

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

AVALIAÇÃO TEMPORAL DE DESEMPENHO TÉRMICO DE UM TELHADO VERDE APÓS 3 ANOS DE IMPLEMENTAÇÃO

Aline Dayane Costa Brito¹; Gabriel Vamberto de Souza Nóbrega²; Débora Natália Oliveira de Almeida³; Haylla Rebeka de Albuquerque Lins Leonardo⁴; Sylvana Melo dos Santos⁵; Leidjane Maria Maciel de Oliveira⁶ & Anderson Luiz Ribeiro de Paiva⁷

Abstract: The intensification of urbanization has amplified the Urban Heat Island (UHI) effect, especially in cities like Recife. In this context, sustainable solutions such as green roofs have become increasingly relevant by promoting thermal comfort and contributing to urban climate adaptation. This study evaluated the thermal efficiency of different green roof configurations compared to conventional roofs through experiments conducted at the Experimental Unit of Ecological Roofs of Recife (UETER), located on the UFPE campus. Meteorological data from April, May, and June of the years 2021 and 2024 were analyzed, obtained from the Recife A301 weather station (INMET) and the 261160623A rain gauge station (CEMADEN). The data were processed using the Python programming language, allowing for the generation of graphs to assess local climate patterns. The results indicated that April and May 2021 recorded higher rainfall volumes than the same months in 2024, while June 2024 experienced twice the precipitation compared to June 2021. In terms of temperature, there was a warming trend in 2024, particularly in April and May. Green roofs demonstrated the ability to reduce indoor temperatures by up to 2.0 °C on hotter days, although their efficiency varied depending on the month and the substrate's water saturation. Overall, the findings reinforce the potential of green roofs as an effective strategy for mitigating the UHI effect, contributing to more sustainable and resilient urban environments.

Resumo: O avanço da urbanização tem intensificado o fenômeno das Ilhas de Calor Urbanas (ICUs), especialmente em cidades como o Recife. Nesse cenário, soluções sustentáveis, como os telhados verdes, ganham relevância ao promover conforto térmico e auxiliar na adaptação climática urbana. Este estudo avaliou a eficiência térmica de diferentes configurações de telhados verdes em comparação aos telhados convencionais, por meio de experimentos realizados na Unidade Experimental de Telhado Ecológico do Recife (UETER), situada no *campus da UFPE*. Foram analisados dados meteorológicos referentes aos meses de abril, maio e junho dos anos de 2021 e 2024, obtidos da estação meteorológica Recife A301 (INMET, 2024) e da estação pluviométrica 261160623A (CEMADEN, 2024). Os dados foram processados por meio do Google Planilhas, possibilitando a geração de gráficos para a avaliação dos padrões climáticos locais. Os resultados indicaram que abril e maio de 2021 apresentaram volumes de chuva superiores aos de 2024, enquanto

¹⁾ Graduanda do Curso de Engenharia Civil do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental – DECIV, Universidade Federal de Pernambuco – UFPE. Rua Acadêmico Hélio Ramos, s/n, Cidade Universitária, 50740-530 - Recife – PE – Brasil. Fone: +55 81 98668-3321. E-mail: aline.costabrito@ufpe.br

²⁾ Graduando do Curso de Engenharia Civil do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental – DECIV, E-mail: gabriel.gvsn@ufpe.br

³⁾ Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC, UFPE. E-mail: debora.noalmeida@ufpe.br

⁴⁾ Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC, UFPE. E-mail: haylla.rebeka@ufpe.br

⁵⁾ Professora Titular, DECIV, Professora Permanente do PPGEC, UFPE, E-mail: sylvana.santos@ufpe.br

⁶⁾ Professora Adjunta, DECIV, Professora Permanente do PPGEC, UFPE, E-mail: leidjane.oliveira@ufpe.br

⁷⁾ Professor Associado, DECIV, Professor Permanente do PPGEC, UFPE, E-mail: anderson.paiva@ufpe.br

junho de 2024 registrou o dobro da precipitação em relação ao mesmo mês de 2021. Em termos de temperatura, houve tendência de aquecimento em 2024, especialmente nos meses de abril e maio. Os telhados verdes demonstraram capacidade de reduzir a temperatura interna em até 2,0 °C nos dias mais quentes, embora a eficiência tenha variado conforme o mês e a saturação hídrica do substrato. De modo geral, os resultados reforçam o potencial dos telhados verdes como alternativa eficaz para mitigar os efeitos das ICUs, promovendo ambientes urbanos mais sustentáveis e resilientes.

Palavras-Chave – Conforto térmico. Infraestrutura verde. Adaptação urbana.

