LUMEN ET VIRTUS
ISSN: 2177-2789

AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DE COBERTURAS: UM COMPARATIVO ENTRE TELHADOS VERDES E CONVENCIONAIS

https://doi.org/10.56238/levv16n45-047

Data de submissão: 24/01/2025 **Data de publicação:** 24/02/2025

Jessica Almeida Monteiro Arruda
Doutoranda em Ciências Ambientais
Universidade do Estado da Bahia - UNEB
E-mail: jessicaarruda@uneb.br
ORCID: https://orcid.org/0009-0003-1891-5866
LATTES: https://lattes.cnpq.br/5955754617785848

Marley Oliveira de Souza
Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental
Universidade do Estado da Bahia - UNEB
E-mail: marleyoliveiradesouza@gmail.com
ORCID: https://orcid.org/0009-0009-3886-5281
LATTES: http://lattes.cnpq.br/0542042120165925

Libio Silva Barbosa Filho
Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental
Universidade do Estado da Bahia - UNEB
E-mail: libiofilho@hotmail.com
ORCID: https://orcid.org/0009-0000-4569-3224
LATTES: http://lattes.cnpq.br/2754204194221915

Ingrid de Jesus dos Santos
Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental
Universidade do Estado da Bahia - Uneb
E-mail: ingrid.uneb@hotmail.com
ORCID: https://orcid.org/0009-0007-1479-0188
LATTES: http://lattes.cnpq.br/5037976526109307

Gustavo Henrique Nogueira Rocha
Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental
Universidade do Estado da Bahia – UNEB
E-mail: gustavo.enrique2@hotmail.com
ORCID: https://orcid.org/0009-0000-8550-6446
LATTES: http://lattes.cnpq.br/4981787320342921

Erica Almeida dos Santos
Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental
Universidade do Estado da Bahia - UNEB
E-mail: e_almeida.s@hotmail.com
ORCID: https://orcid.org/0009-0009-1866-583X
LATTES: https: //lattes.cnpq.br/7056045733303002

Mirlane de Jesus Xavier
Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental
Universidade do Estado da Bahia - UNEB
E-mail: mirlanejxavier@gmail.com
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1708-9369
LATTES: https://lattes.cnpq.br/9397409130205020

Naiane Araujo da Silva
Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental
Universidade do Estado da Bahia - UNEB
E-mail: naianenay68@gmail.com
ORCID: https://orcid.org/0009-0004-3821-7835
LATTES: https://lattes.cnpq.br/0635448139324510

RESUMO
O adensamento urbano e a consequente redução das áreas verdes intensificam variáveis ambientais, especialmente no que se refere às condições térmicas e à qualidade do ar. Diante desse cenário, soluções sustentáveis, como a implementação de telhados verdes, apresentam-se como alternativas viáveis para mitigar esses impactos. Neste contexto, o presente experimento analisou estatisticamente a eficácia dos telhados verdes, considerando dois tipos de cobertura – telha cerâmica e telha de fibrocimento – em comparação aos telhados convencionais. A pesquisa possui caráter aplicado e abordagem experimental, combinando métodos qualitativos e quantitativos de natureza descritiva e explicativa, com o objetivo de avaliar o desempenho térmico dos telhados verdes a partir da análise de dados empíricos e revisão bibliográfica. Os resultados demonstraram que os telhados verdes apresentaram um desempenho superior em todas as variáveis analisadas, exceto no que se refere à taxa de evaporação da água nos modelos com telha cerâmica, os quais registraram uma maior perda hídrica, possivelmente em decorrência das propriedades térmicas e higroscópicas do material. Dessa forma, este estudo contribui para reforçar o potencial das tecnologias de telhados verdes como soluções sustentáveis para a mitigação de impactos ambientais, notadamente no que concerne à redução do desconforto térmico e aos efeitos adversos da urbanização acelerada. Além disso, os achados destacam a relevância da incorporação de medidas mitigadoras, como os telhados verdes, na adaptação das cidades às mudanças climáticas globais.

Palavras-chave: Telhado Verde. Comportamento Térmico. Desempenho Térmico. Sustentabilidade Urbana.

1 INTRODUÇÃO

Devido ao crescente do adensamento urbano e redução direta das áreas verdes, a piora das variáveis ambientais se torna cada vez mais presente, principalmente nas condições térmicas e de qualidade do ar (Manso *et al*, 2021). A ocupação do solo e a alteração na topografia não afetam apenas a paisagem, mas também os ecossistemas terrestres e aquáticos, modificando o clima nas cidades (Mendonça, 2019). A substituição de cada vez mais áreas verdes por superfícies, como concreto e asfalto, impermeabiliza o solo e aumenta as chances de enchentes, enquanto amplia o chamado efeito de ilha de calor urbano. Este contexto promove uma maior demanda por refrigeração e consequente consumo de energia elétrica para manter um conforto térmico dentro e fora das residências (Kader *et al.*, 2022).

Diante desses desafios, existem alternativas construtivas ambientalmente mais saudáveis, que podem contribuir para a melhora de variáveis danosas à saúde ecológica e, consequentemente, ambiental. Uma delas é englobada pelas técnicas de Desenvolvimento de Baixo Impacto (*Low Impact Development - LID*), caracterizadas por alternativas eficazes para mitigar os efeitos da urbanização na medida em que se utiliza de materiais ótimos à redução do impacto ambiental (Liu *et al.*, 2021). Além disso, Dietz (2007) também concorda que as técnicas de drenagem urbana sustentável, integrada no LID, buscam preservar paisagens naturais e reduzir áreas impermeáveis. Exemplos destas técnicas incluem a biorretenção de água, jardins de chuva, o uso de pavimentos permeáveis e a instalação de telhados verdes.

O telhado verde, também conhecido como cobertura verde ou jardim suspenso, pode ou não ser instalado diretamente sobre a cobertura e é uma possível solução sustentável para amenizar as circunstâncias supracitadas nas áreas urbanas brasileiras, compreendendo os benefícios do aumento da área verde relacionados à melhora da qualidade do ar, ao absorver dióxido de carbono e material particulado (Kwon *et al.*,2020). Contudo, embora tenha grandes benefícios, os custos de instalação tendem a ser maiores em relação aos telhados convencionais, devido a necessidade de mão de obra qualificada para evitar má instalação, prevenindo maiores riscos de infiltração e incêndios, além da constante necessidade de cuidado e manutenção (Sanches *et al*., 2019).

Portanto, para contribuir com a construção teórica na prática, este estudo teve como objetivo geral construir um experimento para avaliar a eficácia da instalação do telhado verde em fibrocimento e telhas cerâmicas coloniais em comparação com telhados sem essa estrutura, no contexto climático local. Deste modo, foram utilizadas as seguintes variáveis: temperatura externa do telhado e a temperatura interna da água no protótipo, a fim de mensurar estatisticamente os resultados.

