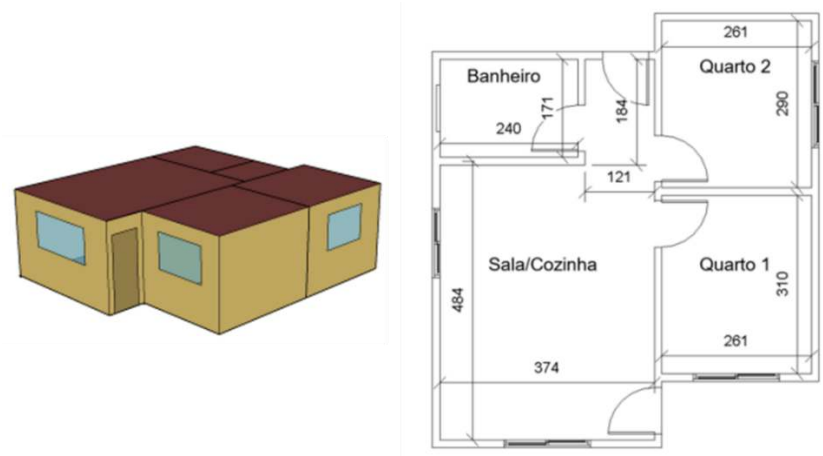
A edificação referência base para o desenvolvimento do modelo de simulação se apresenta como uma residência unifamiliar térrea com dois dormitórios, sala com cozinha conjugada e um banheiro (modelo de simulação tridimensional e planta baixa apresentados na Figura 1). As suas características geométricas foram baseadas no trabalho realizado por Triana, Lamberts e Sassi [12].

As aberturas da edificação são de correr com fator de abertura para ventilação de 45%, com exceção da janela do banheiro, do tipo maxim-ar com fator de abertura de 90%. O pé-direito da edificação é de 2,50 m, sem o uso de sombreamentos.

As definições de cargas internas de equipamentos e iluminação, assim como temperatura de *setpoint,* padrões de uso e ocupação estão de acordo com os padrões estabelecidos pela NBR15575 [10]. O arquivo IDF (*Input Data File*) completo utilizado

como dado de entrada para a simulação do EnergyPlus pode ser encontrado no *website* do LabEEE [13].

Figura 1: Modelo de simulação e planta baixa da tipologia considerada



Fonte: o autor.

DEFINIÇÃO DE CASOS DE SIMULAÇÃO

Com base na tipologia da edificação apresentada foram definidos três casos diferentes de sistemas construtivos de envoltória (Quadro 1).

Quadro 1: Definição das variações de envoltória em cada caso estudado.

Caso	Paredes internas	Paredes externas	Cobertura
Caso base	Parede de concreto com 10 cm	Parede de concreto com 10 cm (absortância solar de 0,58)	Laje de concreto com telha fibrocimento (absortância solar de 0,65)
Caso 2	Placas de gesso acartonados com perfil de *steel frame* 70 mm considerado como camada de ar	Placa de gesso acartonado na face interna e placa de gesso resistente a umidade e apropriado para áreas externas na face externa (absortância solar de 0,58). Perfil de *steel frame* com 70 mm	Forro de gesso, isolante térmico com 100 mm (lã de vidro) e telha CRFS (absortância solar de 0,37)
Caso 3	Placas de gesso acartonados com perfil de *steel frame* 70 mm considerado como camada de ar	Placa de gesso acartonado na face interna e placa de gesso resistente a umidade e apropriado para áreas externas na face externa (absortância solar de 0,58). Perfil de *steel frame* com 70 mm com adição de isolante térmico (lã de vidro)	Forro de gesso, isolante térmico com 100 mm (lã de vidro) e telha CRFS (absortância solar de 0,37)

Nota: Fonte: o autor.

As câmaras de ar da cobertura foram consideradas com resistência térmica de 0,21 m².k/W, enquanto as da parede com perfil de 70 mm foi considerada como 0,17 m².k/W. O isolante térmico de 100 mm da cobertura (utilizado no caso 2 e 3) foi considerado com resistência térmica de 2,38 m².K/W, enquanto o isolante térmico de 70 mm da parede (utilizado somente no caso 3) foi considerado com 1,67 m².K/W.