INTRODUÇÃO

O fenômeno das Ilhas de Calor Urbanas (ICUs) tem se intensificado nas últimas décadas, especialmente em áreas densamente urbanizadas, devido à substituição de superfícies naturais por materiais artificiais, à impermeabilização do solo e à escassez de vegetação. Essas alterações afetam diretamente o balanço térmico urbano, promovendo o aumento das temperaturas em comparação às zonas periféricas ou rurais. Megda e Masiero (2021) demonstraram que, em cidades de porte médio, as ICUs podem apresentar variações térmicas entre zonas urbanas e áreas menos adensadas, com maior intensidade observada na camada próxima ao solo.

Recife, capital de Pernambuco é o município mais populoso do estado, abriga atualmente cerca de 1,5 milhão de habitantes, concentrando uma parcela significativa demográfica regional. O estado de Pernambuco, por sua vez, apresenta historicamente uma trajetória de crescimento populacional contínuo. Segundo projeções do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2024), a população estadual, atualmente estimada em aproximadamente 9,5 milhões de habitantes, deverá atingir um pico de 9,7 milhões até o ano de 2038. Esse cenário impõe desafios cada vez mais complexos ao planejamento urbano e à formulação de políticas públicas voltadas à infraestrutura, habitação e sustentabilidade ambiental.

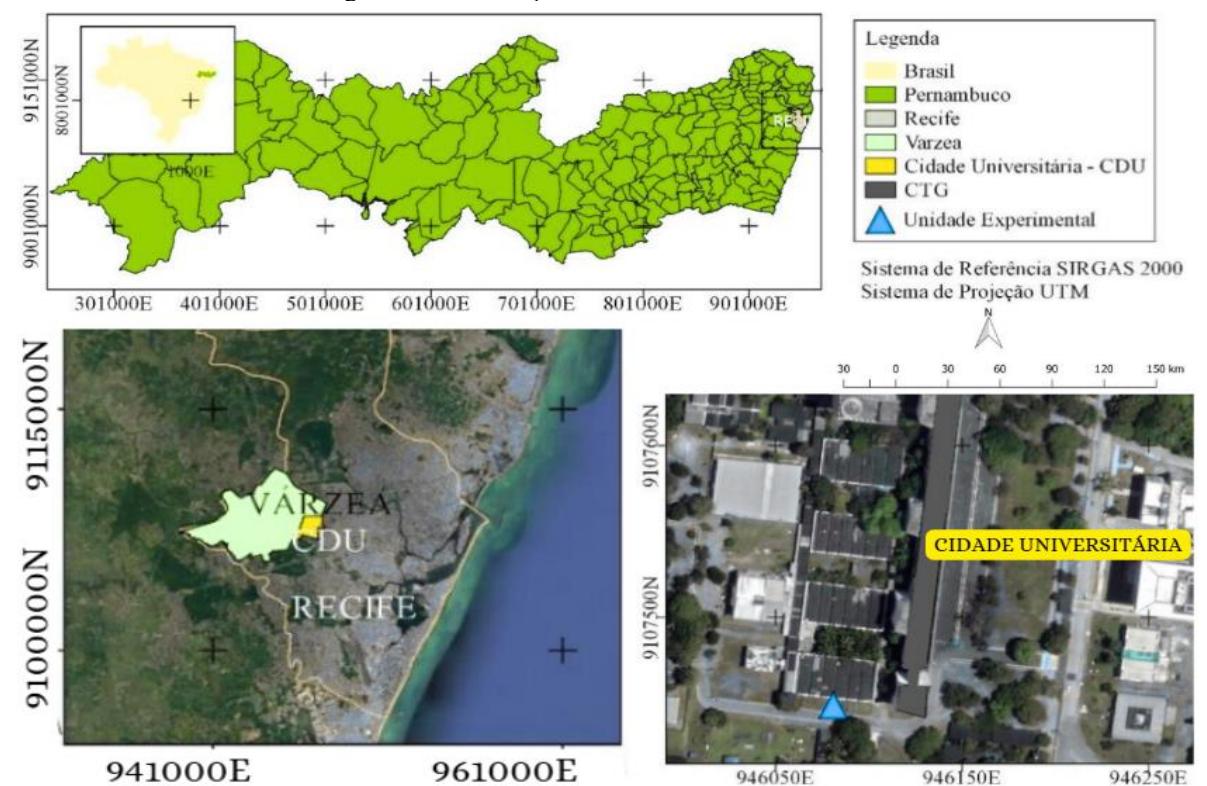
Os telhados verdes têm se consolidado como estratégias sustentáveis no enfrentamento de desafios ambientais urbanos, especialmente aqueles relacionados à elevação das temperaturas nas áreas densamente construídas e à formação das Ilhas de Calor Urbanas (ICUs). Segundo Leonardo (2021), essas estruturas atuam como barreiras térmicas naturais, capazes de reduzir em até 4,49% a temperatura interna das edificações, promovendo maior conforto térmico e contribuindo para a regulação do microclima urbano. Essa mitigação térmica é particularmente relevante em contextos de adensamento urbano e intensa impermeabilização do solo, que intensificam a retenção de calor e agravam os efeitos das ICUs. Diante desse potencial, o presente estudo propõe avaliar a eficiência térmica dos telhados verdes em comparação com telhados convencionais, com ênfase na análise temporal de seu desempenho. A investigação busca quantificar a capacidade dessas estruturas em reduzir a transferência de calor e, assim, atenuar os efeitos das ilhas de calor, promovendo maior resiliência climática e qualidade ambiental no ambiente urbano. Além disso, objetiva-se verificar se ocorreram alterações significativas no desempenho térmico do telhado verde ao longo de três anos após sua implementação.

