

INSTITUTO FEDERAL DE ALAGOAS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

JONAS VICTOR SANTOS SILVA
LYVIA GAMA MARTINS

**ESTUDO DA VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA AZUL E
VERDE ECOTELHADO – ESTUDO DE CASO NO BAIRRO DO
PINHEIRO E NO CAMPUS MACEIÓ DO IFAL - AL**

Maceió – AL

2023

INSTITUTO FEDERAL DE ALAGOAS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

JONAS VICTOR SANTOS SILVA
LYVIA GAMA MARTINS

**ESTUDO DA VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA AZUL E
VERDE ECOTELHADO – ESTUDO DE CASO NO BAIRRO DO
PINHEIRO E NO CAMPUS MACEIÓ DO IFAL – AL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no Instituto Federal de Alagoas Maceió como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof. Ma. Tainara Ramos Da Rocha Lins De Brito Rodrigues.

Maceió – AL
2023



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Instituto Federal de Alagoas
Campus Maceió
Biblioteca Benevides Monte

621.042
S586e

Silva, Jonas Victor Santos.

Estudo da viabilidade de implantação do sistema azul e verde ecotelhado – estudo de caso no bairro do Pinheiro e no Campus Maceió do IFAL – AL / Jonas Victor Santos Silva, Lyvia Gama Martins. – Maceió, 2023.

45 f. : il.

Orientação: Profa. Ma. Tainara Ramos da Rocha Lins de Brito Rodrigues.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Alagoas, Campus Maceió. Maceió, 2023.

Arquivo no formato digital em PDF.

1. Engenharia Civil. 2. Eficiência energética. 3. Drenagem sustentável. 4. Gestão ambiental urbana. 5. Sistema azul e verde ecotelhado. I. Martins, Lyvia Gama. II. Título.

Franciane Monick Gomes de França
Bibliotecária CRB-4/1831


JONAS VICTOR SANTOS SILVA
LYVIA GAMA MARTINS

**ESTUDO DA VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA AZUL E
VERDE ECOTELHADO – ESTUDO DE CASO NO BAIRRO DO
PINHEIRO E NO CAMPUS MACEIÓ DO IFAL – AL**

Trabalho de conclusão de curso (TCC) apresentado à Banca de Avaliação do TCC no Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Alagoas Campus Maceió – IFAL.


Maceió, Alagoas, 01 de novembro de 2023.

BANCA EXAMINADORA:

Documento assinado digitalmente
 TAINARA RAMOS DA ROCHA LINS DE BRITO ROÍ
Data: 04/12/2023 08:38:35-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Profª. Ma. Tainara Ramos Da Rocha Lins De Brito Rodrigues

(Orientadora-IFAL)

Documento assinado digitalmente
 ALEXANDRE CUNHA MACHADO
Data: 11/12/2023 11:22:09-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Alexandre Cunha Machado

(IFAL)

Documento assinado digitalmente
 CARLOS MARCELO DE ARAUJO BIBIANO
Data: 13/12/2023 21:44:25-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Esp. Carlos Marcelo De Araujo Bibiano

(IFAL)

AGRADECIMENTOS

À Deus, primeiramente, pois sem Ele nada disso seria possível e por nos fortalecer em cada desafio enfrentado.

Aos nossos pais e família, por todo amor, carinho e incentivo aos nossos estudos.

A nossa orientadora Tainara, por ter aceitado ser nossa orientadora desde o PIBIC e novamente no TCC, por estar sempre contribuindo qualitativamente para o nosso trabalho e dedicar seu tempo junto conosco durante toda essa jornada.

Ao Matheus Cedrim, por toda sua ajuda, paciência e apoio ao longo da jornada de elaboração deste trabalho. Seu incentivo, motivação e disposição para dedicar seu tempo para discutir ideias, ler e fornecer sugestões foram fundamentais para a finalização deste TCC.

Ao IFAL - Campus Maceió, por nos conceder bolsa de PIBIC e pela oportunidade de desenvolver a nossa pesquisa desde o período do nosso PIBIC de mesmo tema e que hoje está culminando em nosso TCC.

Aos setores do IFAL: Departamento de Orçamento e Finanças, Gabinete e Diretoria de Administração, os quais viabilizaram nossa ida ao congresso da ABES em Belo Horizonte para apresentar este mesmo trabalho desenvolvido desde o PIBIC.

À banca, por aceitar de bom grado e de forma célere o convite facultado de comporem a banca de nosso TCC.

Aos nossos amigos, por todo incentivo e apoio.

Ao Rinaldo, laboratorista do IFAL, por nos ajudar e contribuir na parte prática deste trabalho.