Para todos os casos, os elementos transparentes nas esquadrias foram considerados conforme as indicações para o modelo de referência da NBR15575. O fator solar é de 0,87 e a transmitância térmica de 5,70 W/(m².K) [10].

As propriedades térmicas dos materiais são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Propriedades térmicas dos materiais utilizados nos casos simulados.

Material	Espessura (cm)	Condutividade (W/m.K)	Densidade (kg/m³)	Calor específico (J/kg.K)
Concreto	10	1,75	2200	1000
Telha fibrocimento	0,6	0,65	1700	840
Placa de gesso	1,25	0,25	1000	1000
Placa de gesso externa	1,25	0,1865	800	1000
Telha CRFS	0,8	0,343	1690	840

Fonte: o autor.

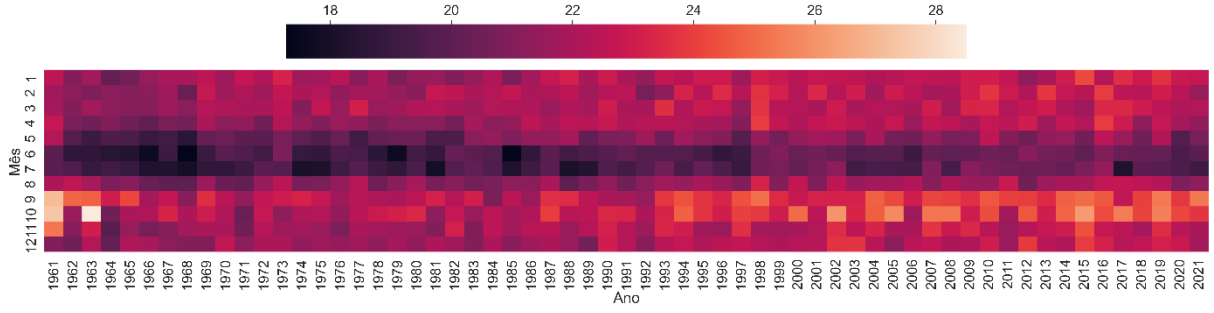
MÉTODO DE SIMULAÇÃO

Foi utilizado o método de simulação da NBR15575 para a consideração da ventilação natural e os limites de temperatura operativa [10]. Para a avaliação dos resultados, foram utilizados os indicadores de desempenho CgTR (carga térmica de resfriamento) e ToMáx (temperatura operativa anual máxima).

RESULTADOS

Dentre as análises iniciais dos parâmetros da série histórica considerada, destacou-se a evolução temporal dos dados relativos à temperatura de bulbo seco (TBS). Ao analisar o mapa de calor da média mensal da temperatura (Figura 2), percebe-se uma clara tendência de aumento na média mensal, em especial a partir da década de 1990.

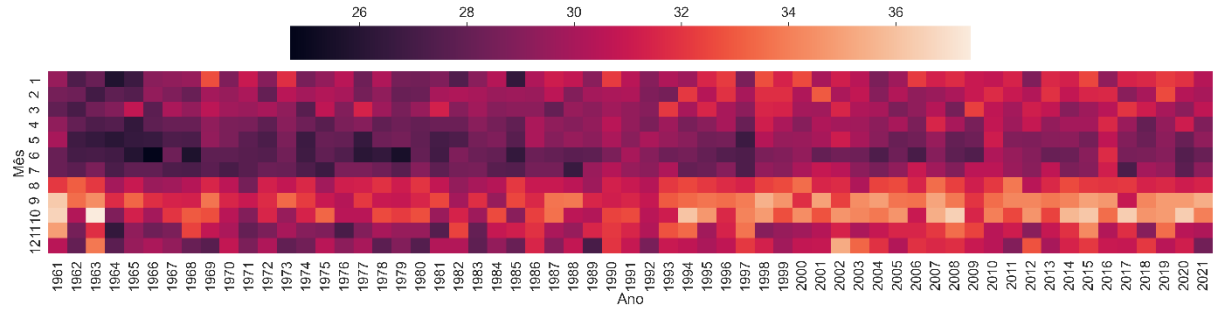
Figura 2: Mapa de calor com temperaturas de bulbo seco (°C) médias por mês de cada ano da série histórica.