Para isto, foram criados protótipos de uma residência de alvenaria, com telhados convencionais e verdes do tipo extensivo, com a base de cerâmica colonial e fibrocimento respectivamente, dentro de um local ordenado e com insolação homogênea. Todos os exemplares tiveram seu comportamento

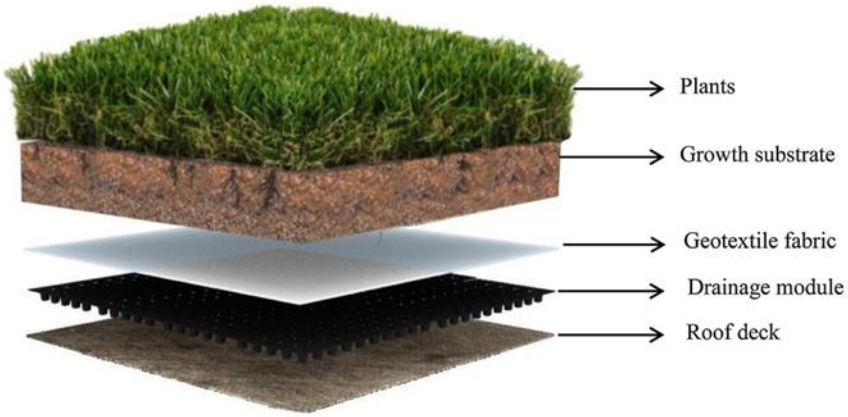
térmico examinado ao monitorar e registrar as variações das temperaturas do telhado, da água e o seu nível durante um período de 5 dias. Finalmente, com a compilação dos dados obtidos, houve análise dos resultados e foram discutidas as implicações e conclusões sobre o desempenho térmico e a eficácia dos diferentes tipos de telhados construídos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 ESTRUTURA E CLASSIFICAÇÃO PELO TIPO DE VEGETAÇÃO DO TELHADO VERDE

Segundo Vijayaraghavan e Joshi (2015), a construção de um telhado verde requer uma estrutura mínima de cinco camadas, como representado na Figura 1, contendo somente a vegetação, devendo ser adequada às condições climáticas locais, com substrato apropriado ao tipo de vegetação escolhida, camada têxtil para impedir a migração de partículas do substrato para a camada drenante e camada drenante, tudo isto em cima do telhado impermeabilizado. O modelo representado na Figura 1 foi utilizado para este experimento.

Figura 1 - Estrutura simplificada do telhado verde



Fonte: Vijayaraghavan; Joshi, 2015.

De acordo com Cascone (2019), estes telhados podem ser divididos em intensivos, extensivos e semi-intensivos, com base no objetivo e nos custos associados a quantidade de materiais, necessidade de cuidado e intensidade de manutenção requerida. Com relação a estrutura, há certa divergência entre autores.

Porém, de modo geral, o consenso gira em torno de o telhado intensivo ser caracterizado pelo substrato com espessura maior que 15cm, ter suporte a vegetação de maior porte, como pequenas árvores e arbustos, maior peso, manutenção e custo, porém, maiores benefícios ambientais; o extensivo ter a espessura do substrato abaixo de 15cm, suportar somente vegetação de pequeno porte, como gramíneas e suculentas, ter menor peso, manutenção e custo, porém, também menores benefícios; e o semi-intensivo ser um híbrido entre os dois (Cascone, 2019; Manso *et al*., 2021; Kader *et al*., 2022).

2.2 COMPORTAMENTO TÉRMICO DO TELHADO

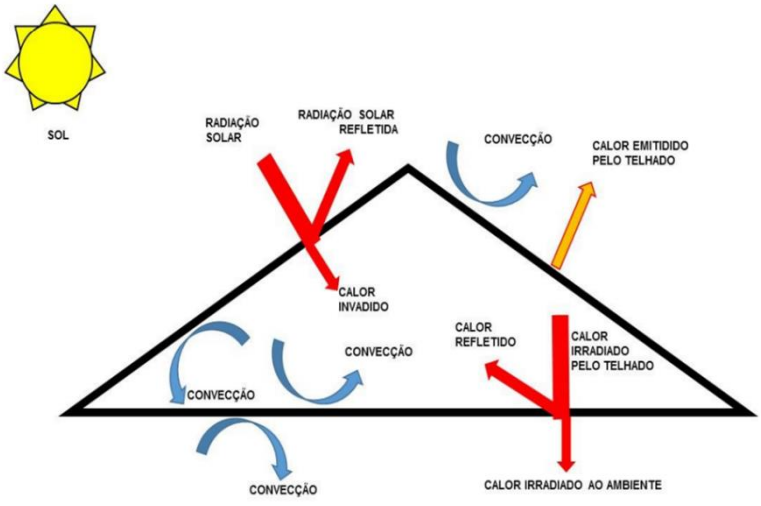
De acordo com a *United States Environmental Protection Agency* (2024), áreas urbanizadas que apresentam temperaturas mais altas do que áreas periféricas, chegando a uma diferença de até 7ºC de dia e 5°C à noite, são denominadas Ilhas de Calor. Contudo, os ambientes com grande densidade de materiais contendo alta condutividade térmica e baixa capacidade de dispersão, atrelado a baixa evapotranspiração, tendem a ser os principais pontos onde isso ocorre, decorrente da substituição da cobertura vegetal, principalmente.

Esta substituição por solo exposto ou edificações, mesmo em pequenos fragmentos de floresta urbana, mas especialmente de grande porte e com conexões com outras matas, altera os balanços de radiação, térmicos, de retenção de umidade, velocidade dos ventos, níveis de poluição do solo e do ar, regime pluviométrico e processos evaporativos, alterando o microclima local (Wanderley; Miguel, 2019)

Adicionalmente, o telhado convencional, como esquematizado na Figura 2, mantém uma complexa troca de calor entre o ambiente externo e interno, retendo uma parte dele perpassar e permanecer no seu espaço interno. Pela inexistência de um sistema de bloqueio e dispersão da irradiação solar, proporciona condições em que podem causar desconforto térmico, uma vez que os materiais habituais utilizados tendem a absorvem calor com facilidade, aquece rapidamente durante o período diurno e ter uma queda brusca de temperatura durante à noite.

Em contraste, o telhado verde, como fragmento de área verde, ao absorver a radiação solar com a vegetação, minimiza as flutuações de temperatura e prolonga sua durabilidade por até o dobro de um telhado tradicional (Teemusk; Mander, 2009). Além disso, os telhados verdes ajudam a reduzir os efeitos das ilhas de calor urbanas através da evapotranspiração (Jusić,Hadžić;Milišić, 2019) e trazem benefícios de amenização de variáveis diversas, com intensidade variante com o porte adotado e a concentração local de exemplares.

Figura 2 - Exemplificação dos fluxos de energia presentes em um telhado



Fonte: Santos *et al*., 2020.

2.3 DEPURAÇÃO ATMOSFÉRICA

Outra variável que o telhado verde pode ajudar a amenizar é a poluição do ar, devido à capacidade das plantas de filtrar o ar com base na densidade foliar, principalmente o gás carbônico, que qualquer espécie arbórea utilizada contribuirá para a sua redução de concentração.

