ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

Impacto das mudanças climáticas no desempenho térmico de sistemas de coberturas

Impact of climate change on the thermal performance of roofing systems

Fernando Sá Cavalcanti
Universidade Federal de Alagoas | Maceió-AL | Brasil | fernando.antonio@fau.ufal.br
Leonardo Marques Monteiro
Universidade de São Paulo | São Paulo-SP | Brasil | leo4mm@usp.br

Resumo

Este artigo avaliou o desempenho térmico de uma edificação multifamiliar vertical considerando os cenários de mudanças climáticas para 2050 e 2080. Esta avaliação ocorreu com o auxílio de simulações computacionais no software EnergyPlus, considerando um modelo de edificação padrão, com sistemas construtivos adotados pela indústria da construção civil e aplicados nos diversos climas e zonas bioclimáticas brasileiras. Levou-se em consideração as condições e predições de mudanças climáticas que o planeta enfrenta. Para os cenários avaliados, embora tenha sido considerado um período longo e a recomendação da vida útil deste sistema seja de 20 anos para a cobertura como um todo e 13 anos para o telhamento, foi possível observar que nas zonas bioclimáticas 01, 02 e 08, foi mantido o desempenho mínimo recomendado pela NBR-15575, despertando a necessidade de integrar melhor os requisitos adotados pela referida norma, no entanto, para as demais zonas bioclimáticas, as edificações não atendem ao desempenho mínimo solicitado para as edificações.

Palavras-chave: Mudanças climáticas. Simulação computacional. EnergyPlus. Sistemas de coberturas.

Abstract

This paper evaluated the thermal performance of a multifamily vertical building considering the climate change scenarios for 2050 and 2080. This evaluation was carried out with the aid of computer simulations in the EnergyPlus software, considering a standard building model, with construction systems adopted by the construction industry and applied in the various Brazilian climates and bioclimatic zones. The conditions and predictions of climate change that the planet faces were considered. For the scenarios evaluated, although a long period was considered and the recommended useful life of this system is 20 years for the roof as a whole and 13 years for the tiling, it was possible to observe that in bioclimatic zones 01, 02 and 08, the minimum performance recommended by NBR-15575 was maintained, awakening the need to better integrate the requirements adopted by said standard. However, for the other bioclimatic zones, the buildings do not meet the minimum performance requested for the buildings.

Como citar:
CAVALCANTI, F. S., MONTEIRO, L. M. Impacto das mudanças climáticas no desempenho térmico de sistemas de coberturas. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

Keywords: climate changes. Computer simulation. EnergyPlus. Roofing systems.

INTRODUÇÃO

A NBR 15575, em sua versão revisada em 2021, estipula uma vida útil de projeto (VUP) entre 50 e 75 anos para habitações e que durante este período elas devem garantir o desempenho mínimo dos sistemas adotados em seu processo construtivo, para o caso de sistemas de coberturas, o mínimo estabelecido são 20 anos e para subsistemas específicos, tem-se: 8 anos para rufos, calhas internas e demais complementos de ventilação e iluminação, 4 anos para calhas de beiral e coletores de águas pluviais aparentes, 13 anos para o telhamento e 20 anos para a estrutura da coberta e coletores de águas pluviais embutidos [1].

Nesse sentido, faz-se necessário a adoção de medidas para garantir um melhor desempenho térmico e energético, pois um baixo desempenho térmico afeta diretamente o conforto, a saúde e a renda dos ocupantes considerando sempre as mudanças climáticas que o planeta vivencia atualmente que têm provocado diferentes cenários climáticos podendo colocar em risco muitas pessoas ao redor do mundo. O risco de condições climáticas extremas, como ondas de calor, secas, inundações, elevação do nível do mar, perda de biodiversidade e outros fatores, colocam em risco grande parte da população. Principalmente, aqueles que vivem em regiões de baixa renda do mundo (países subdesenvolvidos e em desenvolvimento) são mais afetados pelas mudanças climáticas [2].

Com o crescimento dos programas habitacionais do Governo Federal, observa-se a predominância de habitações de mercado popular, que pode ser definida a partir de uma abordagem da indústria da construção civil para atender às necessidades de habitação para famílias atendidas por estes programas, dentro do mercado imobiliário convencional.

Para habitações de mercado, o uso de estratégias de condicionamento passivo representa uma parcela significativa das causas para melhoria do desempenho térmico de uma edificação, considerando a relevância da possibilidade de resfriamento por meio da ventilação natural, sem consumo adicional de energia [3] [4].

O sistema de cobertura apresenta um comportamento determinante no desempenho térmico de uma edificação, se bem projetado, pode contribuir para o melhoramento do desempenho térmico das edificações, além de reduzir o consumo de energia necessário para resfriamento [5]. Segundo [6], a radiação solar é a principal variável a interferir no desempenho térmico das superfícies da envoltória (sistemas de vedação vertical e horizontal). Assim, os materiais e o tratamento térmico utilizados nos sistemas de cobertura são fatores determinantes para reduzir a carga térmica no interior das edificações.