METODOLOGIA

Área de estudo

Este estudo foi desenvolvido no *campus Recife da Universidade Federal de Pernambuco* (UFPE), localizado no estado de Pernambuco, na Região Nordeste do Brasil (Figura 1).

Figura 1 – Localização da área de estudo e da UETER.



Fonte: Autor.

As análises térmicas foram conduzidas na Unidade Experimental de Telhados Ecológicos do Recife (UETER), a unidade é composta por cinco protótipos experimentais independentes, projetados para representar diferentes configurações de coberturas verdes (Figura 2). Na parte superior de cada protótipo, encontra-se a célula-teste (CT) composta por uma laje impermeabilizada, sobre a qual são testadas distintas tipologias de cobertura, permitindo a avaliação comparativa do desempenho térmico em variados arranjos construtivos.

Neste estudo, foram selecionadas duas CTs para a análise comparativa do desempenho térmico. A CT 5 apresenta um telhado verde com vegetação do tipo suculenta, especificamente da espécie *Kalanchoe laetivirens*, que foi implementada em 2021. Por sua vez, a CT 4 corresponde à cobertura de referência, composta apenas por uma laje impermeabilizada, sem a presença de vegetação. A comparação entre essas duas configurações permitiu avaliar os efeitos da presença do telhado verde ao longo do tempo, considerando o período de 2021 a 2024, com foco na sua capacidade de modulação térmica.

Figura 2 - Unidade Experimental de Telhado Ecológico do Recife - UETER.



Fonte: Autores.

Aquisição e tratamento dos dados meteorológicos e de temperatura interna

Os dados meteorológicos empregados neste estudo consistem em séries temporais de precipitação e temperatura abrangendo o período de 2021 a 2024, obtidos a partir dos bancos de dados oficiais do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN). Até o ano de 2021, as informações foram extraídas da estação automática A301 do INMET, situada em Recife-PE. Em virtude da indisponibilidade da referida estação no intervalo de 2023 a 2024, os dados pluviométricos foram complementados pela estação automática 261160623A do CEMADEN, também localizada no município de Recife. Ademais, em 2024, foi implantada uma estação meteorológica na (UETER), se passou a utilizar os dados meteorológicos no próprio local do experimento. Para a caracterização climatológica do município, foram analisadas séries temporais de precipitação e temperatura, permitindo identificar padrões e variações do clima local.

Para a coleta dos dados de temperatura interna, foram instalados três Escort IMini MX-IN-S-8-L, sensores nas paredes internas de cada protótipo experimental da UETER. Esses sensores foram configurados para registrar e armazenar as temperaturas ambiente em intervalos de 30 minutos, permitindo um monitoramento contínuo e detalhado das condições térmicas no interior das unidades experimentais. Foram comparados os dados obtidos nos meses de abril a junho dos anos de 2021 e 2024, visando avaliar o comportamento do desempenho térmico das coberturas ao longo do tempo. Como critério de análise da temperatura ambiente interna, foram selecionados os dias mais quentes de cada mês, com o objetivo de realizar uma comparação representativa do desempenho térmico das estruturas sob condições de maior exigência térmica.