Johnston e Newton (2004) escreveram sobre a possibilidade de a técnica reduzir a poluição em até 85% em ambientes de parques. Além disso, o sombreamento proporcionado pelo telhado verde diminui a reação fotoquímica, ajudando a reduzir a formação de poluentes. Pendiuk, Moisés e Pereira (2017) também apontam que 1.0 m² de grama, sem cortes, pode fornecer oxigênio suficiente para um ser humano por mais de um ano, além de argumentar sobre a capacidade de 2000 m² de grama não cortada poderem remover 4000 kg de agentes particulados.

2.4 RETENÇÃO E APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS

O ciclo hidrológico, assim como as outras variáveis citadas, tem sido afetado negativamente com o grande aumento populacional e consequente processo de urbanização, uma vez que os solos estão sendo cada mais impermeabilizados e o volume de água da chuva nas cidades acaba sendo direcionado, quase em seu total, para os sistemas de drenagem. Isso resulta em alagamentos mais frequentes, desestabilização dos barrancos dos córregos, destruição contínua dos habitats aquáticos e degradação da qualidade da água nos oceanos (Keeler; Burke, 2010).

A arquitetura verde surge como uma solução sustentável que contribui para a redução do escoamento superficial e o gerenciamento da água da chuva. Dentre as tecnologias utilizadas, estruturas vegetadas como o telhado verde amortecem, captam e aproveitam da água da chuva, diminuindo o impacto no sistema de drenagem urbano, retendo até 90% da água no sistema, dependendo da estrutura do telhado e porte da vegetação (Sa *et al.*, 2022; Azis e Zulkifli, 2021).

Sendo para usos não potáveis, ainda pode como descarga sanitária, lavagem de carros e rega de jardins, ao serem utilizados como sistema de reuso de água da chuva. Estes sistemas ainda aproveitam de processos naturais, como a fitorremediação para tratamento desta água, sequestrando contaminantes que são normalmente redirecionados à drenagem pelo telhado convencional, como metais pesados, nitrogênio e fósforo (Sa *et al*., 2022; Xu *et al*.,2020).

3 METODOLOGIA

Esta pesquisa de natureza aplicada, contendo características de abordagem mista do tipo delineamento sequencial explanatório, de caráter experimental, buscou descrever e explicar o desempenho de telhados verdes extensivos nos protótipos construídos, em comparação aos seus pares sem a estrutura verde, a partir dos resultados encontrados e de pesquisa bibliográfica. Para isto, na primeira etapa, foi feita a pesquisa para entendimento da tecnologia e construção de hipóteses,

realizada com base em referências bibliográficas e documentos disponíveis em plataformas como SciELO, ScienceDirect, Google Acadêmico e sites governamentais. Em seguida, os protótipos foram montados e os dados primários foram obtidos, por meio de medições realizadas entre 01 de outubro de 2024 e 05 de outubro de 2024, utilizando o termômetro e régua escolar em copo medidor, para a elaboração deste trabalho.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O trabalho foi desenvolvido no munícipio de Alagoinhas, estado da Bahia, localizado na latitude 12° 07' 13" Sul e longitude 38° 24' 35" Oeste. O experimento foi implementado na Universidade do Estado da Bahia (UNEB), Campus II, mediante a construção de quatro protótipos (Imagem 1), identificados como Telhado Cerâmico Verde (TCV), Telhado de Fibrocimento Verde (TFV), Telhado Cerâmico (TC) e Telhado de Fibrocimento (TF).

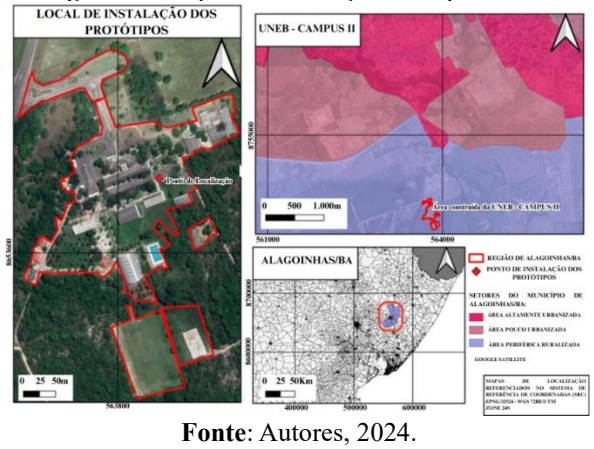
Imagem 1 - Experimentos instalados no Campus II



Fonte: Autores, 2024.

O local fica entre a parte com vegetação rasteira e o prédio próximo da área construída do Campus, disposta na Figura 3, com direção 97º Leste, buscando exposição solar contínua e homogênea. O experimento foi conduzido durante os primeiros cinco dias do mês de outubro do ano de 2024.

Figura 3 - Mapa de localização do experimento



Fonte: Autores, 2024.

A área ocupada pelos protótipos, após fechamento e montagem, foi exatamente a mesma, medindo 0.1089 m², enquanto a distância entre as unidades fixou-se em 1.11m, ao utilizar um tubo de Policloreto de Vinila (PVC) para auxiliar no balizamento manual dos protótipos.

3.2 ESPECIFICAÇÃO DOS MATERIAIS

Os materiais utilizados para construção da base dos exemplares foram 16 blocos cerâmicos (medidas de 9cm x 19cm x 24cm), argamassa com traço 1:2:0.5, 4 telhas cerâmicas, 2 telhas de fibrocimento recortadas, medindo 0.1804 m² por unidade, e 2 moldes de madeira, medindo 0.1156m² por unidade. Para o telhado verde, foram adicionadas as lonas plásticas de PVC, medindo 0.16m² por unidade (substituindo a manta bidim), feltro, medindo 0.1936m² por unidade (substitui o geotêxtil), brita 1 (para drenagem), terra vegetal e placas de grama, medindo 0.24m² por unidade.

Foram utilizados copos medidores da marca Rischioto, para uma delimitação visual precisa do volume de 200mL de água, uma régua de cristal da marca VMP, para medir a quantidade diminuída da água, e um termômetro infravermelho Multilaser, modelo HC260.

3.3 CONSTRUÇÃO DOS PROTÓTIPOS

A primeira etapa na construção dos protótipos consistiu em separar os blocos cerâmicos para formar quatro estruturas uniformes. Cada conjunto de blocos foi disposto no chão em formato retangular, nivelados e assentados manualmente com auxílio do nível de bolha e prumo e, em seguida, aplicou-se argamassa nas laterais para garantir a estabilidade e solidez das estruturas. Após essa etapa foram instalados os telhados, sendo que em dois dos protótipos adotou-se telhas cerâmicas sobre a estrutura dos blocos enquanto nos outros dois foram instaladas telhas de fibrocimento, ajustadas para cobrir perfeitamente as bases.

Antes de iniciar o monitoramento dos telhados verdes, foi adicionado, com auxílio de proveta, a quantidade de água de um copo descartável de 200mL, em cada um dos copos medidores que ficaram dentro dos protótipos. Essa medida tem como finalidade monitorar e avaliar como se comporta a temperatura da água e o decréscimo de quantidade de água no ambiente interno dos protótipos até o final do experimento.