Ao Wellington, colaborador do IFAL, por se dispor a nos auxiliar na colocação do protótipo no telhado do IFAL.

E a todos que contribuíram direta ou indiretamente para o nosso estudo.

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo analisar a viabilidade de implantação de técnicas de drenagem sustentável na elaboração de planos de drenagem urbana, com ênfase em um sistema biofílico denominado Azul e Verde, motivado pela necessidade de novas tecnologias que amenizem os impactos ambientais causados pelo desenvolvimento das atividades humanas frente à crescente ocupação urbana e redução de áreas verdes nas cidades. Dessa forma, foi analisada uma técnica construtiva de telhado verde extensivo, que apresenta um menor impacto ambiental em relação aos telhados convencionais, por meio do uso de materiais renováveis, representando uma ferramenta no combate ao efeito estufa, às ilhas de calor e, conseqüentemente, um aumento na qualidade do ar e da água. Como procedimento metodológico, realizou-se um comparativo entre os telhados convencionais e o Sistema Azul e Verde por meio de um protótipo da empresa Ecotelhado®, a fim de demonstrar a importância da incorporação de técnicas sustentáveis no processo de planejamento e gestão urbana. Sabe-se que esse sistema tem a função de amortecer a água da chuva, ao prolongar o tempo de retenção de água nos reservatórios instalados no telhado, de modo que foi possível observar ao longo do estudo que é mais favorável o uso do Sistema Azul e Verde do que o telhado de cobertura convencional, devido às suas utilidades, custo-benefício a longo prazo, além de apresentar uma estrutura mais leve, aproximadamente 13,33%, quando comparada, por exemplo, aos telhados com telha cerâmica colonial.

Palavras-chave: Eficiência energética. Sustentabilidade. Gestão ambiental urbana. Medições pluviométricas. Cobertura Verde.

ABSTRACT

The present study aimed to assess the feasibility of implementing sustainable drainage techniques in the development of urban drainage plans, with a focus on a biophilic system referred to as Blue and Green. This initiative is driven by the imperative need for novel technologies that mitigate the environmental impacts resulting from the expansion of human activities within urban areas, concomitant with the reduction of green spaces within cities. To this end, an extensive green roof construction technique was scrutinized, demonstrating a diminished environmental footprint when compared to conventional rooftops. This was achieved through the use of renewable materials, thus serving as an instrument to combat greenhouse gas emissions, urban heat islands, and, consequently, to enhance air and water quality. The methodological approach encompassed a comparative analysis between conventional rooftops and the Blue and Green System, facilitated by a prototype provided by Ecotelhado. This comparative exercise served to underscore the significance of incorporating sustainable techniques into the urban planning and management processes. It was observed throughout the study that the use of the Blue and Green System is more favorable than conventional roofing systems. This is attributed to its multifaceted utility, long-term cost-effectiveness, and the fact that it features a significantly lighter structure, approximately 13.33% lighter when compared, for instance, to roofs with colonial ceramic tiles.

Keywords: Energy efficiency. Sustainability. Urban environmental management. Pluviometric measurements. Green roofing.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. OBJETIVOS	12
2.1 OBJETIVO GERAL	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
3. METODOLOGIA	13
3.1 ÁREA DE ESTUDO	15
3.2 LEVANTAMENTO PLUVIOMÉTRICO.....	16
3.3 ESTIMATIVA DO VOLUME DOS RESERVATÓRIOS.....	18
3.4 SISTEMA AZUL E VERDE ECOTELHADO	19
3.5 ANÁLISE LABORATORIAL	21
3.6 ESTIMATIVA DA CARGA ESTRUTURAL.....	22
3.7 VIABILIDADE ECONÔMICA.....	22
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	23
4.1 ÁREA DE ESTUDO	23
4.2 LEVANTAMENTO PLUVIOMÉTRICO.....	24
4.3 DIMENSIONAMENTO DOS PESOS SATURADOS DAS AMOSTRAS DE CADA MEDIÇÃO.....	37
4.4 COMPARAÇÃO DOS CUSTOS E DOS PESOS ENTRE OS SISTEMAS	39
4.5 CHUVAS INTENSAS	40
4.6 PROJEÇÃO	40
5. CONCLUSÃO	42
REFERÊNCIAS	44

1. INTRODUÇÃO

É conhecido que os alagamentos nas grandes cidades estão diretamente relacionados ao processo de urbanização acelerado e ao aumento constante da impermeabilização das áreas urbanas. Esse fenômeno resulta em uma significativa redução da capacidade natural do solo para absorver água da chuva, ocasionando um conseqüente aumento do escoamento superficial. Além disso, a limitação frequente dos sistemas de escoamento, em lidar com grandes volumes de água pluvial em curtos períodos, contribui para episódios cada vez mais recorrentes de alagamentos.