Em todo o território nacional, o uso da telha cerâmica é consolidado em decorrência do processo histórico da produção habitacional e influência europeia (principalmente portuguesa), além da facilidade de encontrá-la no mercado, pela abundante matéria prima, em seus diferentes modelos e cores.

Já a telha de fibrocimento aparece como a mais utilizadas nas edificações, representando 49% das coberturas segundo [7] que estimaram a participação dos tipos de telhas no mercado brasileiro de coberturas entre 2005 e 2006. Esta predominância ocorre por muitas vezes devido a seu baixo custo de implementação, substituindo a telha cerâmica sem considerar o desempenho térmico do sistema como um todo.

Diante destes aspectos, este artigo avaliou o desempenho térmico destes dois sistemas de cobertura (telha cerâmica e telha de fibrocimento) para uma edificação

multifamiliar na tipologia H e considerou cenários futuros com mudanças climáticas e envelhecimento das telhas para oito cidades brasileiras e com isto, presente-se discutir acerca da produção habitacional brasileira e melhorias nos métodos avaliativos da NBR-15575.

De acordo com [8], a escolha dos materiais e sistemas construtivos do envelope do edifício é a forma mais eficiente e economicamente viável para reduzir as temperaturas internas nos espaços em climas quente e úmido, como é o caso de grande parte do território brasileiro. A combinação entre a absortância solar, a emitância térmica e a resistência térmica (ou a transmitância) é o principal fator que determina as trocas térmicas na cobertura de uma edificação [9].

No entanto, ao pensar no envelhecimento dos sistemas de coberturas, mais especificamente das telhas, deve-se levar em consideração também as mudanças climáticas que o planeta passa atualmente, podendo haver alterações nas temperaturas externas e cenários climáticos extremos, o que pode acelerar este processo de envelhecimento.

As mudanças climáticas representam um grande risco para os ecossistemas que dependem constantemente do equilíbrio térmico do planeta [10]. Entre os efeitos do baixo desempenho ambiental das edificações frente às mudanças climáticas estão os limites fisiológicos de tolerância ao calor. Considerando as condições ambientais que não permitem uma evapotranspiração adequada, ocorre um desequilíbrio da termorregulação fisiológica, que é limitada pela umidade do ar, podendo levar a maiores dificuldades na evaporação do suor, aumentando a sensação de desconforto térmico devido ao calor [11].

Esse desequilíbrio traz riscos, principalmente para as populações mais vulneráveis, como crianças e idosos, consolidando cenários menos favoráveis à vida humana, principalmente em locais que projetam maior aquecimento, exigindo aumento do consumo de energia para manter o conforto térmico [12] [13].

Diante de tais projeções de mudanças climáticas e alto consumo de energia no ambiente construído, estratégias e soluções de adaptação das edificações precisam ser consideradas para cenários climáticos futuros [14] [15], como os propostos por [16] [17] [18], para que se tornem mais resilientes e eficientes.

Segundo [19] que investigaram os efeitos das mudanças climáticas, identificando seus impactos no desempenho termo-energético de edificações, indicando que com estratégias passivas, pode-se reduzir até 50% do consumo de energia com condicionamento ambiental, frente às mudanças climáticas e cenários climáticos futuros.

Neste sentido, o objetivo deste artigo é investigar o processo das mudanças climáticas associado ao desgaste das telhas do sistema de cobertura para edificações multifamiliares no Brasil.

MÉTODO

Para a realização deste trabalho, optou-se pelo procedimento de simulação computacional utilizando o software energyplus® em sua versão 9,3 e foi dividido conforme a descrição a seguir.

CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DAS CIDADES SIMULADAS

Foram selecionadas oito cidades brasileiras, sendo uma em cada zona bioclimática estabelecida pela NBR-15220 [20]. Estas cidades foram escolhidas considerando a disponibilidade de arquivo climático com extensão epw e sua localização geográfica,

buscando atender as cinco regiões brasileiras e todo o território nacional tornando a amostra mais representativa e assim podendo avaliar grande parte do território brasileiro.

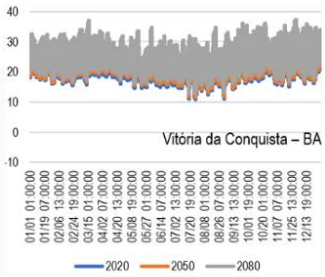
Após a seleção das cidades, foram gerados os arquivos climáticos para cada uma delas, considerando as variações estimadas ao longo do tempo pela ferramenta CCWorldWeatherGen® produzido pela Universidade de Southampton [21] que possibilitou verificar os cenários para 2020, 2050 e 2080.