A instalação dos telhados verdes com estrutura simplificada (Imagem 2), semelhante ao esquematizado por Vijayaraghavan e Joshi, (2015) começa com a colocação dos recipientes com borda, que foram confeccionados a partir de moldes de madeira, medindo 34cm x 34cm, para os dois protótipos com telhas de fibrocimento. Em seguida, foi aplicada uma camada de impermeabilização, utilizando uma lona plástica de 40cm x 40cm, ajustada de acordo com a modelagem inicial. Depois disso, adicionou-se uma camada de drenagem composta por agregado graúdo (brita 1) sobre a lona. Na sequência, foi colocada uma camada de feltro (aproveitada de tecido velho) medindo 43cm x 44cm.

Por fim, aplicou-se terra vegetal, e a etapa final consistiu no plantio da grama. Vale salientar que, as telhas dos telhados de fibrocimento foram cortadas com medida 41cm x 44cm, enquanto a cerâmica colonial foi utilizada sem alterações, mantendo as dimensões de 50cm x 15.5cm.

Imagem 2 - Esquema indicando cada camada do telhado verde simplificado



Fonte: Autores, 2024.

3.4 PREPARAÇÃO, PADRONIZAÇÃO DO EXPERIMENTO E ANÁLISE DE DADOS

Os tipos de telhados foram organizados em duas duplas, sendo uma composta por telhados cerâmicos e de fibrocimento como controle, e a outra por telhados verdes, permitindo uma comparação posterior.

A estratégia de obtenção dos dados foi padronizada para minimizar a interferência de variáveis externas, como variações nas medições manuais e diferenças entre os instrumentos de medição. Assim, os copos, a régua e o termômetro utilizados foram sempre os mesmos e a ordem das medições seguiram uma sequência específica, iniciando no telhado com telha cerâmica colonial e seguindo para o telhado de fibrocimento, telhado verde cerâmico e telhado verde de fibrocimento, respectivamente. Além disso, as medições foram realizadas em horários determinados, e o local e a disposição dos protótipos foram organizados para garantir uma insolação homogênea.

As diretrizes para as medições seguiram um padrão determinado para diminuir o erro associado a medição manual, intensificado quando realizada por pessoas diferentes. Os períodos de medição foram definidos para ocorrer aproximadamente às 08, 13 e 17 horas, com o registro preciso dos horários de início e término de cada mensuração.

Assim, ao aferir a altura da água no copo, foi considerado o menisco gerado no recipiente, utilizando a primeira linha da superfície da água para a aferição visual. Para as medições da altura no copo medidor, foi estipulado que todas fossem feitas no mesmo local, niveladas em nível 0, conforme indicado pela função “nível” do iPhone, uma por vez. Além disso, o experimento registrou a temperatura do ar e as condições climáticas durante as medições, garantindo que a temperatura dos

protótipos fosse aferida sempre sob as mesmas circunstâncias, seja em dias de chuva, sob insolação ou em céu nublado.

Adicionalmente, no processo de medição, foi realizada uma espera de um minuto após ligar o termômetro para início da medição. A temperatura considerada foi aquela em que o termômetro estabilizou, mesmo após outras tentativas no mesmo posicionamento e ponto de mira. O termômetro foi mantido a uma distância de 2 a 5 cm da superfície, utilizando a opção "superfície" do aparelho. Todas as aferições da água nos copos foram realizadas dentro do protótipo.

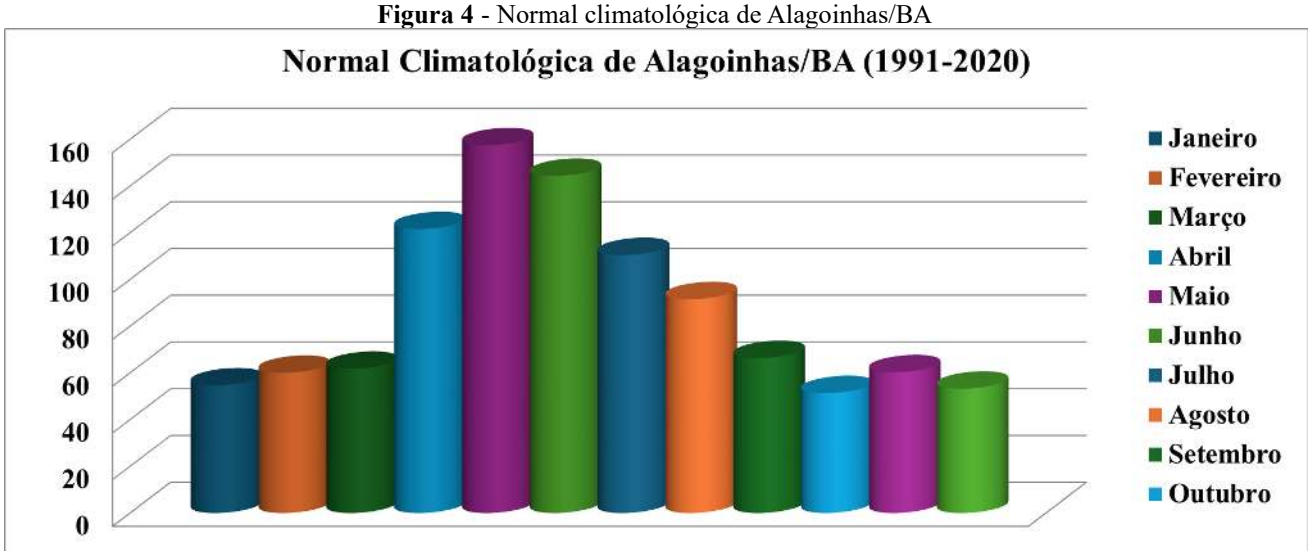
Durante a preparação inicial do experimento, a grama dos telhados verdes foi irrigada com 200 mL de água cada, às 16 horas do dia anterior. Após as medições, a mesma quantidade foi aplicada em cada telhado verde, exceto às 08 horas do primeiro dia de medição, para evitar o excesso de umidade. Para a análise dos resultados, utilizou-se o software de planilha eletrônica *Excel* como ferramenta de apoio, permitindo o desenvolvimento de gráficos e facilitando a interpretação dos dados relacionados às temperaturas e à quantificação das águas pluviais excedentes.

3.5 CONDIÇÕES AVALIADAS DURANTE O PERÍODO DO EXPERIMENTO

3.5.1 Condições do tempo

Todas as medições foram realizadas no mês de outubro, um período caracterizado por déficit hídrico (Figura 4) e a quinta mais baixa umidade relativa do ano, em comparação com a normal climatológica de 1991 a 2020, que foi de, aproximadamente, 77,5% (INMET: Tempo, 2024b).

