

## **XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS**

### **DESEMPENHO HIDROLÓGICO DE TELHADOS VERDES: TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS PARA A DRENAGEM URBANA EM RECIFE-PE**

*Gustavo Lima Cabral<sup>1</sup> ; Debora Natália Oliveira de Almeida<sup>2</sup> ; Haylla Rebeka de Albuquerque Lins Leonardo<sup>3</sup> ; João Henrique Pereira de Albuquerque Borba<sup>4</sup> ; Maria Vitória Silva Felix de Andrade<sup>5</sup> ; Leidjane Maria Maciel de Oliveira<sup>6</sup> ; Anderson Luiz Ribeiro de Paiva<sup>7</sup> & Sylvana Melo dos Santos<sup>8</sup>*

**Abstract:** This study evaluated the hydrological and thermal performance of green roofs as a compensatory technique for urban drainage in Recife, a coastal city vulnerable to flooding and climate change. Historical rainfall data (1994–2021), spectral index NDBI from Sentinel-2 satellite images, and experiments at the Experimental Unit of Ecological Roofs (UETER) were analyzed. Results showed that green roofs reduced peak surface runoff by 28.6% and provided greater thermal stability compared to conventional roofs. Spatial analysis identified priority areas for implementation, such as regions with high impermeability and low vegetation cover. It is concluded that green roofs are a viable solution to mitigate flooding, improve thermal comfort, and promote more resilient cities, aligning with local public policies.

**Resumo:** Este estudo avaliou o desempenho hidrológico e térmico de telhados verdes como técnica compensatória para a drenagem urbana em Recife, uma cidade costeira vulnerável a inundações e mudanças climáticas. Foram analisados dados pluviométricos históricos (1994–2021), índice espectral NDBI a partir de imagens do satélite Sentinel-2, e experimentos na Unidade Experimental de Telhados Ecológicos (UETER). Os resultados demonstraram que os telhados verdes reduziram o pico de escoamento superficial em 28,6% e proporcionaram maior estabilidade térmica em comparação aos telhados convencionais. A análise espacial identificou áreas prioritárias para implantação, como regiões com alta impermeabilização e baixa cobertura vegetal. Conclui-se que os telhados verdes são uma solução viável para mitigar inundações, melhorar o conforto térmico e promover cidades mais resilientes, alinhando-se às políticas públicas locais.

**Palavras-Chave:** infraestruturas verdes, sensoriamento remoto, conforto térmico.

<sup>1</sup>) Engenheiro Civil formado pelo 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 984611842. Email: gustavo.limacabral@ufpe.br

<sup>2</sup>) Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGE, UFPE. Email: debora.noalmeida@ufpe.br

<sup>3</sup>) Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGE, UFPE. Email: haylla.rebeka@ufpe.br

<sup>4</sup>) Graduando do DECIV, UFPE. Email: joao.henriqueborba@ufpe.br

<sup>5</sup>) Engenheira Civil formada pelo DECIV, UFPE. Email: vitoria.silvaa@ufpe.br

<sup>6</sup>) Professora Adjunta, DECIV, Professora Permanente do PPGE, UFPE, Email: leidjane.oliveira@ufpe.br

<sup>7</sup>) Professor Associado, DECIV, Professor Permanente do PPGE, UFPE, Email: anderson.paiva@ufpe.br

<sup>8</sup>) Professora Titular, DECIV, Professora Permanente do PPGE, UFPE, Email: sylvana.santos@ufpe.br

## INTRODUÇÃO

A migração em massa da população rural para as áreas urbanas impulsionou um rápido crescimento dos centros urbanos brasileiros, porém, muitas vezes de forma desordenada e sem a devida consideração pela infraestrutura necessária para uma drenagem adequada das águas pluviais. Segundo Neupane *et al.* (2021), esse fenômeno resultou em uma significativa redução das áreas com cobertura vegetal, conhecidas como áreas permeáveis, e em aumento correspondente das áreas construídas, ou seja, áreas impermeáveis. Como ressaltado por Silva Júnior e Silva (2016), essa transformação do uso e ocupação do solo nas cidades tem sido uma realidade preocupante, resultando em inúmeros impactos negativos, especialmente em relação às inundações e à contaminação dos mananciais superficiais e subterrâneos por efluentes urbanos, afetando drasticamente a qualidade de vida da população.

De acordo com Liu *et al.* (2023), as precipitações intensas em áreas urbanas provocam um aumento significativo no volume de escoamento, sobrecarregando o sistema de drenagem e ocasionando inundações e alagamentos, que por sua vez impactam negativamente a infraestrutura urbana e a qualidade de vida dos cidadãos. Esse problema é particularmente grave em áreas costeiras, como o caso da cidade de Recife, onde a ocupação urbana desordenada e a vulnerabilidade do sistema de drenagem às oscilações de maré exacerbam os problemas de alagamento durante os períodos de chuvas intensas, assim como foi apontado por (Silva Júnior & Silva, 2016).