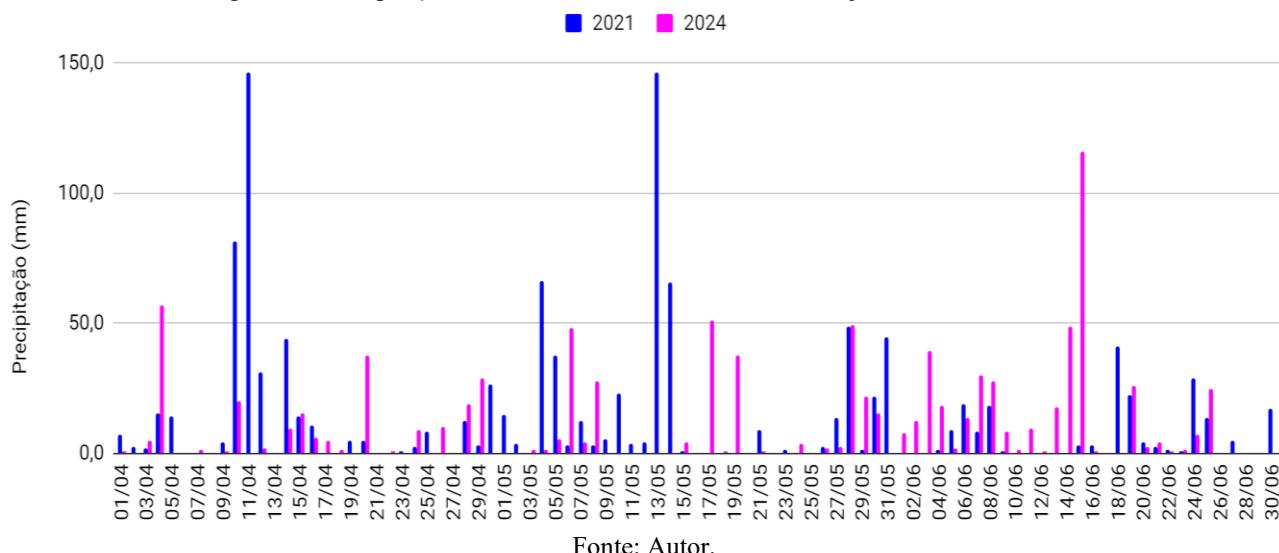
O tratamento, processamento e análise dos dados foram realizados por meio do Google Planilhas, de forma a garantir maior organização, praticidade e precisão nas etapas de manipulação dos diferentes formatos de dados. A utilização dessa ferramenta contribuiu para a agilidade e a eficiência das análises, otimizando o fluxo de trabalho e facilitando a visualização dos resultados. Por meio desse procedimento, foram confeccionados gráficos destinados à análise dos padrões pluviométricos e térmicos da região, evidenciando as características climáticas observadas.

RESULTADOS

Análise dos dados meteorológicos

A análise da precipitação diária acumulada evidenciou diferenças significativas entre os anos de 2021 e 2024. Conforme apresentado na Figura 3, o ano de 2021 registrou volumes consideravelmente mais elevados, com picos de precipitação notáveis nos dias 10/04/2021 atingindo 81,2 mm e 11/04/2021 atingindo 146,4 mm. Por outro lado, apesar de ter chovido em diversos dias ao longo de 2024, os volumes registrados foram menores e a distribuição das chuvas, menos intensa. O total acumulado evidencia essa disparidade: foram 437,2 mm em abril de 2021, frente a 229,6 mm em abril de 2024 — uma redução de quase 50%. Essa diferença indica que abril de 2021 foi marcado por eventos pluviométricos mais intensos e concentrados, enquanto, em 2024, as chuvas tiveram menor impacto hídrico. De modo geral, abril manteve-se como um mês de transição climática.

Figura 3 – Precipitação diária acumulada entre abril, maio e junho de 2021 e 2024.



Fonte: Autor.