Fonte: o autor.

A mesma situação pode ser observada no mapa de calor das temperaturas máximas de cada mês da série histórica (Figura 3). Destaca-se a necessidade de observar a mudança de escala em comparação a Figura 2. Esse fenômeno indica o aumento da importância da verificação de temperaturas operativas máximas dentro da edificação para avaliar sua resiliência em caso de eventos extremos.

Figura 3: Mapa de calor com temperaturas de bulbo seco (°C) máximas por mês de cada ano da série histórica.

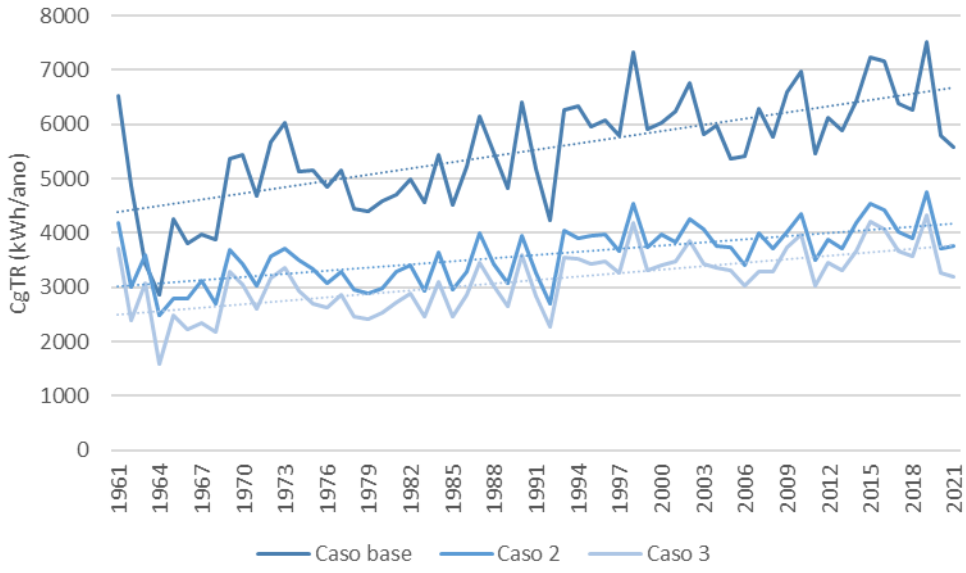


Fonte: o autor.

Esse aumento de temperatura pode estar relacionado às mudanças climáticas, mas também é plausível que a urbanização do entorno da estação climática esteja acentuando os efeitos da ilha de calor na capital brasileira.

Ao observarmos os resultados de carga térmica de resfriamento das simulações energéticas realizadas, temos uma tendência de evolução similar ao destacado anteriormente. O Caso base apresenta, constantemente, resultados superiores de carga térmica, seguido pelo Caso 2 e o Caso 3 (Figura 4).

Figura 4: Carga térmica de resfriamento para cada caso simulado durante a série histórica.



Fonte: o autor.

É possível notar pelas linhas de tendência traçadas, que a distância relativa entre o Caso base e os Casos 2 e 3 aumenta com o decorrer dos anos, enquanto a diferença entre os Casos 2 e 3 reduz. Observa-se, também, valores de carga térmica muito elevados para o ano de 1961, diferente do observado para o resto desta década. Os valores mínimos e máximos de carga térmica de resfriamento para cada um dos casos analisados, assim como o resultado da simulação utilizando o arquivo TMYx formado pelos dados entre 2007 e 2021 da mesma série histórica são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Valores máximos e mínimos de carga térmica de resfriamentos dos casos simulados.