Diante do exposto, diversas pesquisas citam as tecnologias que visam resgatar o cenário pré-urbanização como a principal medida a ser tomada para mitigação de tais problemas. Nesse contexto, a exemplo de Urbonas (1994); Usepa (2008) e; Liu, Bralts e Engel (2015) destacam que as Melhores Práticas de Gestão (Best Management Practices - BMPs) e o Desenvolvimento de Baixo Impacto (Low Impact Development – LID) são duas medidas de controle efetivas para reduzir o escoamento e o movimento de poluentes.

Entre as medidas BMPs e LID, os telhados verdes se destacam como uma opção viável e eficaz, oferecendo uma série de benefícios. Fazendo uma comparação com os telhados comuns tem-se que, devido a sua superfície ecológica, os telhados verdes diminuem a temperatura tanto interna quanto externa. Assim, ao proporcionarem um melhor conforto térmico, é natural que também ocorra uma diminuição no gasto energético em regiões de clima quente, pela amenização do uso de eletrodomésticos com a mesma finalidade (Giacomello & Gaspari, 2021).

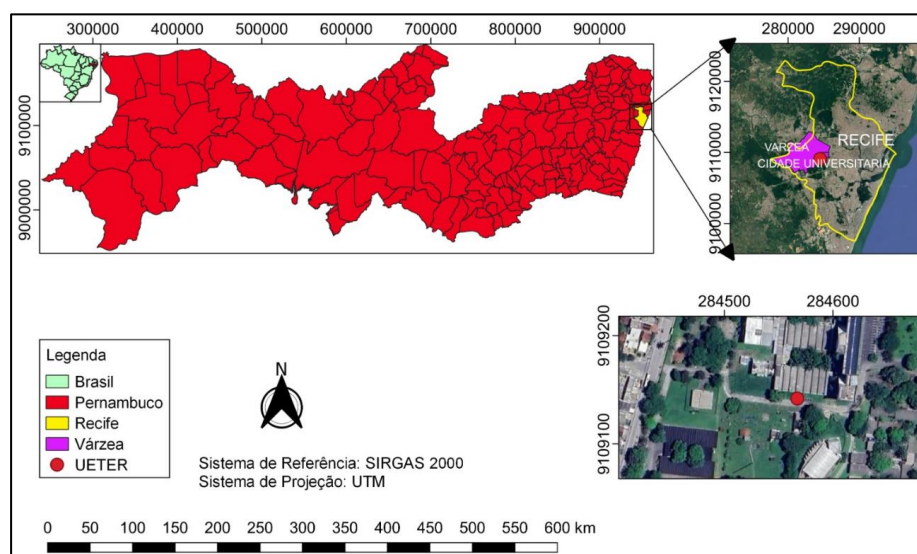
Outra área que vem ganhando destaque atualmente é o monitoramento do comportamento hídrico associado à variação da cobertura vegetal por meio de técnicas de Sensoriamento Remoto (SR). Segundo Farias *et al.* (2017), essas técnicas têm se tornado cada vez mais frequentes no cenário mundial. O SR é uma técnica de coleta de informações sobre a superfície da Terra por meio de sensores instalados em satélites, que detectam e respondem às radiações eletromagnéticas. Para uma análise mais completa e precisa, as técnicas de SR podem ser complementadas com dados hidrológicos (Testa *et al.*, 2018). Nesse contexto, destaca-se a utilização de índices espectrais obtidos por meio do SR, como o Índice de Diferença Normalizada de Áreas Urbanas (NDBI), como ferramentas eficazes para o monitoramento ambiental e planejamento urbano.

Nessa relevância entre o SR e telhados verdes, este estudo objetiva avaliar o desempenho hidrológico e térmico de telhados verdes como técnica compensatória para a drenagem urbana em Recife, uma cidade costeira vulnerável a inundações e mudanças climáticas.

## METODOLOGIA

A área de estudo corresponde a cidade de Recife, localizada no Estado de Pernambuco, Brasil. A capital pernambucana é uma cidade costeira com clima tropical e um regime de precipitação concentrado principalmente nos meses de inverno. Situada na região Nordeste do Brasil, Recife está aproximadamente entre as coordenadas 8°03'14"S e 34°52'51"W, conforme apresentado na Figura 1. O clima é caracterizado por uma estação chuvosa bem definida, predominantemente entre março e agosto, conforme dados da prefeitura de Recife (2025). A Unidade Experimental de Telhados Ecológicos de Recife (UETER) está incluída na área destacada.

Figura 1 - Localização de Recife e da UETER



Fonte: Autores.