Para mitigar esses tipos de problemas ocasionados pelas chuvas, são empregados diversos dispositivos com o objetivo de ampliar a retenção das águas pluviais, promovendo o aumento da infiltração. Entre essas soluções, encontram-se calçadas e sarjetas drenantes, além de reservatórios destinados à acumulação de águas de chuva. A adoção dessas alternativas é crucial, uma vez que a soma de seus efeitos contribuirá para alcançar os resultados hidrológicos desejados. No entanto, dentre os vários dispositivos disponíveis, os reservatórios de acumulação destacam-se pela sua capacidade de resposta hidrológica rápida.

Nesse contexto, os sistemas de cobertura, por exemplo, desempenham um papel fundamental nas edificações, onde além de cumprir sua função elementar, eles também assumem importância significativa na gestão de fenômenos hidrológicos, enfrentando os impactos adversos dos eventos climáticos e contribuindo para os sistemas de drenagem urbana. Do mesmo modo, as coberturas também têm grande relevância na eficiência energética, influenciando diretamente na escolha de materiais adequados que proporcionam isolamento térmico, resultando na redução dos custos relacionados ao aquecimento e refrigeração.

Por outro lado, as coberturas também são essenciais na gestão do escoamento superficial, em que a água precisa ser direcionada de forma adequada para os sistemas de drenagem, a fim de evitar o acúmulo nas superfícies da edificação. Em áreas urbanas, as coberturas podem contribuir para a gestão sustentável, em que os sistemas de captação de água pluvial podem ser utilizados para irrigação, descarga de vasos sanitários e outros usos não potáveis (Figura 1), contribuindo para a

conservação dos recursos hídricos e reduzindo a sobrecarga nos sistemas de drenagem urbana.

Figura 1 - Sistema de telhado verde e reuso da água



Fonte: Mary *et al.*, 2008.

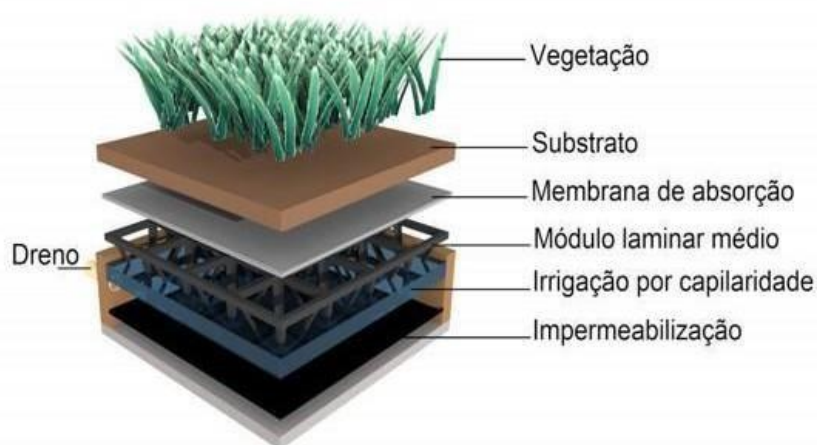
Dessa forma, além de coletar a água da chuva, as coberturas podem ser parte de soluções de drenagem sustentável. Os telhados verdes, por exemplo, representam uma opção que envolve o cultivo de plantas nas coberturas, ajudando na absorção da água e na redução do escoamento superficial. Sendo assim, é fundamental adotar práticas de planejamento urbano sustentável, incluindo, dessa forma, o uso de regulamentos que incentivem a permeabilidade do solo e a criação de áreas verdes.

Sendo assim, as bacias de retenção ou de amortecimento pluvial são bacias artificiais que têm a finalidade de armazenar volumes de água por determinado tempo nos dias chuvosos. Elas são compostas por dispositivos que dissipam a energia do fluxo, reduzindo sua velocidade tanto no escoamento, por meio de dispositivos de drenagem, quanto no deságue para o terreno natural, evitando a erosão do solo (FERREIRA, 2016). Desempenhando um papel fundamental, essas bacias contribuem significativamente para a mitigação de enchentes e para o aprimoramento geral da eficiência do sistema de drenagem.