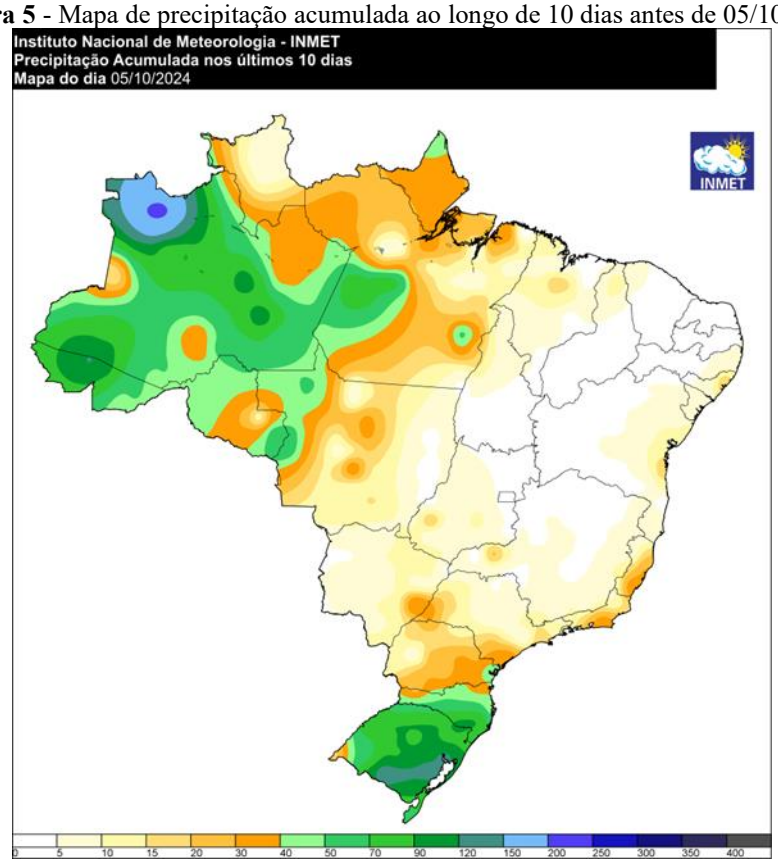
Figura 4 - Normal climatológica de Alagoinhas/BA



Fonte: Adaptado de INMET: Tempo, 2024a.

Além disso, estimou-se uma precipitação de cerca de 10 mm nos cinco dias anteriores e durante o experimento, como indica a Figura 5 (INMET: Tempo, 2024a).

Figura 5 - Mapa de precipitação acumulada ao longo de 10 dias antes de 05/10/2024



Fonte: INMET: Tempo, 2024b.

Considerando o clima normativo e as condições mencionadas anteriormente como referência para inferir conclusões sobre os dados, foram levadas em conta as condições do tempo (Quadro 1) e a temperatura do ar em Alagoinhas/BA, registradas no momento da medição pelo aplicativo nativo de clima da Apple.

Quadro 1 - Condições do tempo nos dias das coletas de dados

Condições do tempo			
01/10/2024			
Horário	08	13	17
Clima	Nublado	Ensolarado	Céu limpo
02/10/2024			
Horário	08	13	17
Clima	Ensolarado	Ensolarado	Sombreado
03/10/2024			
Horário	08	13	17
Clima	Ensolarado	Ensolarado	Céu limpo
04/10/2024			
Horário	08	13	17
Clima	Ensolarado	Ensolarado	Sombreado
05/10/2024			
Horário	08	13	17
Clima	Ensolarado com nuvens	Ensolarado	Céu limpo

Fonte: Autores, 2024.

3.5.2 Propriedade e comportamento dos telhados

As propriedades térmicas descritas na Tabela 1, especialmente, condutividade térmica e calor específico, indicam um melhor desempenho térmico da telha de cerâmica, em relação ao fibrocimento.

Tabela 1 - Propriedades térmicas das telhas utilizadas

Material	Densidade de massa aparente (ρ) em [Kg/m³]	Condutividade térmica (λ) em [W/(m.K)]	Calor específico (c) em [J/(Kg.K)]
Cerâmica	2000	1,05	0,92
Fibrocimento	1900	0,95	0,84

Fonte: Adaptado de ABNT, 2005.

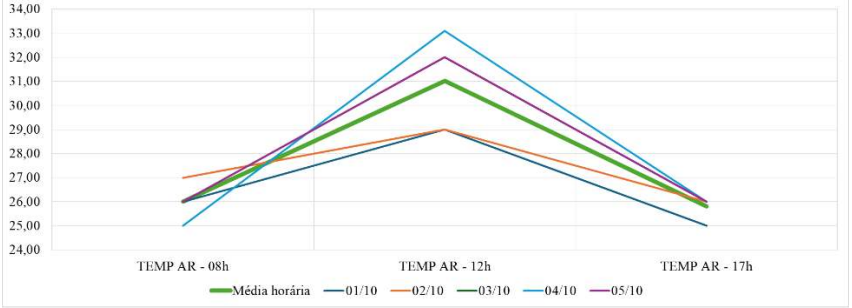
Complementarmente, como Michels;Lamberts;Güths (2008) e Castellano *et al*. (2023) indicaram, de modo geral, as telhas cerâmicas têm porosidade e consequente possibilidade de infiltração de fluidos pelos espaços das telhas. Essa característica dá a capacidade de surgir uma película de água protetora contra a irradiação, por conta da absorção de água em sua superfície. Este último efeito acontece com o material retirando ao haver retirada de umidade do ambiente, ou seja, desumidificando o ambiente (Castellano *et al*., 2023). Deste modo, a água aderida à telha a protegerá do aumento de temperatura até ser volatilizada. Estas constantes adsorções e dessorções do vapor de água acontecem em maior escala, na medida da presença de mesosporos em telhas cerâmicas, adicionais à maior área (Castellano *et al.,* 2023).

Ademais, ainda relativo à tabela 2, espera-se que o fibrocimento esquente com certa rapidez e permaneça mais quente até a capacidade do telhado cerâmico o superar, conforme for chegando o meio do dia.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos dados disponíveis no aplicativo *Weather*, ficou evidente, como mostrado na figura 6, a amplitude média de mais de 5 ºC na temperatura do ar nos horários das medições, entre os picos e as depressões em Alagoinhas/BA, porém, chegou aos 08ºC de amplitude entre as 08 e 13 horas do dia 04 de outubro. Neste mesmo horário das 13 horas, como esperado, houve os maiores valores de temperatura do telhado, temperatura da água e diminuição do nível da água.