### Apoio nas unidades experimentais

Durante a realização do trabalho, foram realizados experimentos com a aplicação do simulador de chuvas e implementação de um modelo de escoamento para uso nos telhados verdes como instrumento da drenagem urbana. Esta etapa foi desenvolvida nas instalações da Unidade Experimental de Telhados Ecológicos de Recife (UETER), Figura 2, localizada no Laboratório de Hidrologia Urbana. A UETER é composta por diferentes telhados, contendo um sistema de captação e armazenamento de água pluvial, sendo instalada no campus Recife da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e monitorada semanalmente para identificar e tratar eventuais condições técnicas. Foi realizada a análise pluviométrica da série histórica anual da cidade de Recife, onde utilizaram-se os dados pluviométricos mensais para os anos de 1994 a 2021. Embora os dados da série histórica tenham se encerrado em 2021, devido à parada da estação, os dados de 1994 a 2021 ainda são suficientes para uma análise robusta.

Os dados obtidos por meio do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), referem-se à estação meteorológica automática Recife (A301), situada no bairro da Varzea. Para a realização da análise da série histórica os dados foram separados em três blocos de 6 anos e dois blocos de 5 anos. A coleta dos dados de temperatura interna nos telhados foi realizada utilizando dataloggers, conforme a Figura 3, dispositivos programados para medir a temperatura a cada 30 minutos. Foram utilizados três dataloggers em cada protótipo de telhado, cada um posicionado em uma parede diferente dos protótipos.

Figura 2 - Unidade Experimental de Telhados Ecológicos de Recife (UETER)



Figura 3 - Escort iMINI MX-IN-S-8-L



Fonte: Autores.

Para a análise da cobertura do solo e a identificação de áreas propícias à implantação de telhados verdes, foram utilizadas imagens de satélite Sentinel-2, adquiridas através da plataforma United States Geological Survey (USGS). O satélite Sentinel-2, o qual faz parte do programa Copernicus da União Europeia, é equipado com sensores capazes de capturar imagens com alta resolução espacial e temporal, fornecendo dados essenciais para monitoramento ambiental e urbano. As imagens escolhidas foram aquelas com pouca incidência de nuvens, correspondendo aos períodos de estudo. A plataforma USGS oferece acesso a uma vasta gama de dados geoespaciais, incluindo imagens de satélite, que são amplamente utilizadas em pesquisas e análise de mudanças no uso do solo, devido à sua precisão e abrangência global.

O procedimento consistiu em uma série de etapas para a obtenção de imagens binárias a partir de diversos índices espectrais, utilizados na análise da cobertura do solo e das características ambientais. Inicialmente foram escolhidas imagens pela plataforma USGS, evitando imagens com grande quantidade de nuvens. Em seguida foram geradas as cartas georreferenciadas, utilizando a ferramenta “Calculadora Raster”, proveniente do software QGIS.

Posteriormente, foi também processado o índice NDBI, que contribuiu para identificar áreas urbanas e construídas, isolando os pixels que representavam zonas urbanas e destacando áreas com infraestrutura, como edifícios e ruas. Esse índice fornece uma análise detalhada das características do solo, vegetação e áreas urbanas, auxiliando na identificação das áreas mais adequadas para a implantação de telhados verdes.

De acordo com Zhang *et al.* (2019), as especificações das bandas do sensor Sentinel-2A, incluindo resolução e comprimento de onda, foram apresentadas de forma concisa na Tabela 1.

Tabela 1 - Banda, resolução e comprimento de onda do sensor do Sentinel-2.

Banda	Resolução (m)	Comprimento de onda (nm)
2 (azul)	10	458-523
3(verde)	10	543-578
4 (vermelho)	10	650-680
8 (IVP)	10	785-900

Fonte: Adaptado de Zhang *et al.* (2019).



O Índice de Diferença Normalizada de Áreas Urbanas (NDBI) conforme proposto por Zha *et al.* (2003), será processado pela razão entre a diferença e a soma das faixas do infravermelho médio (IVM) e do infravermelho próximo (IVP), conforme a Equação 1. Esse índice é eficaz para identificar áreas urbanizadas, uma vez que maximiza a reflectância das superfícies construídas e minimiza a reflectância das áreas de vegetação. O NDBI, portanto, é uma ferramenta útil para mapear a densidade de construção nas regiões de estudo.