Por outro lado, os telhados verdes correspondem a estruturas formadas por coberturas vegetais nas lajes das construções, os quais necessitam de condições

preexistentes favoráveis no que diz respeito a drenagem e impermeabilização para que seja estruturado. Ela é constituída (Figura 2) por uma camada da vegetação, uma camada de substrato, uma membrana de absorção, seguida do módulo laminar médio, uma camada de drenagem responsável pela retirada de água e por fim, a impermeabilização (CASTRO e GOLDENFUM, 2008).

Figura 2 - Estrutura do Telhado verde da Ecotelhado com módulo laminar médio



Fonte: Ecotelhado, 2019.

Com o intuito de promover a redução do volume de água pluvial escoada diretamente pelas vias, os telhados verdes também representam soluções interessantes caracterizadas pela sua facilidade de implantação e operação, além de apresentarem um baixo custo associado ao seu funcionamento. Esses telhados oferecem diversas vantagens comparativas em relação aos modelos convencionais, como proteção contra a luz solar, melhoria do conforto térmico no interior da edificação e diminuição do volume de água destinado ao escoamento superficial.

Ao integrar os dois sistemas abordados (bacia de retenção e telhado verde), a empresa Ecotelhado concebeu o sistema Azul e Verde Ecotelhado® em 2019. Essa inovação representa uma abordagem que combina as vantagens das bacias de amortecimento pluvial com os benefícios dos telhados verdes, por meio da inclusão de reservatórios instalados abaixo do telhado. Além de atuar como um dispositivo direcional para a água, facilitando seu reuso, o sistema promove a absorção de dióxido de carbono e a produção de oxigênio, contribuindo assim para a melhoria da qualidade do ar.

Desta forma, este estudo teve como principal objetivo analisar a implantação desse sistema para um melhor planejamento urbano e ambiental nas redes de drenagem urbana, com o intuito de combater problemas frequentemente registrados nos grandes centros urbanos como alagamentos, enchentes e inundações por intermédio do sistema Azul e Verde.

Nessa perspectiva, foi realizada uma análise de viabilidade da implantação desse sistema no bairro do Pinheiro localizado em Maceió, capital do estado de Alagoas, e, no IFAL – Campus Maceió, a fim de promover a disseminação de sistemas sustentáveis e biofílicos para promover um ambiente mais agradável às pessoas e um sistema de drenagem mais eficiente.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho consiste em analisar a viabilidade de implantação do Sistema Azul e Verde Ecotelhado®, como prática sustentável de drenagem urbana destinada a reduzir os impactos causados pelo escoamento das águas pluviais em grandes cidades, que são frequentemente atingidas por problemas associados a um sistema de drenagem deficiente.

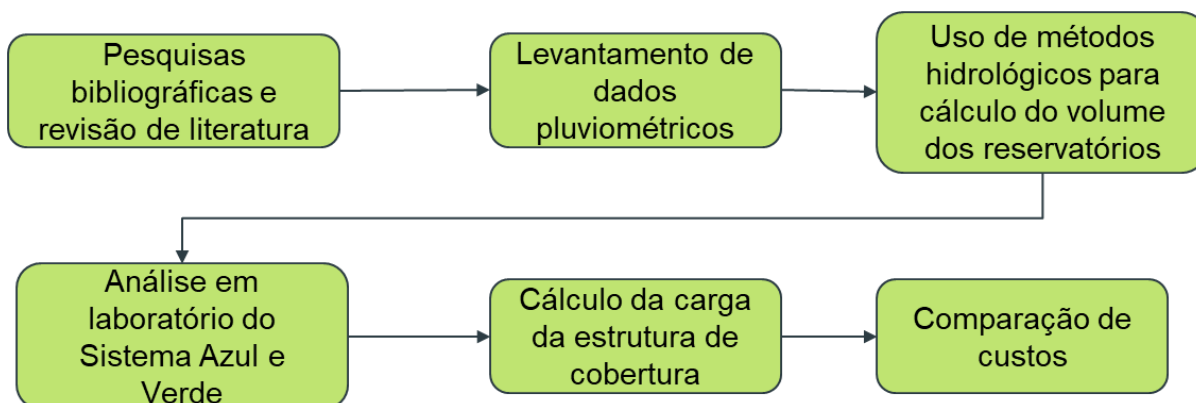
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudar o comportamento hidrológico da área de estudo;
- Analisar um protótipo da Ecotelhado para estudo prático da viabilidade do sistema;
- Avaliar os custos de implantação do Sistema Azul e Verde;
- Analisar as principais vantagens e desvantagens existentes entre o Sistema Azul e Verde e os telhados convencionais de cobertura (telha cerâmica colonial e telha de fibrocimento).