Figura 6 - Gráfico da variação de temperatura do ar, em ºC, nos horários de mensuração

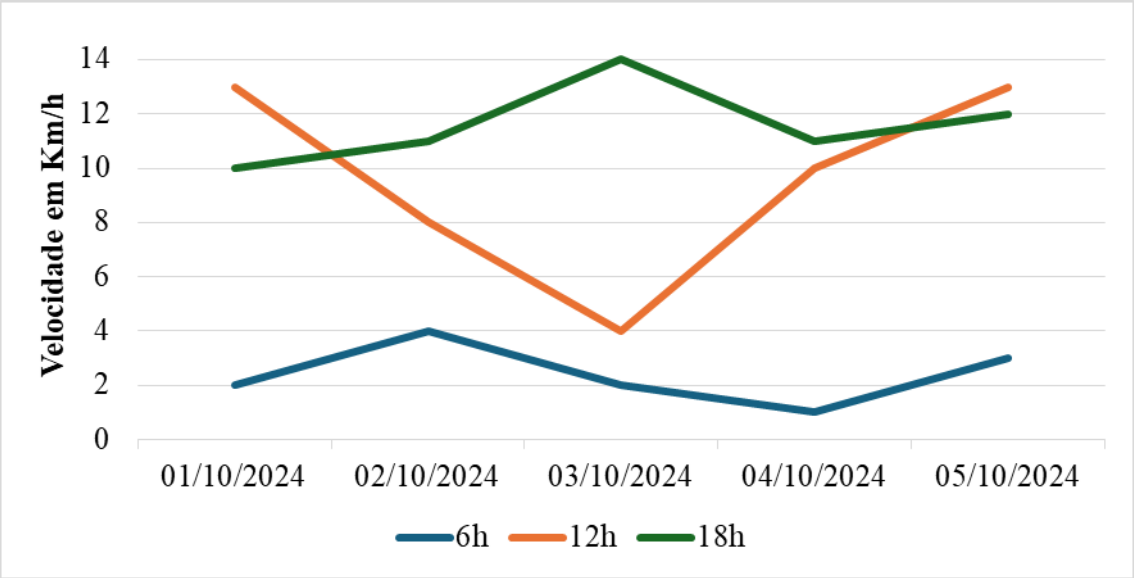


Fonte: Autores, 2024.

No entanto, apesar do dia 05 ter os maiores valores de temperatura da água em todos os horários (Figuras 8, 9 e 10) e o segundo maior valor da temperatura do ar, houve bastante proximidade de valores entre os picos dos outros protótipos nos outros dias. Ainda assim, não houve o mesmo comportamento de máximos nos mesmos dias para a temperatura da telhado, alternando entre os dias de máxima medida entre eles, havendo uma possível maior relação com o horário de maior incidência solar somente.

Um outro complemento para análise dos resultados foi a obtenção de dados aproximados da velocidade do vento em Alagoinhas/BA nos horários aproximados disponíveis aos das medições, utilizando a plataforma de serviço de visualização de informações meteorológicas Ventusky (2024). Ela utiliza dados disponíveis de organizações internacionais para gerar o mapa interativo.

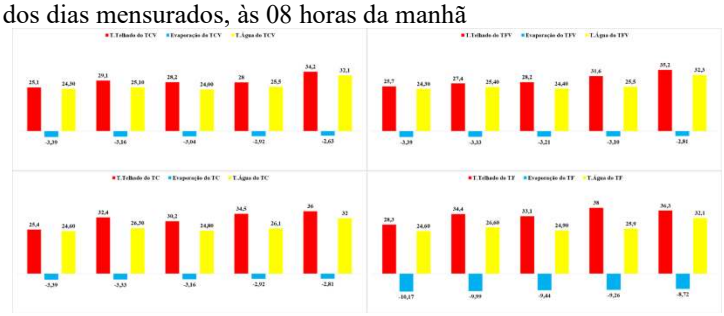
Figura 7 - Velocidade do vento durante as estimações do experimento



Fonte: Adaptado de Ventusky, 2025.

Ao observar o gráfico da Figura 7 e comparar à temperatura do ar e o comportamento dos protótipos, também não é possível inferir correlação aparente com nenhuma das variações dos dados coletados dos telhados e da água, já que não há correlação direta ou inversamente proporcional aparente entre as variáveis.

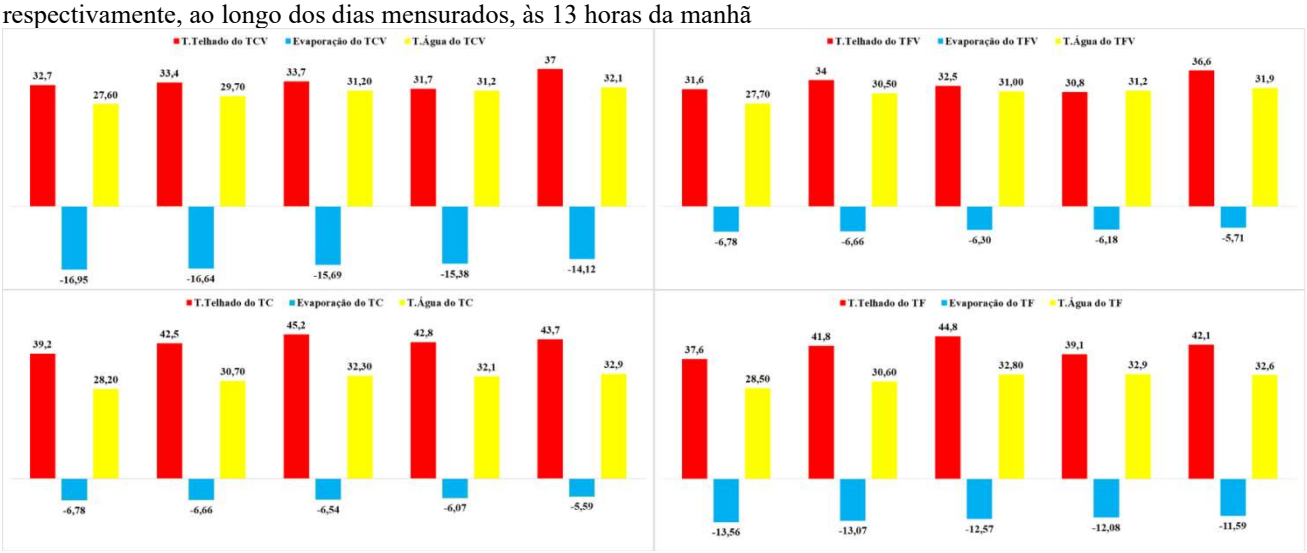
Figura 8 - Variação das temperaturas dos telhados, decréscimo do nível da água e temperatura da água em cada protótipo, respectivamente, ao longo dos dias mensurados, às 08 horas da manhã



Fonte: Autores, 2024.

No exame dos dados observados nos protótipos ao longo dos dias, ou seja, em ordem dos dias de um a cinco (01 a 05 de outubro e 2024), no intervalo das 08 horas da manhã (Figura 8), é possível notar a grande diferença da diminuição do nível da água entre o protótipo com fibrocimento e os outros, apesar da pequena diferença entre as outras variáveis. Ainda que haja a consideração da distinção do dia 04 de outubro, onde foi perceptivelmente maior aumento da temperatura do telhado, e evaporação não cresceu de modo equivalente.