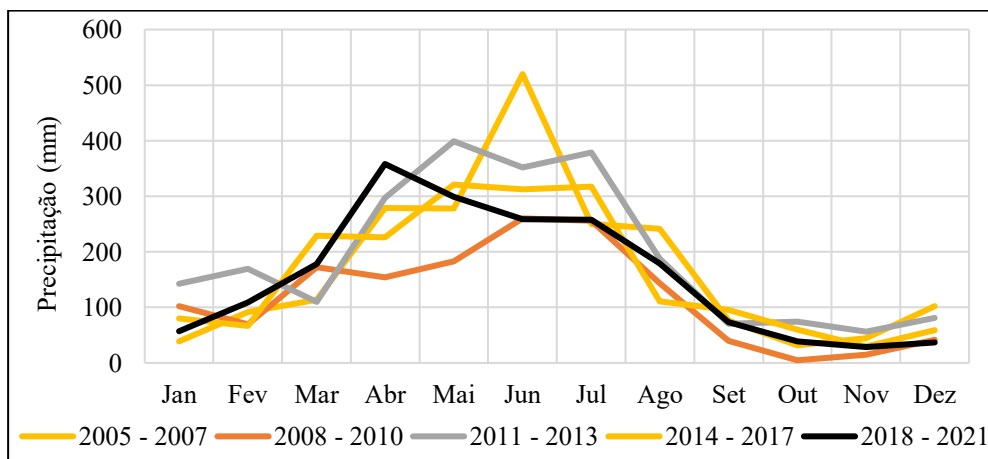
$$NDBI = \frac{\rho(\lambda_{IVM}) - \rho(\lambda_{IVP})}{\rho(\lambda_{IVM}) + \rho(\lambda_{IVP})} \quad (1)$$

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Análise da precipitação pluviométrica

Na Figura 4, observou-se a série histórica dos dados pluviométricos médios mensais referente aos anos de 1994 a 2021 para a cidade de Recife. Evidenciou-se que os anos de 2004 a 2009 apresentaram uma maior precipitação pluviométrica média anual (2.314,9 mm), o menor valor foi registrado entre anos de 2016 a 2021 (1.886,6 mm). Nos meses de setembro a fevereiro a região metropolitana de Recife apresenta baixos valores pluviométricos. No meio do ano, meses de março a agosto, ocorre o maior índice de chuvas, com seu ápice nos meses de junho e julho, o maior valor registrado foi no período de 2004 a 2009, no mês de junho (462,02 mm).

Figura 4 - Precipitação pluviométrica média mensal para os anos de 1994 a 2021



Fonte: Autores.

### Análise dos experimentos na UETER

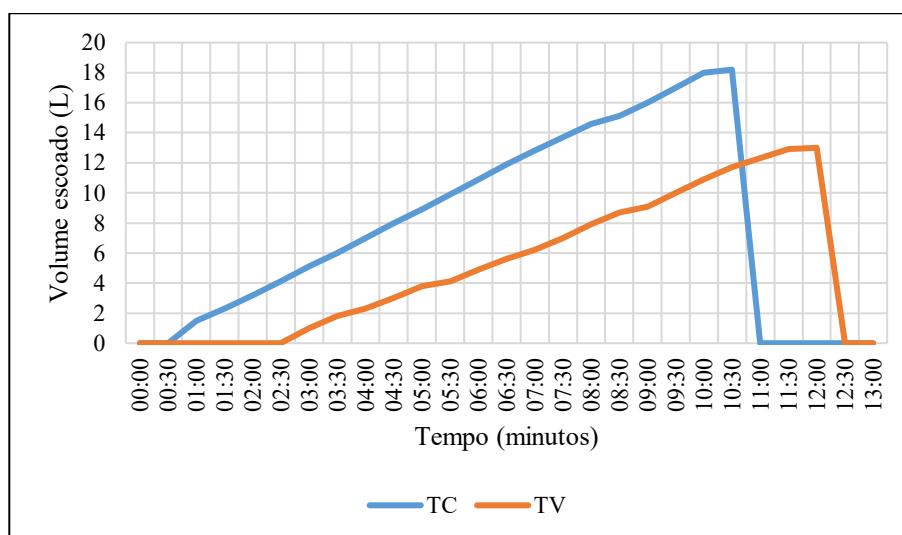
Os dados da Unidade Experimental de Telhados Ecológicos de Recife (UETER - UFPE) mostraram que o Telhado Verde é mais eficiente que o Telhado Convencional na gestão de águas pluviais. A chuva simulada teve uma intensidade de 120 mm/h, com duração de 10 minutos, permitindo avaliar a capacidade de retenção e escoamento dos diferentes sistemas de cobertura.

Como ilustrado pela Figura 5, o Telhado Convencional iniciou o escoamento superficial em 1 minuto, atingindo um pico de 18,2 L aos 10 minutos e 30 segundos, enquanto o Telhado Verde retardou o início do escoamento para aproximadamente 3 minutos, com um pico reduzido de 13 L

aos 12 minutos. Isso representa uma redução de 28,6% no pico de escoamento, evidenciando o efeito atenuador do Telhado Verde sobre a vazão gerada.

Além disso, a taxa de escoamento do Telhado Verde foi mais uniforme e progressiva, com aumentos de 0,5 a 0,8 L a cada 30 segundos, em comparação com cerca de 1 L no Telhado Convencional. Após atingir o pico, o escoamento do Telhado Convencional decresceu rapidamente, enquanto o Telhado Verde demonstrou uma drenagem mais gradual, prolongando a liberação da água ao longo do tempo. Esse comportamento está diretamente relacionado à capacidade de retenção e infiltração do substrato do Telhado Verde, que atua como um reservatório temporário antes de liberar a água para o sistema de drenagem.