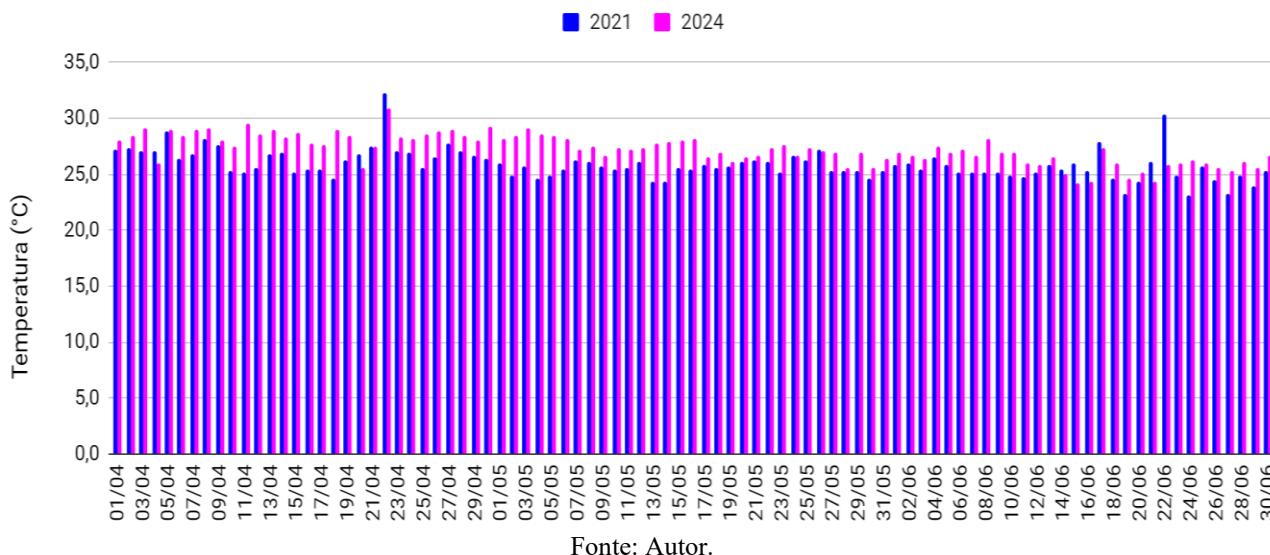
No mês de maio, o contraste entre os dois anos torna-se ainda mais evidente. Em maio de 2021, a precipitação atingiu um acumulado de 533,6 mm, quase o dobro do registrado em maio de 2024, que totalizou 276,1 mm. Destacam-se eventos extremos no dia 13/05/2021 com mais de 140 mm, além de outros episódios relevantes nos dias 04 e 14 de maio de 2021. Em 2024, embora tenha ocorrido precipitação em mais dias do mês de maio, os volumes foram modestos e com distribuição mais uniforme. O padrão de 2021, marcado por chuvas intensas e pontuais, indica maior suscetibilidade a alagamentos e impactos hidrológicos severos em curtos intervalos. Por outro lado, a distribuição mais regular em 2024 favorece a infiltração e a manutenção da umidade do solo.

Em junho, observa-se uma inversão no comportamento pluviométrico, com o ano de 2024 registrando volumes superiores em relação a 2021. Os picos mais expressivos ocorreram em 15/06/2024, com precipitação de 116,1 mm, além de episódios relevantes nos dias 03 e 14 de junho de 2024. Em 2021, a precipitação foi mais moderada e espaçada, com ausência de eventos de grande magnitude. O total acumulado em junho de 2024 foi de 420,8 mm, enquanto em 2021 foi de 200,2 mm — um aumento superior a 110%. A predominância de chuvas intensas e concentradas em 2024 pode estar associada a eventos extremos ou a modificações no regime climático da região. Tal padrão representa riscos potenciais à infraestrutura urbana, como alagamentos e sobrecarga de sistemas de drenagem.

O estudo realizado por Guedes e Silva (2020) identificou uma tendência significativa de aumento nas temperaturas da cidade do Recife. A análise apontou um acréscimo médio de 0,23 °C por década na temperatura máxima, revelando um aquecimento mais acentuado. As maiores variações

ocorreram nas estações de transição, especialmente no outono, que apresentou a maior aceleração térmica e redução da umidade relativa. A pesquisa também constatou uma maior amplitude térmica no outono e um comportamento anômalo da temperatura mínima durante a quadra chuvosa (abril a julho). A análise dos gráficos de temperaturas médias diárias para os meses de abril, maio e junho (Figura 4) permite identificar variações significativas no comportamento térmico entre os anos de 2021 e 2024, com particularidades em cada período. No mês de abril observa-se que as temperaturas registradas em ambos os anos apresentam valores relativamente próximos ao longo do mês. Contudo, há uma tendência sutil de 2024 exibir temperaturas ligeiramente mais elevadas em comparação a 2021. O dia 22 de abril configura-se como o mais quente em ambos os anos, com máximas de 32,3 °C em 2021 e 30,9 °C em 2024, caracterizando o pico térmico do mês. Embora 2024 não tenha superado essa marca em outros dias, destaca-se pela maior estabilidade térmica com temperaturas acima de 27 °C. Em contraste, 2021 apresentou picos mais intensos, porém acompanhados de maior variabilidade.

Figura 4 – Temperatura média diária entre abril, maio e junho de 2021 e 2024.



Fonte: Autor.

Em maio, observa-se uma intensificação da tendência de aquecimento em 2024. Ao longo de praticamente todo o mês, as temperaturas deste ano mantêm-se consistentemente superiores às de 2021, com diferenças de até 3 °C nos primeiros dez dias. Na segunda quinzena, essa discrepância torna-se menos pronunciada, com variações geralmente inferiores a 1 °C, mas ainda assim presentes.

Já em junho, o padrão observado nos meses anteriores não se mantém de forma contínua. Durante a primeira quinzena, 2024 apresentou temperaturas ligeiramente superiores àquelas de 2021 em diversos dias, com variações de até 2 °C. No entanto, esse comportamento se inverte na segunda metade do mês, quando as temperaturas de 2021 superam as de 2024 em algumas datas. O destaque recai sobre o dia 22 de junho de 2021, que registrou a maior temperatura do mês, chegando a 30,4 °C, valor não atingido por 2024 em nenhum momento. Embora as temperaturas de 2024 tenham sido mais regulares e com menor amplitude térmica, não se verifica uma tendência predominante de aquecimento neste mês.