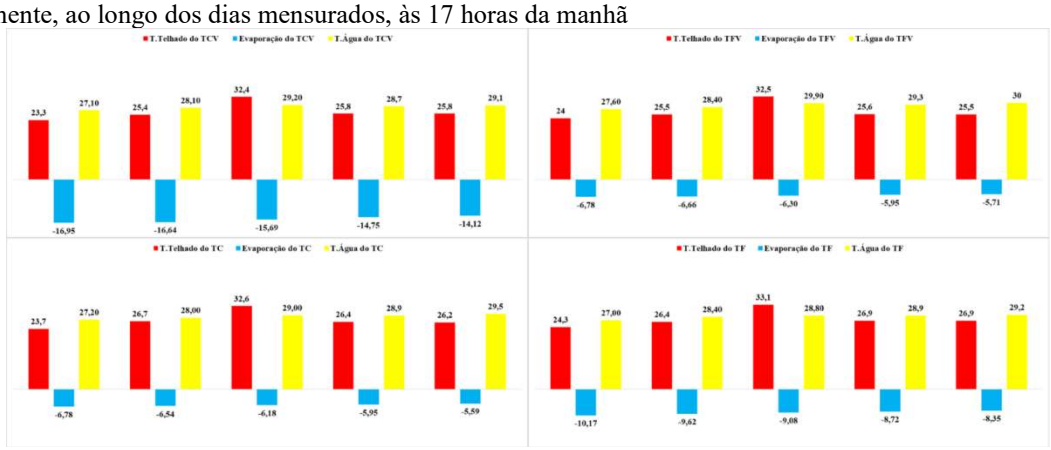
Figura 9 - Variação das temperaturas dos telhados, decréscimo do nível da água e temperatura da água em cada protótipo, respectivamente, ao longo dos dias mensurados, às 13 horas da manhã



Fonte: Autores, 2024.

No horário das 13 horas da tarde (Figura 9) houve um comportamento divergente das 08. O telhado de cerâmica verde se destacou em decréscimo do nível da água, mesmo que o restante das variáveis estivesse com valores relativamente baixas, tendo todos os outros valores semelhantes ao TFV, menores que o TF no horário e em quase todos os valores, com a única exceção da temperatura da água no TC do dia 04, quando comparado ao TC. Este último manteve seu padrão mais diretamente proporcional de esvaziando com o aumento da temperatura.

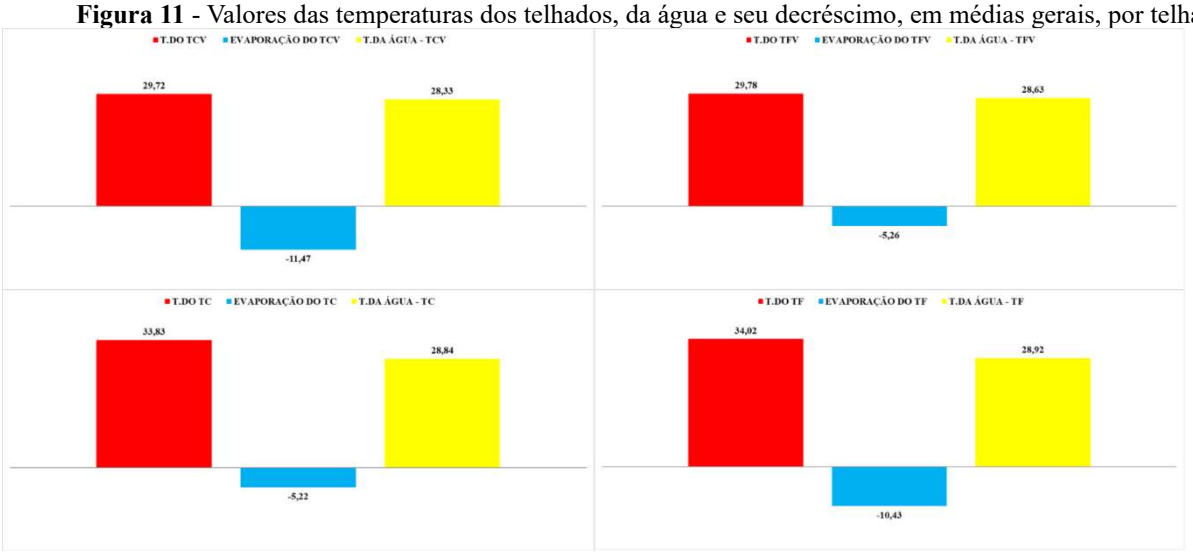
Figura 10 - Variação das temperaturas dos telhados, decréscimo do nível da água e temperatura da água em cada protótipo, respectivamente, ao longo dos dias mensurados, às 17 horas da manhã



Fonte: Autores, 2024.

Quando chegamos no horário das 17 horas (Figura 10), é possível verificar um comportamento do TCV também de grande esvaziamento do copo, mas, apesar da temperatura abaixo ou semelhante aos demais, em todos os dias, diferente do horário das 13 horas, todos os valores, com exceção do decréscimo de água estão bastante próximos.

Figura 11 - Valores das temperaturas dos telhados, da água e seu decréscimo, em médias gerais, por telhado



Fonte: Autores, 2024.

Ao comparar as variáveis medidas organizadas de forma geral, no gráfico presente na Figura 11, em média aritmética simples, não houve diferenças significativas entre elas, com exceção do decréscimo da água, bastante intensa no telhado cerâmico verde e em média intensidade no de fibrocimento. Porém, ao comparar somente as médias gerais das temperaturas dos telhados normais e verdes, existe uma média de ao menos 4 ºC.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo analisar a eficácia dos telhados verdes como alternativa sustentável para mitigação dos impactos térmicos em ambientes urbanos, comparando seu desempenho térmico em relação a telhados convencionais. Os resultados demonstraram que a adoção da cobertura vegetal influencia significativamente as temperaturas registradas na superfície da cobertura e no ambiente interno, reduzindo em média 4,27°C a temperatura dos telhados verdes em relação aos convencionais.

Embora os telhados verdes tenham apresentado melhor desempenho térmico em todas as variáveis analisadas, verificou-se um comportamento atípico no telhado verde com telha cerâmica (TCV), que registrou uma taxa de evaporação superior à dos demais protótipos. Esse fenômeno pode estar associado à capacidade higroscópica do material cerâmico, que absorve e libera umidade conforme as variações térmicas e as condições ambientais, como descrito por Bueno (1993). Esse

efeito, intensificado pela presença do telhado verde, sugere que a telha cerâmica interage de forma mais dinâmica com o microclima interno, favorecendo um fluxo contínuo de umidade.

A análise temporal revelou que a maior evaporação ocorreu no primeiro dia de experimento, podendo estar relacionada a fatores como a estabilização térmica dos protótipos ou a influência da umidade inicial do substrato vegetal. Além disso, observou-se uma tendência de redução da evaporação ao longo dos dias, mesmo sem uma variação significativa na temperatura do ar, o que reforça a hipótese de que a interação entre os materiais constituintes do telhado verde e a dinâmica térmica do ambiente são determinantes para o comportamento observado.

Apesar da robustez metodológica, algumas limitações do estudo devem ser destacadas. Os protótipos utilizados apresentavam estrutura simplificada em relação a edificações reais, o que pode ter influenciado as trocas térmicas e a retenção de umidade. Além disso, variáveis como umidade relativa do ar, velocidade do vento e incidência solar não foram medidas diretamente, o que poderia aprimorar a análise do microclima interno dos telhados verdes.