Figura 5 - Comparação do Escoamento de Água entre o Telhado Convencional (TC) e o Telhado Verde (TV)

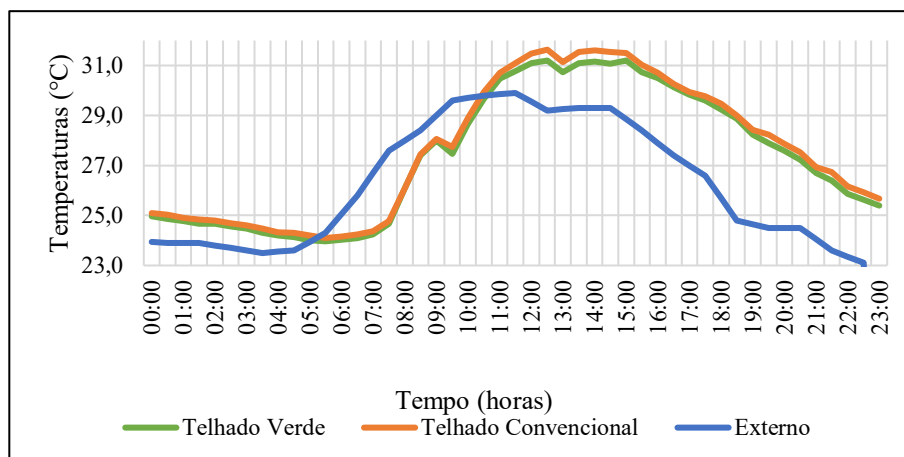


Fonte: Autores.

Os resultados obtidos corroboraram com estudos anteriores que indicam que telhados verdes desempenham um papel fundamental na mitigação do escoamento superficial em áreas urbanas, como demonstrado por Dutra e Silva (2020) em sua análise sobre o amortecimento de vazões de pico em bacias urbanas. A capacidade de retardar o escoamento e reduzir o volume total escoado contribui significativamente para a diminuição do risco de enchentes, além de promover benefícios adicionais, como a melhoria da qualidade da água drenada e a redução da sobrecarga em sistemas de drenagem urbana. Dessa forma, a implementação de telhados verdes surge como uma estratégia eficiente para o controle da drenagem urbana, especialmente em cidades como Recife, sujeitas a eventos de precipitação intensa e rápida.

Partindo para a análise de temperatura do ar, foi escolhido o mês de junho, por coincidir com o mês das imagens de satélites obtidas. A Figura 6 apresenta as temperaturas do dia mais quente de junho (01/06/2024), medidas a cada 30 minutos, das 00:00 às 23:00. A temperatura externa variou de 23,1°C (23:00) a 29,9°C (11:30 e 12:00), com amplitude de 6,8°C.

Figura 6 - Dados de temperatura do dia mais quente (01/06/2024)

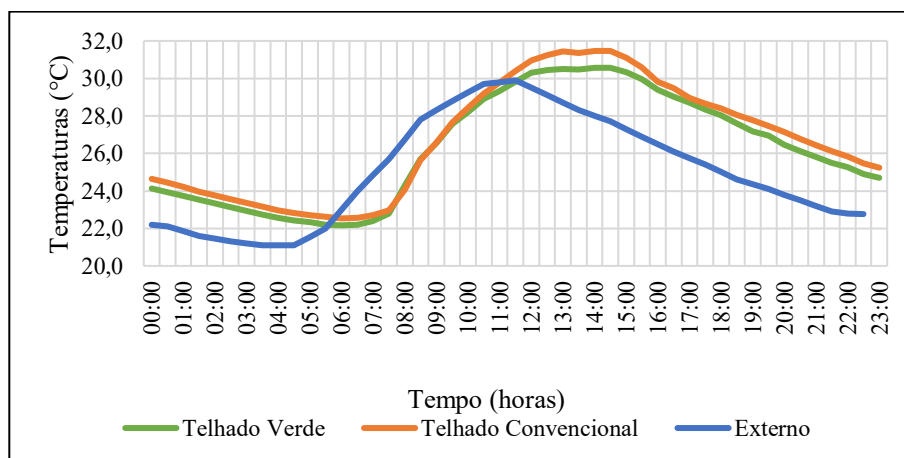


Fonte: Autores.

O Telhado Convencional atingiu um pico de 31,6°C (13:00 e 14:30 h) e uma mínima de 24,1°C (06:00), com amplitude de 7,5°C, enquanto o Telhado Verde registrou 31,2°C (13:00 e 14:30 h) e 24,0°C (05:30 e 06:00), com amplitude de 7,2°C. Durante o pico de calor (10:00 às 15:00 h), o Telhado Convencional foi até 2,3°C mais quente que a temperatura externa, e o Telhado Verde, até 0,5°C mais frio que o Convencional. O Telhado Convencional apresentou temperaturas mais altas devido à maior absorção de radiação solar por materiais tradicionais, enquanto o Telhado Verde mostrou maior estabilidade térmica, beneficiado pelo isolamento e evapotranspiração da vegetação, corroborando os benefícios de telhados verdes apontados por Leonardo (2021).