Em síntese, os dados analisados indicam uma tendência de aumento das temperaturas em 2024, especialmente nos meses de abril e maio, quando comparados aos mesmos períodos de 2021. Esse comportamento, evidenciado nos gráficos, demonstra um padrão progressivo de aquecimento, caracterizado não apenas por médias diárias mais elevadas, mas também por uma maior frequência

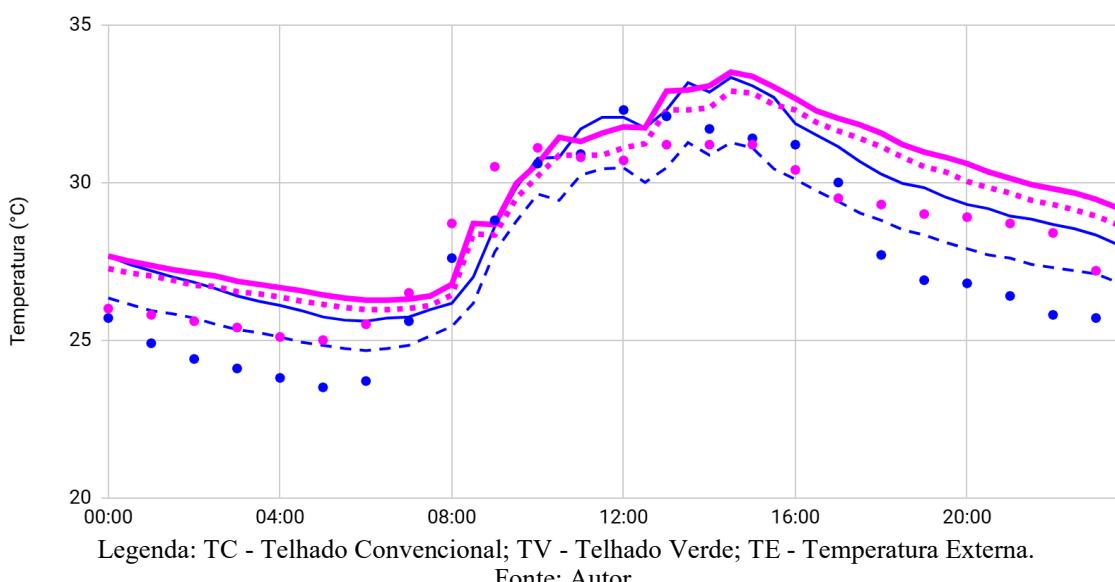
de dias com temperaturas acima de 28 °C, embora junho tenha apresentado um comportamento mais irregular, sem um predomínio térmico claro entre os anos. Considerando essa tendência de aquecimento, foram selecionados para análise os dias mais quentes de cada mês durante o ano de 2021, conforme identificado nos dados de temperatura, a fim de avaliar a eficiência térmica dos telhados ecológicos.

Avaliação térmica interna dos protótipos de telhado

A análise do comportamento térmico dos diferentes sistemas de cobertura foi realizada nos dias mais quentes dos meses de abril, maio e junho, nos anos de 2021 e 2024, a fim de avaliar a eficiência dos telhados verdes na mitigação da carga térmica interna. No dia 22 de abril, identificado como o mais quente do mês em ambos os anos analisados, observou-se uma diferença clara entre os desempenhos térmicos das coberturas. Conforme apresentado na (Figura 8), em 2021, a temperatura interna máxima registrada sob o telhado convencional (TC 2021) foi de aproximadamente 33 °C, que foi maior que o registrado para a temperatura externa (TE 2021) que marcou 32,3 °C, enquanto o telhado verde (TV 2021) atingiu 31,3 °C. Em 2024, a tendência se manteve, embora com menor discrepância o telhado convencional (TC 2024) alcançou 33,5 °C, ao passo que o telhado verde (TV 2024) registrou 32,9 °C, ambos ficando acima da temperatura externa (TE 2024), que atingiu 31 °C. A redução do telhado verde em comparação com o telhado convencional de até 2,0 °C em 2021 e de 0,6 °C em 2024 indica o potencial do telhado verde em amenizar os efeitos do aquecimento solar direto, contribuindo para o conforto térmico interior.