3. METODOLOGIA

O processo metodológico desta pesquisa consistiu em seis etapas, conforme esquematizado na figura 3 a seguir:

Figura 3 - Etapas do processo metodológico



Fonte: Autores (2023).

- Etapa 1: pesquisas bibliográficas e revisão de literatura com a finalidade de obter mais informações sobre o tema.
- Etapa 2: levantamento dos dados pluviométricos do bairro do Pinheiro por meio dos dados das estações pluviométricas do Cemaden (Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais) no posto Farol 1 e de outros órgãos correlatos, visando conhecer o padrão de chuvas na região e a precipitação média realizada no mês de junho de 2021.
- Etapa 3: uso de métodos e modelos hidrológicos para cálculo do volume dos reservatórios a partir da fórmula da capacidade do reservatório para retardo da água da chuva e para a determinação da intensidade máxima da chuva por meio da curva IDF (intensidade, duração e frequência) da região, com base no tempo de recorrência e na duração da chuva.
- Etapa 4: análise em laboratório de amostra do Sistema Azul e Verde, concedida pela empresa Ecotelhado®, com o intuito de verificar o acumulado de chuva semanal nos 16 reservatórios da amostra e dessa forma fazer um comparativo

entre os dados pluviométricos coletados por intermédio do Cemaden e o volume captado pela amostra ao longo do mês estudado.

- Etapa 5: cálculo da carga da estrutura de cobertura, por meio do peso de cada um dos materiais conforme a NBR 6120 (ABNT, 2019), (Carga para Cálculo de estrutura de edificações) e comparação em relação aos sistemas convencionais.
- Etapa 6: comparação de custos entre o telhado verde da Ecotelhado e os sistemas tradicionais de cobertura.

Pelo método racional da intensidade pluvial e da curva de intensidade, duração e frequência (IDF) - Equação 1, sabendo que a finalidade da curva IDF é avaliar as chuvas máximas, realizaremos uma análise para identificar o cenário com a precipitação máxima mais significativa, a fim de avaliar o desempenho dos sistemas azul e verde nesse cenário crítico.

Sendo assim, foi realizada uma análise estatística hidrológica, com o intuito de obter a intensidade média máxima, o tempo de recorrência e a duração da chuva. Para isso, foram utilizados os seguintes parâmetros para a cidade de Maceió, segundo Denardin e Freitas (1982): $a=274,09$; $b=0,28$; $c=6$ e $d=0,56$. Para o tempo de retorno (T) foram adotados o valor de 10 anos e 60 minutos para o tempo de duração da precipitação (t).

$$i = \frac{aT^b}{(t+c)^d} \quad (1)$$

$$i = \frac{274,09 \cdot 10^{0,28}}{(60+6)^{0,56}}$$

Em que:

i = intensidade média máxima (mm/h);

T = tempo de recorrência (anos);

t = duração da chuva (min);

a, b, c e d = representam coeficientes característicos da região.

Na comparação entre os custos do telhado verde da Ecotelhado® e dos telhados convencionais, foi utilizado o preço unitário de cada telhado por metro quadrado e o custo total de cada sistema.

Em relação ao dimensionamento do peso da estrutura da cobertura verde, adotou-se a equação 2 a seguir.

$$P = m \times g \quad (2)$$

Onde:

P = força peso (kN);

m = massa (kg);

g = aceleração da gravidade (9,81 m/s²).

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A escolha da área de estudo no bairro do Pinheiro foi motivada pela sua localização estratégica em uma região de bacia, caracterizada pelo acúmulo de água proveniente das chuvas. Sendo assim, ao ser analisada essa região, é possível direcionar soluções específicas para os problemas de retenção e escoamento da água da chuva, contribuindo na necessidade de abordar os desafios associados à gestão de águas pluviais, como, por exemplo, a mitigação de possíveis impactos negativos, como enchentes e alagamentos. Dessa forma, esse cenário torna o local ideal para a implementação e avaliação do Sistema Azul e Verde Ecotelhado.

Assim, o bairro do Pinheiro (Figura 4), um dos mais atingidos pelo desastre ambiental, possui uma área de aproximadamente 1,96 km² com altitudes variando as 42 a 55 metros distribuídas em 120 logradouros, onde sua população em 2010 girava em torno de 19.062 habitantes, de acordo com o Censo demográfico realizado pelo IBGE em 2010, sendo este o 17º bairro mais populoso de Maceió.

Figura 4 - Bairro do Pinheiro

Fonte: G1 AL (2020).