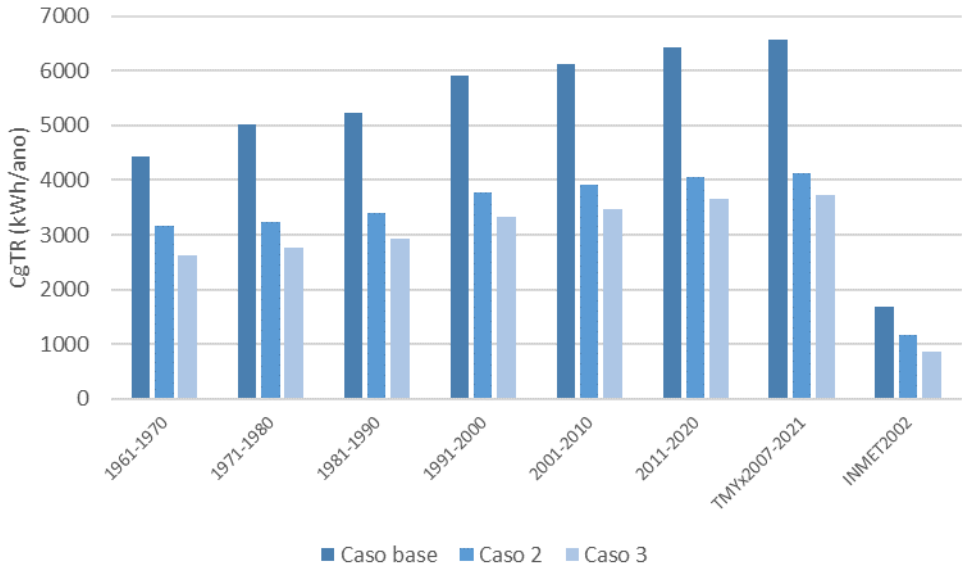
Caso	Carga térmica de resfriamento (kWh/ano)		
	Valor mínimo	Valor máximo	TMYx2007-2021
Caso base	2.855,87 (1964)	7.520,54 (2019)	6.560,14
Caso 2	2.486,43 (1964)	4.751,08 (2019)	4.119,88
Caso 3	1.583,82 (1964)	4.325,23 (2019)	3.734,14

Ano de ocorrência de cada valor máximo e mínimo é apresentado entre parênteses. Fonte: o autor.

Ao analisarmos o aumento percentual ocorrido entre o valor máximo da série histórica e o encontrado na simulação utilizando o arquivo TMYx, observamos 14,63% para o Caso base, 15,32% para o Caso 2 e 15,83% para o Caso 3.

Na Figura 5 é apresentada a comparação entre os valores médios de carga térmica de resfriamento para cada década e os valores encontrados utilizando o arquivo climático TMYx2007-2021 e, também, o arquivo INMET.

Figura 5: Carga térmica de resfriamento média por década de cada caso em comparação ao TMYx e INMET.

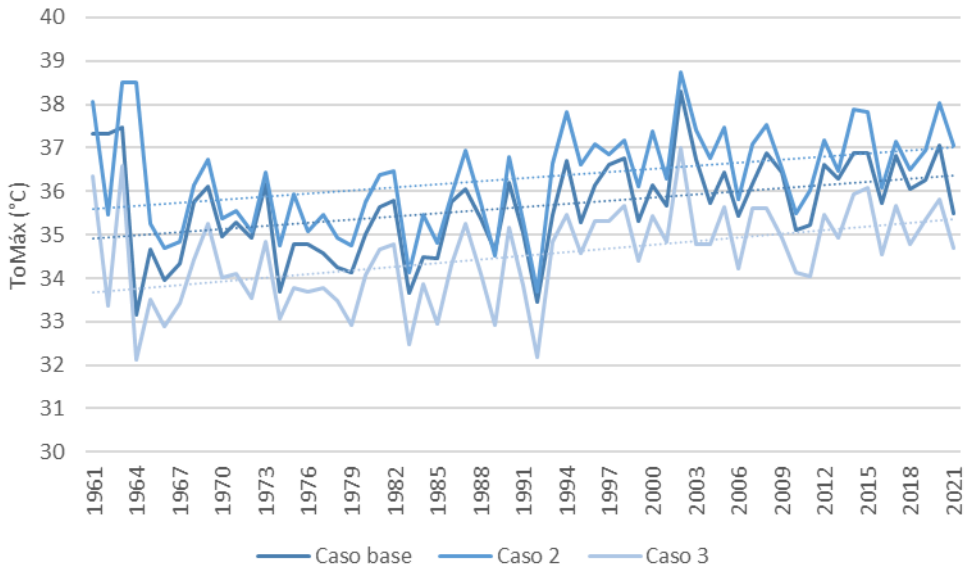


Fonte: o autor.