Ainda no mesmo mês, a Figura 7 apresenta as temperaturas do dia de maior amplitude térmica (29/06/2024), também medidas a cada 30 minutos, das 00:00 às 23:00, permitindo uma análise complementar do desempenho dos telhados em condições de maior variação climática. A temperatura externa variou de 21,1°C (04:00 e 04:30 h) a 29,9°C (12:00 h), com amplitude de 8,8°C. O Telhado Convencional atingiu um pico de 31,5°C (14:30 e 15:00 h) e uma mínima de 22,5°C (06:30), com amplitude de 9,0°C, enquanto o Telhado Verde registrou 30,6°C (14:30 e 15:00 h) e 22,2°C (06:00 e 06:30 h), com amplitude de 8,4°C.

Figura 7 - Dados de temperatura do dia de maior amplitude térmica (29/06/2024)

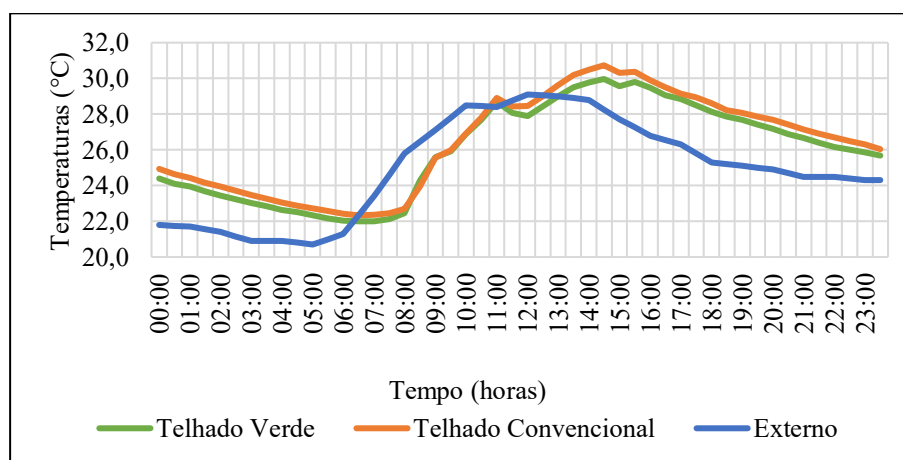


Fonte: Autores.

Durante o pico de calor (10:00 às 15:00 h), o Telhado Convencional foi até 3,1°C mais quente que a temperatura externa, e o Telhado Verde, até 0,9°C mais frio que o Convencional. Assim como no dia mais quente, o Telhado Convencional apresentou temperaturas mais elevadas devido à absorção de radiação solar, enquanto o Telhado Verde demonstrou maior estabilidade térmica, com uma amplitude 0,6°C menor que a do Convencional, reforçando sua capacidade de atenuação térmica em dias de alta variação climática, o que está alinhado com os benefícios de telhados ecológicos destacados por Leonardo (2021).

Por fim, a Figura 8 apresenta as temperaturas do dia menos quente de junho (30/06/2024), medidas a cada 30 minutos, das 00:00 às 23:00 h, complementando a análise do desempenho térmico dos telhados em condições de temperaturas mais amenas. A temperatura externa variou de 20,7°C (05:00 h) a 29,1°C (12:00 h), com amplitude de 8,4°C. O Telhado Convencional atingiu um pico de 30,7°C (14:30) e uma mínima de 22,3°C (06:30 h), com amplitude de 8,4°C, enquanto o Telhado Verde registrou 30,0°C (14:30 h) e 22,0°C (06:00, 06:30 e 07:00 h), com amplitude de 8,0°C. Durante o pico de calor (10:00 às 15:00 h), o Telhado Convencional foi até 2,5°C mais quente que a temperatura externa, e o Telhado Verde, até 0,7°C mais frio que o Convencional. Assim como nos dias anteriores, o Telhado Convencional apresentou temperaturas mais elevadas devido à absorção de radiação solar, enquanto o Telhado Verde demonstrou maior estabilidade térmica, com uma amplitude 0,4°C menor que a do Convencional, evidenciando sua capacidade de atenuação térmica mesmo em um dia menos quente, o que está alinhado com os benefícios de telhados ecológicos destacados por Leonardo (2021).

Figura 8 - Dados de temperatura do dia menos quente (30/06/2024)



Fonte: Autores.