Dessa forma, este estudo reforça a viabilidade dos telhados verdes como estratégia mitigadora do desconforto térmico urbano, destacando sua relevância para a sustentabilidade ambiental e a adaptação das cidades às mudanças climáticas. Recomenda-se que pesquisas futuras aprofundem a investigação sobre a interação entre diferentes materiais estruturais e as camadas do telhado verde, bem como sua influência em outras variáveis ambientais, como qualidade do ar e eficiência hídrica.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de expressar sincera gratidão à docente orientadora Jessica Almeida Monteiro Arruda, pelo esforço e dedicação que concebeu a idealização de um trabalho em grupo que foi planejado para se transformar em uma construção coletiva do que foi este artigo, estimulando a investigação científica.

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15220-2: Desempenho Térmico de Edificações - parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

AZIS, S.S.A.; ZULKIFLI, N. A. A.. Green roof for sustainable urban flash flood control via cost benefit approach for local authority. Urban Forestry & Urban Greening, v. 57, p. 126876, 2021.

BUENO, A. D.. Transferência de calor e umidade em telhas: simulação e análise experimental. 1994.

CASCONE, S.. Green roof design: State of the art on technology and materials. Sustainability, v. 11, n. 11, p. 3020, 2019.

CASTELLANO, J., SANZ, V., CAÑAS, E., & SÁNCHEZ, E.. Engineering and scaling-up ceramic tiles with humidity self-regulation functionality. boletín de la sociedad española de cerámica y vidrio, v. 62, n. 6, p. 494-503, 2023.

DIETZ, M.E. Práticas de Desenvolvimento de Baixo Impacto: Uma Revisão da Pesquisa Atual e Recomendações para Direções Futuras. Água Ar Solo Pollut 186, 351–363 (2007). https://doi.org/10.1007/s11270-007-9484-z.

EPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Heat Island Effect. 2024. Disponível em: <https://www.epa.gov/heatislands>. Acesso em 12 de outubro de 2024.

Instituto Nacional de Meteorologia - INMET:Tempo . Precipitação Acumulada nos últimos 10 dias. 2024b. Disponível em: <https://tempo.inmet.gov.br/PrecAcumulada>. Acesso em: 15 de Outubro de 2024.

Instituto Nacional de Meteorologia - INMET:Tempo. Gráfico Comparativo Umidade Relativa (%). 2024a. Disponível em: <https://clima.inmet.gov.br/GraficosClimatologicos/BA/83344>. Acesso em: 15 de Outubro de 2024.

JOHNSTON, J.; NEWTON J. Building Green, A guide to using plants on roofs, walls and pavements. Greater London Authority. 125p. 2004.

JUSIĆ, S. HADŽIĆ, E.; MILIŠIĆ, H.. Stormwater management by green roof. ACTA Sci. Agric, v. 3, p. 57-62, 2019.

KADER, S., CHADALAVADA, S., JAUFER, L., SPALEVIC, V., & DUDIC, B.. Green roof substrates—A literature review. Frontiers in Built Environment, v. 8, p. 1019362, 2022.

KEELER, M.; BURKE B.. Fundamentos de projeto de edificações sustentáveis. Porto Alegre: Bookman, 2010.

Kwon, K. J., Urrintuya, O., Kim, S. Y., Yang, J. C., Sung, J. W., & Park, B. J.. Removal potential of particulate matter of 12 woody plant species for landscape planting. Journal of People, Plants, and Environment, v. 23, n. 6, p. 647-654, 2020.

LIU, T., LAWLUVY, Y., SHI, Y., & YAP, P. S.. Low impact development (LID) practices: A review on recent developments, challenges and prospects. Water, Air, & Soil Pollution, v. 232, n. 9, p. 344, 2021.

MANSO, M., TEOTÓNIO, I., SILVA, C. M., & CRUZ, C. O. Green roof and green wall benefits and costs: A review of the quantitative evidence. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 135, p. 110111, 2021.

MENDONÇA, M.. "Impactos Ambientais da Urbanização". Revista Brasileira de Ecologia, vol. 20, n. 3, 2019, pp. 231-245.

MICHELS, C.; LAMBERTS, R.; GÜTHS, S.. Evaluation of heat flux reduction provided by the use of radiant barriers in clay tile roofs. Energy and Buildings, v. 40, n. 4, p. 445-451, 2008.

PENDIUK, F.; MOISÉS, I. C.; PEREIRA, M. P.. Telhado verde: a evolução da tecnologia e suas funcionalidades. 2017.

SA, T. S. W.; NAJJAR, M. K.; HAMMAD, A. W.; VAZQUEZ, E.;HADDAD, A.. Assessing rainwater quality treated via a green roof system. Clean Technologies and Environmental Policy, v. 24, n. 2, p. 645-660, 2022.

Sanches, L. L., Pasqualini, S. I. M., Ferreira, J. P., & de Oliveira, T. R. BENEFÍCIOS DO USO DO TELHADO VERDE EM SISTEMAS CONSTRUTIVOS. *2º CONRESOL*. Foz do Iguacú-PR: IBEAS. Volume 2. Disponível em: https://www.ibeas.org.br/conresol/conresol2019/XV-093.pdf. Acesso em: 05 fev. 2025.

SANTOS, D. C. dos; DIAS, G. H. M.; NASCIMENTO, H. S. S.; ARAUJO FILHO, J. de S.; ZANCANELLA, A. C. B.; MAZIERO, R.; SOUZA, E. C. N.; CASTRO, B. D.. TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM TELHADOS DE DIFERENTES MATERIAIS: CARGA TÉRMICA E CUSTO DO QUILOWATT/HORA PARA CLIMATIZAÇÃO. Revista Espaço Acadêmico, v. 09, 1 jan. 2020.

TEEMUSK, A.; MANDER, U. Greenroof potential to reduce temperature fluctuations of a roof membrane: A case study from Estonia. Building And Environment, v. 44, n. 3, p.643-650, mar. 2009. DOI: 10.1016/j.buildenv.2008.05.011

VENTUSKY. Weather Forecast Maps. 2024. Disponível em: https://www.ventusky.com/?p=-12.098;-38.426;10&l=wind-10m&m=icon. Acesso em 20 de Outubro de 2024.

VIJAYARAGHAVAN, K.; JOSHI, U. M. Application of seaweed as substrate additive in green roofs: Enhancement of water retention and sorption capacity. Landscape and Urban Planning, v. 143, p. 25-32, 2015.

WANDERLEY, H.S.; MIGUEL, V. C.. Mudança dos elementos meteorológicos em função da degradação da floresta urbana. Ciência Florestal, v. 29, n. 2, p. 834-843, 2019.

XU, L.; YANG, S.-l.; ZHANG, Y.-j.; JIN, Z.; HUANG, X.-f.; BEI, K.; ZHAO, M.; KONG, H.-n.; ZHENG, X.-y. A hydroponic green roof system for rainwater collection and greywater treatment. Journal of Cleaner Production, v. 261, p. 121132, 2020.

YANG, J.; YU, Q.; GONG, P. Quantifying Air Pollution Removal by Green Roofs in Chicago. Atmospheric Environment, v. 42, n. 31, p. 7266-7273, oct. 2008.