Assim como nas figuras anteriores, é notável o aumento das cargas térmicas de resfriamento na comparação entre as décadas analisadas. Nessa análise, entretanto, observa-se que o valor mínimo de carga térmica de resfriamento foi encontrado ao utilizar o arquivo climático INMET. O Caso base apresenta um valor de carga térmica de 1.677,99 kWh/ano com o INMET e de 6.560,14 kWh/ano com o TMYx2007-2021. Ainda que a ordem do caso de maior para menor carga térmica de resfriamento não tenha se alterado, observa-se o aumento da diferença percentual entre o Caso base e os Casos 2 e 3. Quando comparados o Caso base e o Caso 2, a redução percentual de carga térmica passa de 29,70% com o INMET para 37,20% considerando o TMYx2007-2021. De forma análoga, quando comparados o Caso base e o Caso 3, a redução percentual com o INMET é de 48,68% e considerando o TMYx2007-2021 de 43,08%.

Na Figura 6, são apresentados os valores de temperatura operativa máxima para cada caso e ano da série histórica.

Figura 6: Temperatura operativa máxima de cada caso simulado ao longo da série histórica.



Fonte: o autor.

Assim como no gráfico da carga térmica de resfriamento, é possível perceber uma tendência de aumento de valores de temperatura operativa máxima. Entretanto, no caso desse indicador, o Caso 2 apresenta maiores temperaturas operativas máximas que o Caso base. As maiores temperaturas operativas encontradas na série histórica, no resultado do TMYx2007-2021 e INMET são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Valores de temperatura operativa máxima para cada caso analisado.

Caso	Temperatura operativa máxima (°C)		
	Série histórica	TMYx2007-2021	INMET
Caso base	38,30 (2002)	35,71	32,21
Caso 2	38,75 (2002)	36,07	33,23
Caso 3	36,99 (2002)	34,52	31,66

Ano de ocorrência de cada valor máximo é apresentado entre parênteses. Fonte: o autor.

É interessante ressaltar que o ano em que ocorre o valor máximo de temperatura operativa não é o mesmo do valor máximo de carga térmica de resfriamento. Além disso, apesar da ordem de temperaturas operativas máximas dos casos permanecer a mesma, é importante destacar a discrepância entre os resultados utilizando a série histórica, o TMYx2007-2021 e o INMET.

CONCLUSÃO

O trabalho analisou os dados climáticos de uma série histórica de 60 anos de dados da cidade de Brasília, assim como analisou o desempenho térmico de um modelo de uma edificação unifamiliar térrea considerando a série histórica, arquivos climáticos TMY e INMET para três casos diferentes de envoltória.

A análise dos dados climáticos demonstrou uma tendência nos aumentos da média e máxima das temperaturas de bulbo seco. Esse aumento pode ser atribuído a um

conjunto de fatores, como mudanças climáticas e urbanização do entorno da estação climática.

Ao serem realizadas as simulações computacionais, observou-se uma tendência similar tanto no indicador de carga térmica de resfriamento quanto na temperatura operativa máxima. Os valores de ambos os indicadores estão aumentando com o decorrer dos anos. Para o indicador de carga térmica de resfriamento, o Caso base (referência da NBR15575) apresentou os maiores valores, enquanto o Caso 3 (fechamento leve com isolante térmico) apresentou os menores. Já para a temperatura operativa máxima, o Caso 2 apresentou valores maiores que os obtidos pelo Caso base. Em ambos os indicadores foi possível observar que o sistema mais isolado (Caso 3) apresentou melhores resultados, mantendo cargas térmicas e temperaturas operativas máximas menores que os demais casos.