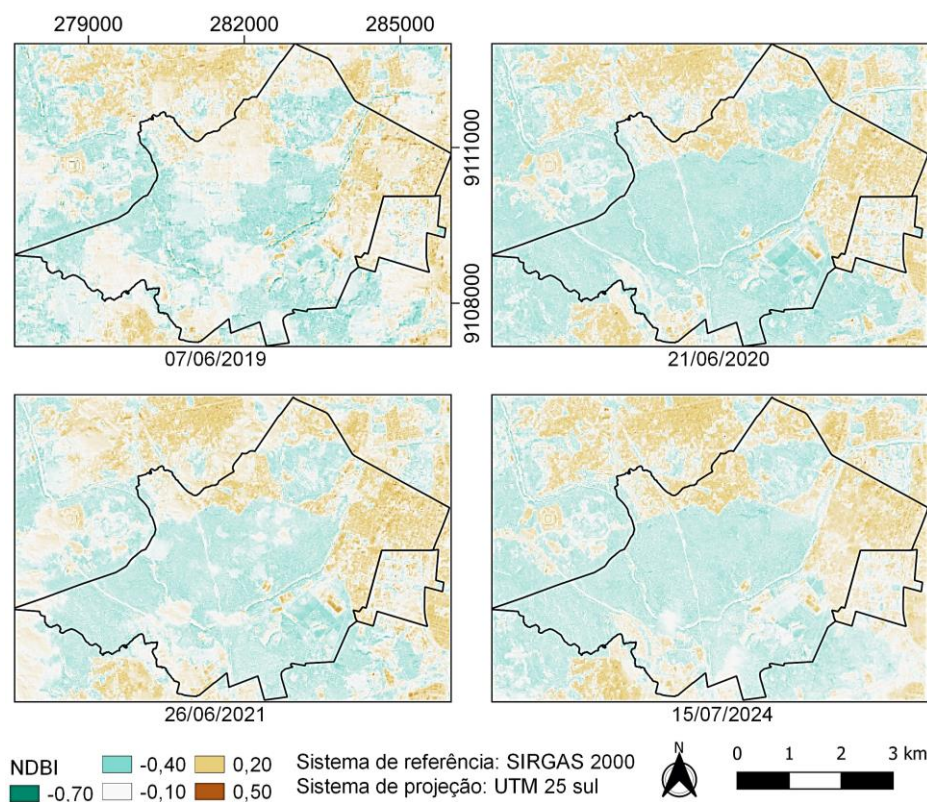
Foi realizada a análise do índice espectral NDBI (Figura 9), com o objetivo de identificar áreas urbanizadas e superfícies construídas, visando avaliar a distribuição espacial dessas áreas para a implantação de telhados verdes. O NDBI é um índice amplamente utilizado para detectar áreas construídas, sendo eficaz na diferenciação entre superfícies urbanas e áreas naturais, conforme destacado por Zha *et al.* (2003).

A Figura 9 apresenta as cartas georreferenciadas de NDBI para os anos de 2019, 2020, 2021 e 2024. Os valores de NDBI variam de -0,70 a 0,50, representados por uma escala de cores em tons de vermelho, que vai do branco (valores negativos, indicando áreas não construídas, como vegetação ou corpos d'água) ao vermelho escuro (valores positivos, indicando alta densidade de áreas construídas). De acordo com a legenda, a coloração marrom escura (NDBI > 0,50) indica áreas com alta densidade de construções, predominantes na região norte e leste, enquanto tons de amarelo (NDBI entre -0,10 e 0,20) representam áreas de transição, com menor densidade urbana, e tons de azul claro a verde



(NDBI < -0,40) indicam áreas não construídas, como vegetação ou corpos d'água, mais evidentes nas extremidades oeste e central.

Figura 9- Cartas georreferenciadas de NDBI



Os valores de NDBI variaram de -0,70 a 0,50, confirmando a predominância de áreas urbanizadas na região nordeste e a presença de áreas naturais no centro. As regiões mais ao norte e leste, com altos valores de NDBI, são prioritárias para a implantação de telhados verdes, pois essas áreas, por serem altamente impermeabilizadas, apresentam maior risco de escoamento superficial e ilhas de calor, conforme Liu *et al.* (2023).

## CONCLUSÃO

Os dados demonstraram que os telhados verdes apresentam vantagens significativas em comparação aos telhados convencionais. Em relação à gestão das águas pluviais, observou-se que os telhados verdes retardaram o início do escoamento superficial e reduziram o pico de vazão em 28,6%, comprovando sua eficácia na mitigação de inundações. Além disso, verificou-se que esses sistemas proporcionam maior estabilidade térmica, com menores amplitudes de temperatura, o que pode contribuir para a redução do consumo energético em edificações.

A análise do índice espectral NDBI identificou áreas prioritárias para a implantação de telhados verdes, especialmente em regiões com alta impermeabilização e baixa cobertura vegetal. Esses locais, que enfrentam problemas como ilhas de calor e escoamento superficial intenso, seriam os mais beneficiados por essa solução. Portanto, que os telhados verdes representam uma alternativa viável e eficaz para os desafios da drenagem urbana e do conforto térmico em cidades como Recife. Sua implementação, aliada a políticas públicas adequadas, pode promover ambientes urbanos mais sustentáveis e resilientes.

## AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio, código de financiamento 001, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de Doutorado da segunda autora (88887.827976/2023-00), à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pelo fomento à pesquisa e apoio financeiro por meio da concessão de bolsa de iniciação científica do quarto ao sexto autor e de bolsa de Doutorado da terceira autora (IBPG 1657-3.01/21), 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

- DUTRA, J. B. M.; SILVA, T. F. G. (2020). “Avaliação do desempenho de telhados verdes e reservatórios de lote no amortecimento de vazões de pico em uma bacia urbana”. *Revista DAE*, n. 227. Disponível em: <https://www.revistadae.com.br/site/artigo/1923-Avaliacao-do-desempenho-de-telhados-verdes-e-reservatorios-de-lote-no-amortecimento-de-vazoes-de-pico-em-uma-bacia-urbana>.
- FARIAS, M.O.; CANDEIAS, A.L.B.; OLIVEIRA, L.M.M.; ALMEIDA, D.N.O.; JUNIOR, J.R.T. (2017) “Variabilidade espaço-temporal da cobertura do solo por índices de vegetação e água no Agreste Pernambucano”. *Revista Brasileira de Agrotecnologia*. Recife, v. 7, n. 3, p. 091 – 099.
- GIACOMELLO, Elena; GASPARI, Jacopo. (2021) “Hydrologic Performance of an Extensive Green Roof under Intense Rain Events: Results from a Rain-Chamber Simulation”. *Sustainability*, v. 13, n. 6, p. 3078.
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia (2022). Banco de dados horários da estação meteorológica Recife (A301). Disponível em: <https://mapas.inmet.gov.br>. Acessado em: abril/2025.
- LEONARDO, H. R. A. L. (2021). “Desempenho de telhados ecológicos em área urbana”. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco.
- LIU, W.; FENG, Q.; ENGEL, B.A.; ZHANG, X. (2023) “Cost-effectiveness analysis of extensive green roofs for urban stormwater control in response to future climate change scenarios”. *Science of the Total Environment*; ISSN: 00489697; DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.159127; Volume 85615.
- LIU, Y., BRALTS, V. F., ENGEL, A. A. (2015). “Evaluating the effectiveness of management practices on hydrology and water quality at watershed scale with a rainfall-runoff model”. *Science of the Total Environment* 511, 298–308.
- NEUPANE, B.; VU, T.M.; MISHRA, A.K. (2021). “Evaluation of land-use, climate change, and low-impact development practices on urban flooding”. *Hydrological Sciences Journal*; 66:12, 1729-1742.
- SILVA JUNIOR, M.; CABRAL, J.; NETO, G.; SILVA, P.; GUERRA, C.; SILVA, S. (2020). “Desafios para a adaptação da infraestrutura de drenagem urbana em cenário de mudança do clima no Recife-PE.” *Journal of Environmental Analysis and Progress*, v. 5, p. 302-318, 2020. DOI: 10.24221/jeap.5.3.
- SILVA JUNIOR, M.A.B.; SILVA, S.R. (2016). “Impactos da urbanização e das alterações climáticas no sistema de drenagem do Recife/PE”. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 09, n. 06.
- SILVA, C. M.; GOMES, M. G.; SILVA, M.. (2016). “Green roofs energy performance in Mediterranean climate. *Energy and Buildings*”, v. 116, p. 318–325. DOI:10.1016/j.enbuild.2016.01.012
- TESTA, S.; SOUDANI, K.; BOSCHETTI, L.; MONDINO, B. E. (2018). “MODIS-derived EVI, NDVI and WDRVI time series to estimate phenological metrics in French deciduous forests.” *International Journal Of Applied Earth Observation And Geoinformation*, [s.l.], v. 64, n.1 p.132-144. DOI.10.1016/j.jag.2017.08.006.
- URBONAS, B. (1994). “Assessment of storm water BMPs and their technology”. *Water Sci. Technol.*, 29 (1–2), 347–353.
- ZHA, Y.; GAO, J.; NI, S. (2003). “Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery”. *International Journal of Remote Sensing*, v. 24, n. 3, p. 583–594. DOI: 10.1080/01431160304987. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01431160304987>. Acesso em: 13 mar. 2025.
- ZHANG, J.; LI, S.; DONG, R.; JIANG, C.; NI, M. (2019). “Influences of land use metrics at multi-spatial scales on seasonal water quality: A case study of river systems in the Three Gorges Reservoir Area, China”. *Journal of Cleaner Production*, [s.l.], v.206, n.1, p.76–85, Jan 2019. DOI. 10.1016/j.jclepro.2018.09.179.