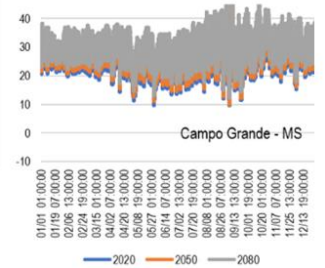
A Figura 1 apresenta a localização destas cidades, indicando a zona bioclimática a qual cada uma delas pertence e o intervalo de temperatura estabelecido pela NBR-15575, além do perfil anual com as médias mensais de temperatura e zona de conforto para cada uma delas.

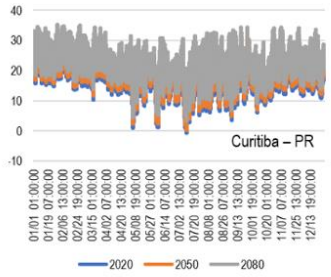
Figura 1 – Localização, perfis de temperatura e indicação das características gerais das cidades simuladas.

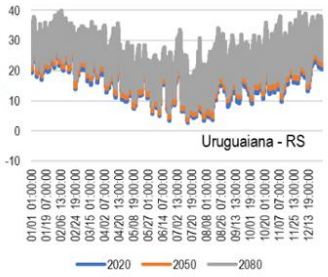
CIDADES	ZB	INTERVALO DA NBR-15575
Curitiba - PR	01	1
Uruguaiana- RS	02	1
São Paulo - SP	03	1
Brasília - DF	04	1
Vitória da Conquista - BA	05	1
Campo Grande - MS	06	1
Palmas - TO	07	2
Maceió - AL	08	2

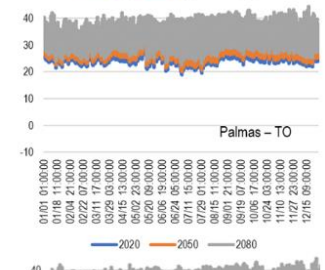


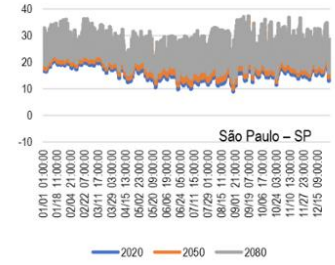


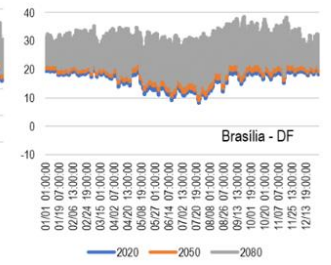


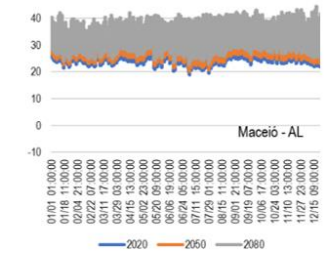












Fonte: elaboração a partir dos arquivos climáticos e adaptado de [1] [20]