No tocante a formação do bairro, este foi construído sobre rochas pouco consolidadas do Grupo Barreiras, constituídas basicamente de silte, areia e argila e tendo níveis de concreções de ferro, com a disposição das camadas de forma irregular, com diversas feições deposicionais (CPRM, 2019).

Além da implantação no bairro do Pinheiro, o Sistema Azul e Verde foi também aplicado no IFAL - Campus Maceió, com o intuito de realizar uma análise comparativa entre os resultados obtidos em ambientes distintos. A inclusão do IFAL Campus Maceió como um local adicional de implementação, proporciona uma oportunidade para avaliar a eficácia e adaptabilidade do sistema em diferentes contextos urbanos.

Dessa forma, as análises realizadas no IFAL - Campus Maceió não apenas enriquecem a compreensão sobre a eficácia do sistema, mas também fornecem uma abordagem comparativa, em que permite verificar a generalização dos resultados obtidos no bairro do Pinheiro e avaliar como o Sistema Azul e Verde se adapta a diferentes estruturas e demandas sobre sua aplicabilidade em contextos diversos.

3.2 LEVANTAMENTO PLUVIOMÉTRICO

A respeito do regime hidrológico na área de estudo, este representa uma intensidade de precipitação mais concentrada entre os meses de maio e julho, por estar inserido em um clima tropical úmido oriundo da costa alagoana, onde os índices

pluviométricos tendem a ser elevados e a temperatura média anual se encontra acima dos 24 °C.

Foi analisada a precipitação em duas estações pluviométricas do Cemaden, o posto pluviométrico Farol 1, localizado a 850 metros de distância de onde foi implantada a amostra da área de estudo no Pinheiro, e o posto Cambona, localizado a 2,5 km, aproximadamente, do protótipo instalado no IFAL - Campus Maceió, em que ambos desempenham um papel fundamental no monitoramento das precipitações locais. Estes postos registram dados pluviométricos detalhados de forma diária, os quais contribuem para a compreensão do regime de precipitação acumulada na região.

Esse levantamento envolveu a coleta sistemática de dados de precipitação ao longo do ano, sendo essenciais para várias aplicações como, por exemplo o monitoramento de eventos extremos, o planejamento de recursos hídricos e o planejamento urbano e ambiental:

1. Monitoramento de eventos extremos: O registro contínuo de dados pluviométricos permite identificar eventos de chuvas intensas ou secas prolongadas, que podem ter impactos significativos na região, como inundações, escassez de água e outros desastres naturais.
2. Planejamento de recursos hídricos: Os dados pluviométricos auxiliam na gestão dos recursos hídricos, ajudando a determinar a disponibilidade de água na área de estudo, sendo ainda de extrema importância para o abastecimento de água, a agricultura e a indústria.
3. Planejamento urbano e ambiental: Os registros pluviométricos são usados no planejamento urbano e ambiental para lidar com o escoamento das águas pluviais e prevenir enchentes, além de preservar ecossistemas sensíveis à água.

Em síntese, o levantamento pluviométrico realizado nos postos pluviométricos desempenha um papel fundamental na gestão e compreensão das condições climáticas na área de estudo e no local escolhido para proceder com a análise

laboratorial (IFAL - Campus Maceió), fornecendo informações para uma variedade de aplicações práticas e de pesquisa relacionadas ao clima e ao meio ambiente.

3.3 ESTIMATIVA DO VOLUME DOS RESERVATÓRIOS

Para calcular o volume captado em um reservatório de um telhado verde, foram utilizados métodos e modelos hidrológicos que relacionam a área de captação, a altura da lâmina de água e o volume captado. Desta forma, o método de cálculo do volume de água captado consistiu em obter os seguintes dados:

- Área de captação: correspondente à superfície do telhado verde que coleta água da chuva. Nesse caso, a área total de captação foi de 646,80 cm², divididos em 16 reservatórios menores, cada um com uma área de captação de 40,42 cm².
- Altura da lâmina de água: corresponde à profundidade da água que se acumulava no telhado verde após cada precipitação. No protótipo analisado, a altura da lâmina foi medida em centímetros, em cada um dos 16 reservatórios, após os eventos de precipitação registrados.
- Volume captado (em cm³): Para cálculo do volume de água captado, foi utilizada a seguinte fórmula:

$$V = A * h \quad (3)$$

Em que:

V = volume em cm³;

A = área de captação em cm²;