Comparando os valores encontrados ao simular a série histórica com o arquivo TMYx2007-2021 e o INMET, foi possível observar que, conforme o esperado, os valores máximos dos indicadores (carga térmica de resfriamento e temperatura operativa máxima) não são representados nos anos típicos. Essa constatação é importante ao considerarmos a necessidade de as edificações estarem mais bem preparadas para eventos climáticos extremos, mantendo a habitabilidade do seu interior em cenários sem a possibilidade de uso de resfriamento mecânico.

É preocupante, e merece estudos futuros mais aprofundados, a discrepância dos valores de carga térmica de resfriamento e temperatura operativa máxima ao utilizarmos o arquivo INMET frente aos demais dados de entrada. Especialmente, ao considerarmos que os arquivos INMET são utilizados como base para o procedimento de simulação computacional do item Desempenho Térmico da NBR15575. Além disso, fica claro o impacto das mudanças climáticas já em curso nos resultados e análises de desempenho térmico. É importante o aprofundamento em métodos para o desenvolvimento e análise de climas futuros com o intuito de melhorar a resiliência das edificações frente ao seu ciclo de vida completo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Saint-Gobain Research Brasil pelos recursos financeiros aplicados no desenvolvimento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

[1] SANTAMOURIS, M; VASILAKOPOULOU, K. Present and Future Energy Consumption of Buildings: Challenges and Opportunities towards Decarbonisation. **e-Prime – Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy**, v. 1, p. 100002, 2021. https://doi.org/10.1016/j.prime.2021.100002.

[2] IPCC, MASSON-DELMOTTE V., ZHAI P., PIRANI A., CONNORS S.L., PÉAN C., BERGER S., CAUD N., CHEN Y., GOLDFARB L., GOMIS M.I., HUANG M., LEITZELL K., LONNOY E., MATTHEWS J.B.R., MAYCOCK T.K., WATERFIELD T., YELEKÇI O., YU R. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. **Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, 2021.

[3] CRAWLEY, D; LAWRIE, L. Our climate conditions are already changing – Should we care? **Building Services Engineering Research and Technology**, v. 42, n. 5, p. 507-516, 2021. https://doi.org/10.1177/0143624421100427.

[4] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 15927-2**: Hygrothermal performance of buildings — Calculation and presentation of climatic data — Part 2: Hourly data for design cooling load. Genebra, Suíça, 2009.

[5] ZHANG, C. et al. Resilient cooling strategies – A critical review and qualitative assessment. **Energy and Buildings**, v. 251, p. 111312, 2021. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111312

[6] WANG, H; CHEN, Q. Impact of climate change heating and cooling energy use in buildings in the United States. **Energy and Buildings**, v. 82, p. 428–436, 2014. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.07.034.

[7] RAMALLO-GONZÁLEZ, A.P; EAMES, M.E; NATARAJAN, FOSAS-DE-PANDO, S. D; COLEY, D.A. An analytical heat wave definition based on the impact on buildings and occupants. **Energy and Buildings**, v. 216, 2020. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109923

[8] KHAN, H.S.; PAOLINI, R.; CACCETTA, P.; SANTAMOURIS, M. On the combined impact of local, regional, and global climatic change on the building's energy performance and indoor thermal comfort—the energy potential of adaptation measures. **Energy & Buildings**, 2022. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112152.

[9] CRAWLEY, D; LAWRIE, L. **Climate.OneBuilding.Org**. Repository of free climate data for building performance simulation. Disponível em: https://climate.onebuilding.org/. Acesso em: 24 maio 2022.

[10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2021.

[11] RORIZ, M. **Arquivos Climáticos de Municípios Brasileiros**. ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações. São Carlos, SP, 2012.

[12] TRIANA, M. A.; LAMBERTS, R.; SASSI, P., Characterisation of representative building typologies for social housing projects in Brazil and its energy performance. **Energy Policy**, v. 87, p. 524–541, 2015.

[13] LABEEE. **Arquivo de simulação exemplo (residência unifamiliar – modelo de referência)**. NBR 15575-2021 - Desempenho térmico. Arquivo de simulação exemplo (residência unifamiliar – modelo de referência), 2022. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/documents/idfs-modelo.rar. Acesso em: 04 agosto 2022.