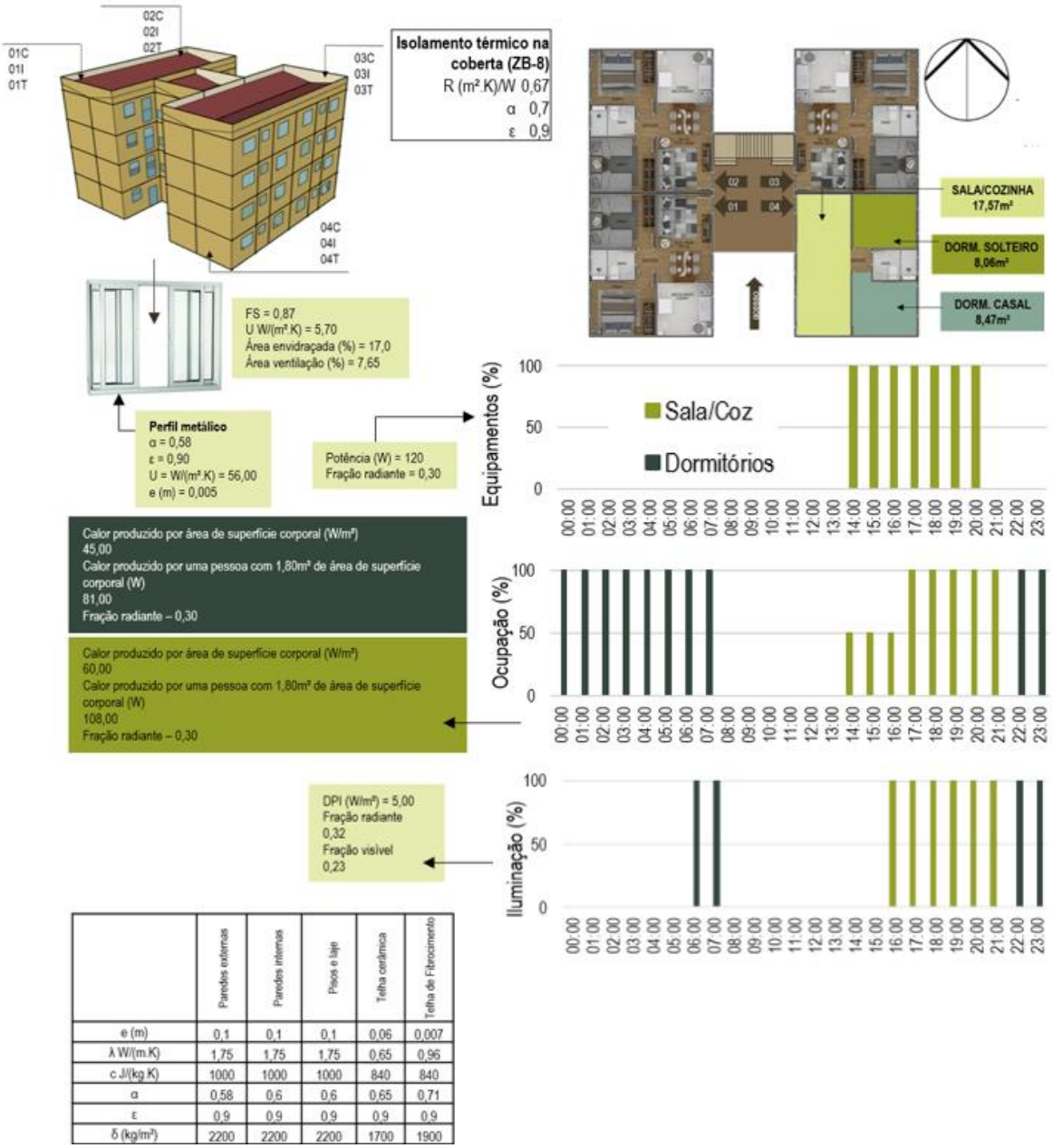
Os cenários futuros elaborados a partir da ferramenta *CCWorldWeatherGen*® tiveram por base o arquivo climático INMET para cada cidade simulada e disponibilizado pelo LabEEE da UFSC em seu sítio eletrônico.

DETALHAMENTO DO MODELO DIGITAL

A Figura 2 apresenta os dados da edificação simulada e as propriedades termofísicas dos materiais que compõem os sistemas construtivos da envoltória, neste caso, sendo

analisados apenas as unidades habitacionais (UH) localizadas no pavimento cobertura. Os ambientes de permanência transitória (APT) também foram considerados como zonas térmicas para as simulações pois podem influenciar no desempenho dos APP, no entanto, não foram analisados os resultados, conforme recomendação da própria norma.

Figura 2: Dados dos modelos simulados



	Paredes externas	Paredes internas	Pisos e laje	Telha cerâmica	Telha de Fibrocimento
e (m)	0,1	0,1	0,1	0,06	0,007
λ W/(m.K)	1,75	1,75	1,75	0,65	0,96
c J/(kg.K)	1000	1000	1000	840	840
α	0,58	0,6	0,6	0,65	0,71
ε	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
δ (kg/m³)	2200	2200	2200	1700	1900

Fonte: os autores, adaptado de [1].

Esta tipologia padrão é composta por UH com dois dormitórios, uma sala e cozinha integrados e um banheiro, com 41,85 m² de área total e 2,40 m de pé direito. Para este estudo, adotou-se a implantação em que as aberturas se encontram voltadas para o eixo leste-oeste, possibilitando investigar orientações distintas para a unidade padrão e o comportamento térmico ao longo dos anos, inserindo cenários com as mudanças climáticas para uma investigação do ciclo de vida útil das edificações.

DESCRIÇÃO DA ANÁLISE DOS DADOS

Para a análise dos dados, foram utilizadas as recomendações da NBR-15575 que indica para o procedimento de avaliação de desempenho térmico mínimo, o uso de simulação computacional comparando o modelo real e um modelo de referência com os parâmetros estabelecidos, considerando apenas o modelo com ventilação natural. Para os desempenhos intermediário e superior, a norma recomenda um modelo sem o uso da ventilação natural e com análise da carga térmica (para aquecimento e refrigeração) que não será utilizado neste trabalho.
Para a análise dos resultados, foram utilizados como dados de saída as temperaturas operativas para cada zona térmica, além dos padrões de ocupação, sendo possível investigar apenas as horas ocupadas em cada APP. Os critérios considerados na análise do desempenho destas UH foram o percentual de horas de ocupação dentro da faixa de temperatura operativa dos ambientes de permanência prolongada (PHFTAPP) e das Unidades Habitacionais (PHFTUH), além da temperatura operativa anual máxima (Tomáx) da UH. A TOmin não avaliada para estas zonas bioclimáticas, conforme recomendação da NBR-15575.
Como parâmetro base, considerou-se o limite para cada UH, quanto avaliada em relação a TOmáx um ΔT de 2ºC acima da TOmáx do modelo de referência se estiver no pavimento de cobertura e 1ºC para os pavimentos térreo e intermediário. Já para a TOmin (avaliada para as zonas bioclimáticas 1 a 4, esta deve ser menor que o valor da TOmin obtida para o modelo de referência somada uma tolerância de 1ºC. Já para o PHFTUH, este valor deve ser no mínimo 90% do valor obtido para o PHFTUH(REF) que é o valor encontrado para o modelo de referência.