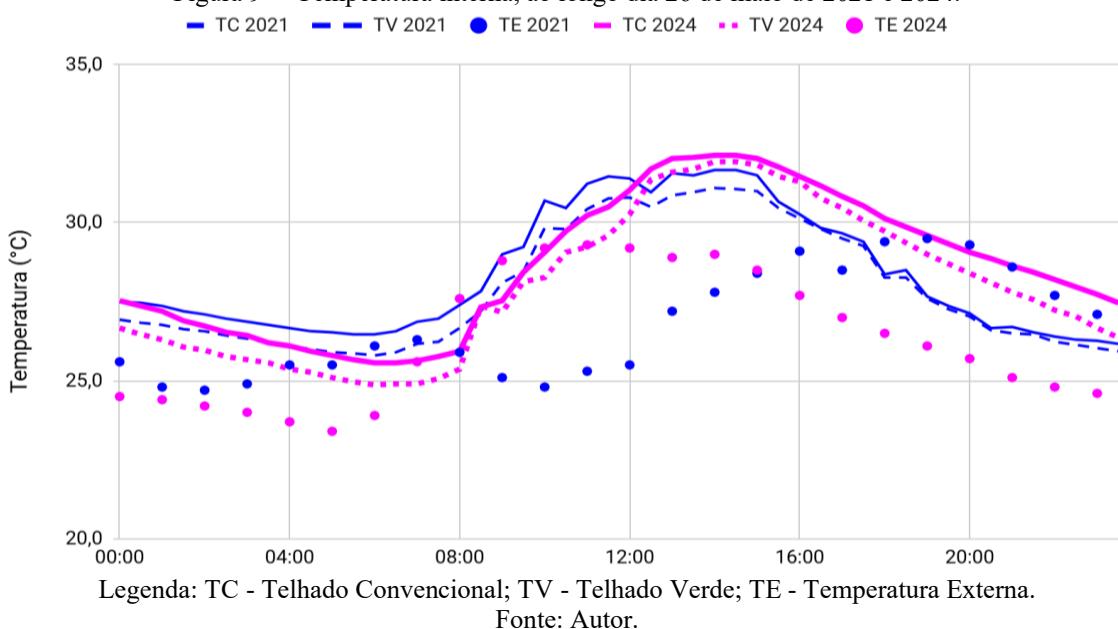
Figura 8 – Temperatura interna, ao longo dia 22 de abril de 2021 e 2024.

— TC 2021 — TV 2021 ● TE 2021 — TC 2024 ... TV 2024 ● TE 2024



No dia 26 de maio de 2021 (Figura 9), o mais quente do mês em 2021, foi registrada uma temperatura interna máxima de 31,7 °C sob o telhado convencional, enquanto o telhado verde apresentou 31,1 °C, ambos acima da temperatura externa, que marcou 29,5 °C. Em 2024, o comportamento foi semelhante, com 32,1 °C sob o telhado convencional, 31,9 °C sob o telhado verde e 29,3 °C para a temperatura externa. Esses resultados corroboram os destacados por Leonardo (2021), que evidencia a eficácia das camadas vegetais e substratos, que funcionam como barreiras térmicas naturais, promovendo a regulação da temperatura interna, reforçando sua aplicabilidade como estratégia passiva de climatização urbana.

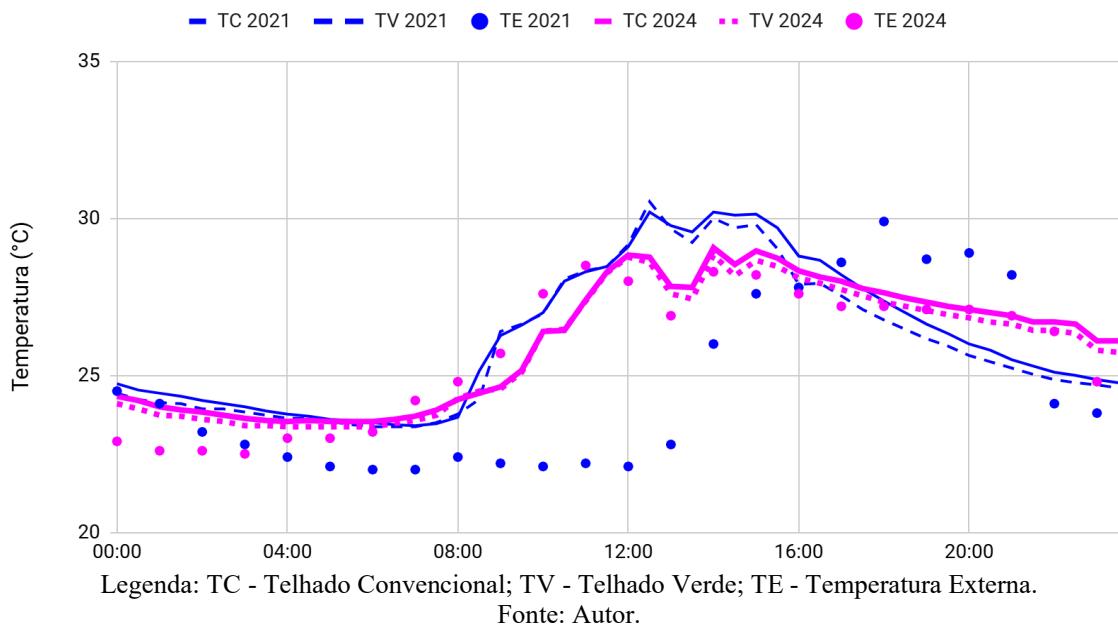
Figura 9 – Temperatura interna, ao longo dia 26 de maio de 2021 e 2024.