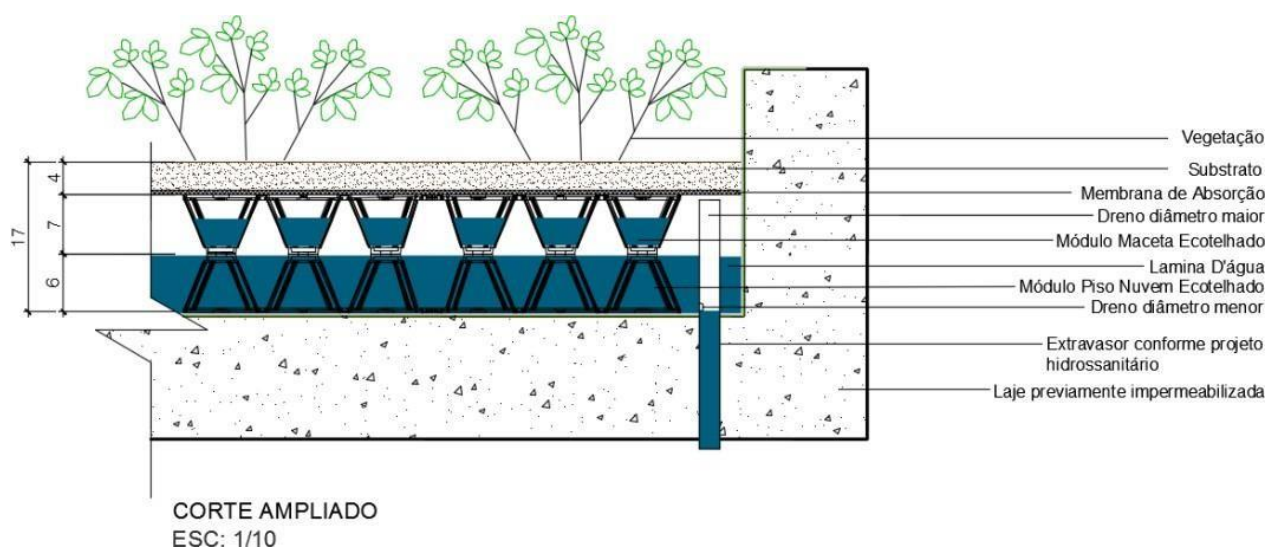
h = altura da lâmina de água em cm.

O resultado obtido no volume captado anteriormente, em centímetros cúbicos (cm³), foi convertido para milímetros para ser feito o comparativo com os dados do total acumulado pelo posto do Cemaden.

3.4 SISTEMA AZUL E VERDE ECOTELHADO

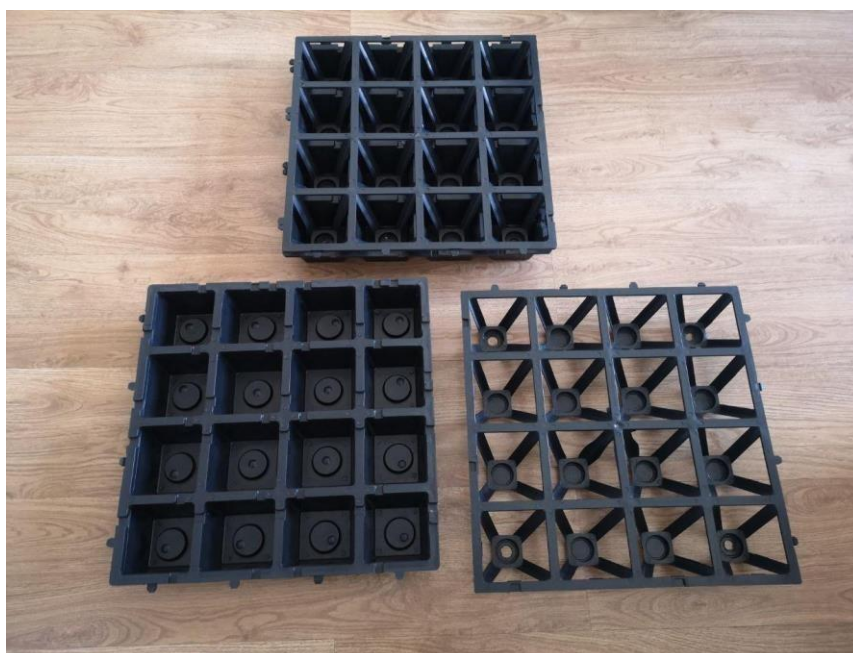
Sabe-se que a junção de técnicas de drenagem urbana representa uma excelente alternativa no processo de gestão de recursos hídricos e planejamento urbano, uma vez que, associa os pontos positivos de cada uma delas, criando soluções ainda mais eficientes. Desta forma, associando técnicas já conhecidas como as bacias de amortecimento pluvial e os telhados verdes, criou-se o sistema Azul e Verde Ecotelhado®, como mostra o esquema a seguir (Figura 5) e a imagem contendo os módulos que constituem o sistema através da amostra disponibilizada pela empresa (Figura 6 e 7).