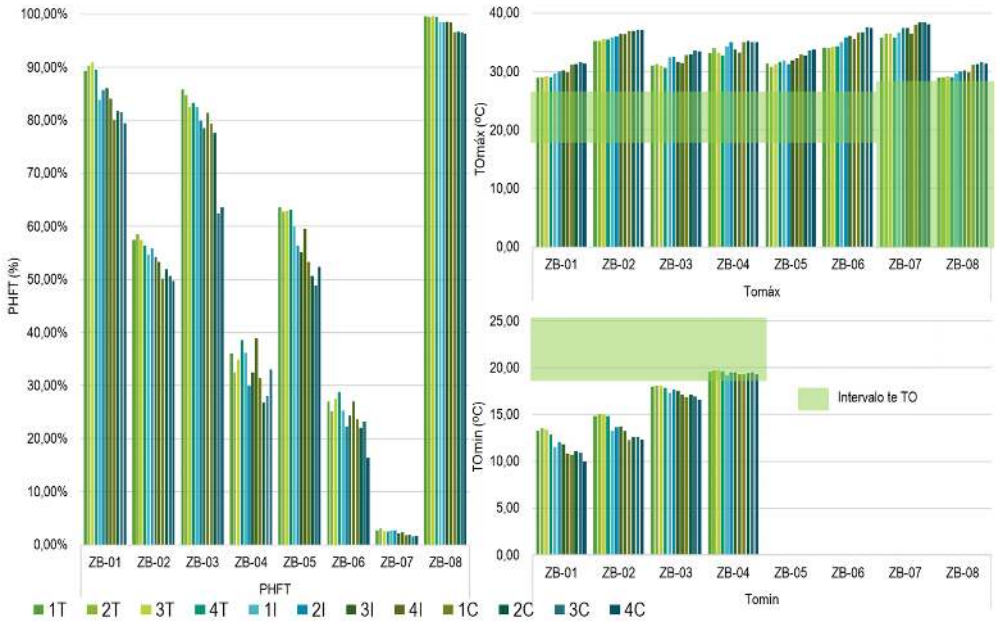
RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos por meio das simulações computacionais estão apresentados e discutidos a seguir a partir de um comparativo entre os modelos simulados e o modelo de referência.

MODELO DE REFERÊNCIA (2020)

Para o modelo de referência, observa-se primeiramente a importância do isolamento térmico na coberta para a zona bioclimática 08, com PHFTUH acima de 90% para todas as UH, percentual superior aos obtidos nas demais zonas bioclimáticas, sendo as cidades de Palmas – TO e Campo Grande – MS as que apresentaram este percentual mais baixo e em todos os casos as UH localizadas no térreo tiveram melhor desempenho que as UH localizadas nos pavimentos intermediários e por sua vez, obtiveram desempenho térmico melhor que as UH localizadas no pavimento da cobertura (Figura 3).

Figura 3 – Dados para o PHFTUH, TOmáx e TOmin para o modelo de referência nas oito cidades analisadas.



Fonte: os autores

Esta Figura apresenta também os dados para TOmáx e TOmin (esta última para as ZB-01 a 04) e é possível observar que a Tomín para a ZB-4 se encontra dentro da faixa recomendada, não havendo horas ocupadas com temperaturas abaixo de 18ºC, enquanto as demais ZB apresentam valores abaixo de 18ºC. A Tomáx apresentou valores mais elevados nas ZB-02, ZB-04, ZB-06 e ZB-07, zonas bioclimáticas que obtiveram menor PHFTUH.

Para a ZB-07, o PHFTUH obtido foi muito baixo, sempre abaixo de 5%, o que pode levar a questionar se o modelo de referência realmente deve ser utilizado nesta zona bioclimática que apresenta perfil de temperatura com TBS externa elevado ou se o modelo de referência adotado para a ZB-08 não deveria ser adotado para a ZB-07 também.