Já no dia 22 de junho, considerado o mais quente do mês em 2021 (Figura 10), observou-se uma inversão atípica no comportamento térmico. Neste ano, onde a temperatura externa marcou 29,9 °C, o telhado verde apresentou temperatura interna máxima de 30,5 °C, ligeiramente superior à do telhado convencional, que atingiu 30,2 °C. Tal comportamento pode estar relacionado a fatores específicos, como a saturação hídrica do substrato. Por outro lado, em 2024 com a temperatura externa atingindo 28,5 °C, verificou-se a tendência esperada, o telhado verde registrou 28,8 °C, enquanto o telhado convencional alcançou 29,1 °C. Esse desempenho confirma a capacidade dos telhados verdes de reduzir a carga térmica interna.

As variações observadas entre os anos de 2021 e 2024 entre os diferentes meses analisados evidenciam a influência de múltiplos fatores — como a composição do telhado, a dinâmica climática local e a condição hídrica da cobertura vegetal — no comportamento térmico das edificações. Tais resultados reforçam a importância de avaliações multianuais e contextualizadas para a adequada caracterização da eficiência dos telhados verdes como solução técnica sustentável no enfrentamento das ilhas de calor urbanas e na promoção do conforto térmico em ambientes edificados.

Figura 10 – Temperatura interna, ao longo dia 22 de junho de 2021 e 2024.



CONCLUSÕES

A partir da análise integrada dos dados meteorológicos e térmicos obtidos entre os anos de 2021 e 2024, foi possível identificar variações significativas no regime de precipitação e no comportamento térmico da cidade do Recife-PE, especialmente nos meses de abril a junho. Observou-se uma tendência de aumento das temperaturas médias em 2024, notadamente nos meses de abril e maio, acompanhada por um padrão pluviométrico mais irregular e com eventos extremos concentrados, sobretudo em junho.

Portanto, no contexto da avaliação térmica das coberturas, os telhados verdes demonstraram desempenho superior na mitigação da carga térmica interna, com reduções de temperatura em relação aos telhados convencionais. Os resultados evidenciaram o potencial dos telhados ecológicos como estratégias passivas de climatização urbana, contribuindo para a regulação térmica em ambientes edificados e para a adaptação das cidades às mudanças climáticas.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio, código de financiamento 001, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelas bolsas de iniciação científica da primeira autora e do quarto autor, à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE) pela bolsa de Doutorado (IBPG 1657-3.01/21) da segunda autora, e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de Doutorado da terceira autora (88887.827976/2023-00), e à PROPESQI/UFPE pelo apoio ao Projeto Desempenho de Telhado Ecológico (Processo No. 23076.049383/2024-76) e ao Projeto Drenagem Urbana: Inovação Sociotécnica Inclusiva e Uso de Geotecnologias (Processo No. 23076.049392/2024-27).

REFERÊNCIAS

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2024). “*Estimativas da população residente no Brasil e unidades da federação*”. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html>. Acesso em: 30/05/2025.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. “*Banco de dados horários da estação meteorológica Recife (A301)*”. Disponível em: <https://mapas.inmet.gov.br>. Acesso em: 23/10/2024.

CEMADEN - Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. “*Mapa interativo, dados pluviométricos*”. Disponível em: <https://mapainterativo.cemaden.gov.br/#>. Acesso em: 30/10/2024.

GUEDES, R. S. G.; Silva, T. L. V. (2020). “*Análise Descritiva da Precipitação, Temperatura, Umidade e Tendências Climáticas no Recife - PE*”. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 13, n. 7, pp. 3234–3253.

LEONARDO, H. R. A. L. (2021). “*Desempenho de telhados ecológicos em área urbana*”. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE. p. 147.

MEGDA, D. S.; Masiero, M. A. (2021). “*Análise das ilhas de calor urbano sobre zonas climáticas locais com o uso de VANT – Veículo Aéreo Não Tripulado – em uma cidade média*”. Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana, 13, e20200234.