CENÁRIOS CLIMÁTICOS FUTUROS

Ao avaliar os cenários climáticos futuros, foram consideradas duas situações: com manutenção das telhas, mantendo-as com suas propriedades originais e sem esta manutenção, considerando a alteração da absortância proposta pela NBR-15575 e assim foram avaliados os dois cenários e verificado o desempenho nestas situações, no entanto, conforme apresentado anteriormente, o processo de envelhecimento das telhas não influenciou no desempenho térmico da edificação, pois a variação da absortância seguindo as recomendações desta norma foram mínimas.

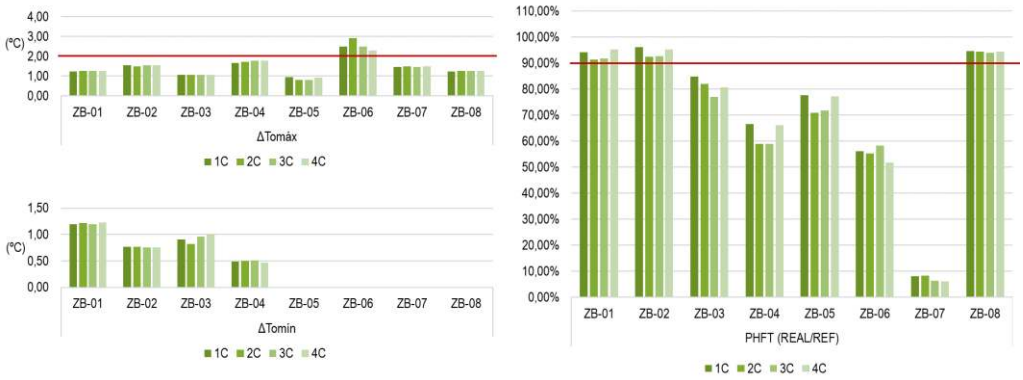
Foram avaliados dois cenários climáticos futuros, para 2050 e para 2080. No primeiro cenário futuro avaliado, tanto o modelo de referência quanto o modelo com telha de fibrocimento mantiveram o desempenho térmico mínimo apenas para as zonas bioclimáticas 01, 02 e 08 no que diz respeito ao PHFT, para a TOmáx, a influência no desempenho térmico a partir das mudanças climáticas foi promover uma elevação desta variável nas UH do pavimento da cobertura, no entanto, apenas para a zona bioclimática 06 este aumento ultrapassou o limite estabelecido pela norma.

Outro fato a ser considerado é que para o modelo com a telha de fibrocimento, na zona bioclimática 04, a UH-04C também obteve TOmáx acima do permitido pela norma, embora próximo a este limite (2,01ºC).

Para a temperatura operativa mínima, em virtude da elevação da temperatura externa, houve elevação desta variável, de modo que atingiu valores aceitáveis em todas as zonas bioclimáticas em que esta variável deve ser considerada.

Os dados obtidos para o cenário climático de 2050 estão apresentados nas Figuras 4 (para o modelo de referência, com telha cerâmica) e 5 (para o modelo com telha de fibrocimento, sendo possível observar a similaridade entre os gráficos apresentados.

Figura 4 – Dados para o PHFTUH, ΔTOmáx e ΔTOmin comparativo entre o modelo com telha cerâmica para o cenário climático de 2050 e o modelo de referência.



Fonte: os autores

Figura 5 – Dados para o PHFTUH, ΔTOmáx e ΔTOmin comparativo entre o modelo com telha de fibrocimento para o cenário climático de 2050 e o modelo de referência.



Fonte: os autores

Já para o cenário climático de 2080, nenhuma UH atendeu ao desempenho mínimo, conforme apresentado nas Figuras 6 (para o modelo com telha cerâmica) e 7 (para o modelo com telha de fibrocimento. Todas as zonas bioclimáticas apresentaram PHFT abaixo de 90% quando comparado com o modelo de referência.

Figura 6 – Dados para o PHFTUH, ΔTOmáx e ΔTOmin comparativo entre o modelo com telha cerâmica para o cenário climático de 2080 e o modelo de referência.

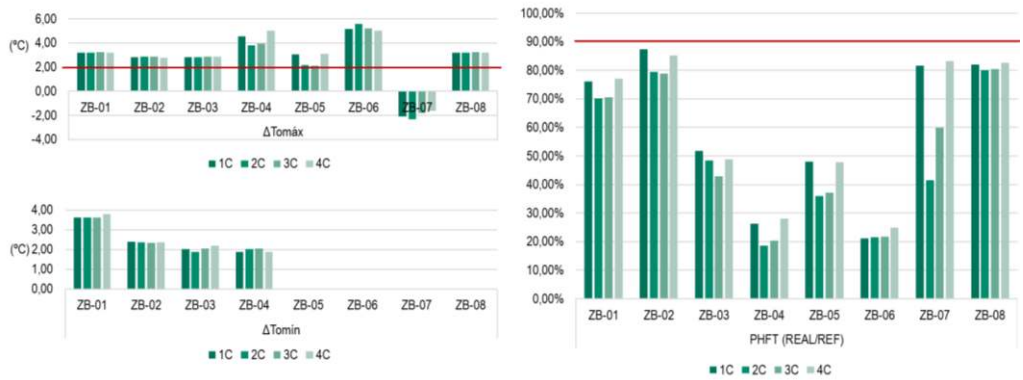
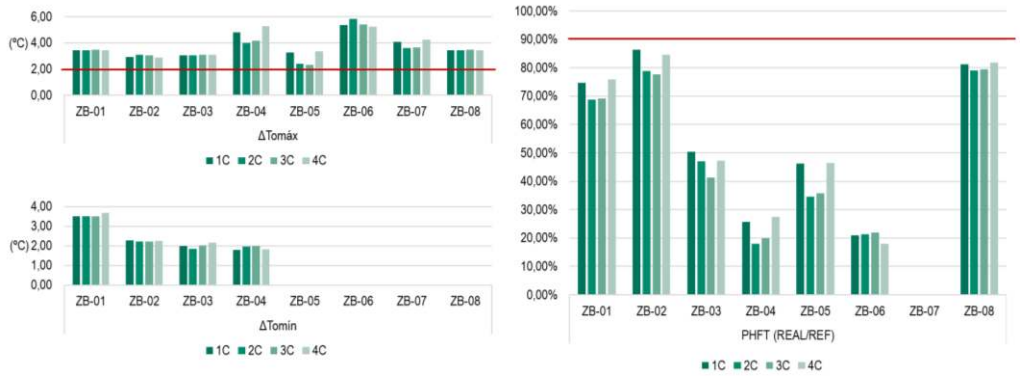


Figura 7 – Dados para o PHFTUH, ΔTOmáx e ΔTOmin comparativo entre o modelo com telha de fibrocimento para o cenário climático de 2080 e o modelo de referência.



Observa-se também que para a zona bioclimática 07, o modelo com fibrocimento não apresentou horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa, com PHFT igual a 0% para todas as UH do pavimento cobertura e que as UH-01 e UH-04 são as que apresentam maiores PHFT, provavelmente em virtude de sua localização e orientação voltada para o sul, recebendo menor quantidade de radiação solar nas fachadas, o que evidencia o ganho térmico por este sistema e sua influência no desempenho térmico da edificação como um todo.

CONCLUSÕES

Este artigo avaliou o desempenho térmico de dois sistemas de coberturas (telha cerâmica e telha de fibrocimento) para uma edificação multifamiliar na tipologia H com o objetivo de compreender a influência destes sistemas na avaliação do desempenho térmico proposto pela NBR-15575.

Para o cenário climático de 2020 a variação do desempenho térmico entre o modelo de referência (com telha cerâmica) e o modelo com telha de fibrocimento foi mínima, o que garantiu que o segundo modelo obtivesse o desempenho mínimo em todas as zonas bioclimáticas, com valores muito próximos entre os dois casos analisados.

Para os cenários climáticos futuros, embora a recomendação seja de 20 anos para a cobertura como um todo e 13 anos para o telhamento, nas zonas bioclimáticas 01, 02 e 08 este sistema ainda manteve o desempenho mínimo, despertando a necessidade de integrar melhor os requisitos adotados pela referida norma, como explicitado aqui a vida útil de projeto e o desempenho térmico, podendo haver esta desconexão entre outros requisitos.

Como sugestões para trabalhos que forneçam subsídios para uma futura revisão desta normativa, deve-se trabalhar os requisitos da NBR-15575 de forma integrada de modo a conhecer a influência que possuem entre si, pois para atender plenamente às questões de desempenho em edificações, devem estar em conformidade com todas as recomendações estabelecidas.

REFERÊNCIAS

[1] ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15575: Edificações Habitacionais – Desempenho: Parte 1: Requisitos Gerais**. Rio de Janeiro, 2021.

[2] IPCC: INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5°C. An **IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty** [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 3-24, doi:10.1017/9781009157940.001. Acesso em 13 Ago 2022.

[3] FRANCO, L. C.; MENDES, J. C. COSTA, L. C. B.; PIRA, R. R.; PEIXOTO, R. A. F. Design and thermal evaluation of a social housing model conceived with bioclimatic principles and recycled aggregates. **Sustainable Cities and Society**, v. 51, Nov. 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101725.

[4] BHAMARE, D. K.; RATHOD, M. K.; BANERJEE, J. Evaluation of cooling potential of passive strategies using bioclimatic approach for different Indian climatic zones. **Journal of Building Engineering**, v. 31, Sept. 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101356.

[5] PIRES, M., WESTPHAL, F. Avaliação do impacto de subcoberturas no desempenho térmico de uma edificação residencial. In: XV ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2014. Maceió. **Anais** [...]. Maceió, Alagoas: ENTAC, 2014.

[6] PERALTA, G., **Desempenho térmico de telhas: análise de monitoramento e normalização específica**. 2006. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal de São Paulo, São Carlos, 2006.

[7] LUIZ, N. F; CECCHIN, D; AZEVEDO, A. R. G; ALEXANDRE, J; SOUZA, F. A; Variedades de telhas encontradas no mercado. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.16 n.29; p. 2285 2019. DOI: 10.18677/EnciBio_2019A174

[8] CHENG, V; NG, E; GIVONI, B. Effect of envelope colour and termal masso n indoor temperatures on hot humid climate. **Solar Energy**. V. 78, n.1, p. 528-534, 2005. https://doi.org/10.1016/j.solener.2004.05.005

[9] MAESTRI, A. **Avaliação da refletância solar em coberturas no Campus da Universidade Federal de Santa Catarina**. Disseração de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

[10] LAPOLA, D. M.; SILVA, J. M. C.; BRAGA, D. R.; CARPIGIANI, L.; OGAWA, F.; TORRES, R. R.; BARBOSA, L. C. F.; OMETTO, J. P. H. B.; JOLY, C. A. A climate-change vulnerability and adaptation assessment for Brazil's protected areas. **Conservation Biology**, v. 34, n. 2, p. 427-437, Aug. 2019. DOI: https://doi.org/10.1111/cobi.13405.

[11] RIVAS, E.; ALLIE, K. N.; SALVADOR, P. M. Progressive dry to humid hyperthermia alters exercise cerebral blood flow**. Journal of Thermal Biology**, v. 84, p. 398-406, Aug. 2019. DOI: 10.1016/j.jtherbio.2019.07.036.

[12] ALVAREZ, C.; BRAGANÇA, L. Medidas para o Enfrentamento dos Impactos das Mudanças Climáticas no Ambiente Construído. In: CONGRESSO INTERNACIONAL SUSTENTABILIDADE URBANA, 1.; JORNADA URBENERE, 14.; JORNADA CIRES, 2, 2018. **Anais** [...]. Vitória; Vila Velha: URBENERE; CIRES, 2018. Disponível em: https://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/59308. Acesso em: 29 maio 2023.

[13] KOČÍ, J.; KOČÍ, V.; MADĚRA, J.; ČERNÝ, R. Effect of applied weather data sets in simulation of building energy demands: Comparison of design years with recent weather data. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 100, p. 22-32. Feb. 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.10.022.

[14] FARAH, S.; WHALEY, D.; SAMAN, W.; BOLAND, J. Integrating climate change into meteorological weather data for building energy simulation. **Energy and Buildings**, v. 183, p. 749-760, Jan. 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.11.045.

[15] NUNES, G. H.; GIGLIO, T. G. F. Influência das mudanças climáticas no desempenho térmico de uma habitação com diferentes sistemas construtivos: análise do clima de São Paulo. **Revista Principia–Divulgação Científica do IFPB**, v. 48, p. 46-61, 2020. DOI: http://dx.doi.org/10.18265/1517-03062015v1n48p46-61.

[16] GUARDA, E. L. A.; DURANTE, L. C.; CALLEJAS, I. J. A. Impacto das mudanças climáticas no ambiente térmico interno de habitação unifamiliar em Cuiabá-MT. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 11, p. e020031, dez. 2020. DOI: http://dx.doi.org/10.20396/parc.v11i0.8657188.

[17] MACHADO, J. de M.; MALTA, N. S.; BUSSOLOTTI, V. M.; FERRÃO, A. L. S.; NICO-RODRIGUES, E. A.; ALVAREZ, C. E. Impacts of climate change on the thermal and energy performance of Brazilian residential buildings. **PARC Pesq. em Arquit. e Constr**., Campinas, SP, v. 13, p. e022025, 2022. DOI: https://doi.org/10.20396/parc.v13i00.8665832

[18] ALVES, C. A.; DUARTE, D. H. S.; GONÇALVES, F. L. T. Residential buildings' thermal performance and comfort for the elderly under climate changes context in the city of São Paulo, Brazil. **Energy and Buildings**, v. 114, p. 62-71. Feb. 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.044.

[19] INVIDIATA, A.; GHISI, E. Impact of climate change on heating and cooling energy demand in houses in Brazil. **Energy and Buildings**, v. 130, p. 20-32, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.07.067

[20] ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220–03**: Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

[21] JENTSCH, M. F.; JAMES, P. A. B.; BOURIKAS, L.; BAHAJ, A. S. Transforming existing weather data for worldwide locations to enable energy and building performance simulation under future climates. **Renewable Energy**, v. 55, p. 514-524. July 2013. DOI: https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.12.049.