Figura 5 - Estrutura do Sistema Azul e Verde desenvolvido pela Ecotelhado.



Fonte: Ecotelhado, 2019.

Figura 6 - Amostras do Sistema Azul e Verde concedidas pela empresa Ecotelhado



Fonte: Autores (2023).

Figura 7 – Montagem das camadas do protótipo



Fonte: Autores (2023).

Portanto, o funcionamento completo desse sistema está associado à presença dos reservatórios abaixo do substrato de vegetação que permite a absorção de água realizada pela estrutura da própria vegetação (Figura 7), além de funcionar como um reservatório de água que, quando extrapola a sua capacidade de armazenamento, o

excesso de chuva é direcionado de forma gradual por um extravasor de pequeno diâmetro para um reservatório permitindo assim o acúmulo hídrico in loco e o reuso deste excesso (ECOTELHADO, 2019).

O grande diferencial desse sistema em relação ao telhado verde convencional, consiste, principalmente, em permitir o acúmulo da água precipitada, de modo a proporcionar um acúmulo hídrico e uma consequente diminuição dos picos de escoamento ao funcionar como uma bacia de amortecimento.

3.5 ANÁLISE LABORATORIAL

A análise laboratorial do procedimento de montagem de um telhado verde envolve a avaliação das camadas que compõem o sistema, onde cada camada desempenha um papel importante na eficácia e durabilidade do telhado verde; sendo uma destas camadas o módulo laminar, representando a primeira camada do telhado verde por meio de bandejas de plástico que servem como uma base estrutural para o sistema, sendo esses módulos responsáveis por suportar adequadamente o peso do substrato e da vegetação. Ademais, foi adicionado também a membrana de absorção, responsável por reter o substrato ou resíduos dentro no sistema e, acima dela, foi colocado o substrato, que é o meio de crescimento para as plantas no telhado verde.

Uma análise laboratorial desse substrato permite avaliar sua composição, capacidade de retenção de água, capacidade de drenagem e nutrientes disponíveis para as plantas, podendo ainda verificar a presença de contaminantes que possam afetar o crescimento das plantas. E por fim, é acrescentada a vegetação, composta nesse caso, por grama.

Durante a análise laboratorial, pode-se avaliar ainda a saúde das plantas, sua capacidade de adaptação às condições do telhado verde (como exposição ao sol, vento e variações de temperatura) e sua resistência a pragas e doenças. Esses testes podem envolver a coleta de dados ao longo do tempo para avaliar o desempenho a longo prazo do sistema. Por meio dos dois protótipos enviados pela empresa Ecotelhado®, foram adicionados às amostras, na sequência, o módulo laminar, a membrana de absorção, o substrato e a vegetação.

Por fim, as amostras foram posicionadas nos telhados, tanto no Pinheiro quanto no IFAL, para permitir a realização de uma análise comparativa ao longo de um período de quatro semanas referente ao mês de junho de 2021. Durante esse período, medições semanais foram realizadas por intermédio da utilização de trenas, com o propósito de avaliar a quantidade de água captada nos reservatórios de ambas as amostras.

3.6 ESTIMATIVA DA CARGA ESTRUTURAL

A estimativa de carga estrutural é um componente fundamental na Engenharia, pois permite avaliar a capacidade de uma estrutura em suportar diferentes tipos de cargas, como peso de construção, ventos, neve e outras forças externas.

De acordo com as informações da empresa Ecotelhado®, a carga estrutural típica no Sistema Azul e Verde é de 75 kg/m² quando saturada. No entanto, é importante ressaltar que esses sistemas também desempenham um papel crucial como bacia de amortecimento, uma vez que, em casos de saturação máxima, antes que ocorra o extravasamento da água, a carga estrutural pode atingir até 125 kg/m².

Além disso, vale ressaltar que os dados utilizados para esta estimativa de carga estrutural não se limitam apenas às informações fornecidas pela empresa Ecotelhado®. Também foram incorporados dados obtidos da norma NBR 6120:2019 para a telha cerâmica colonial e telha de fibrocimento, os quais foram transformados para Kg/m², com o intuito de realizar a análise comparativa das cargas dos telhados.

3.7 VIABILIDADE ECONÔMICA

Em relação a análise da viabilidade econômica de implantação do sistema, adotou-se como referência para o Sistema Azul e Verde o custo fornecido pela empresa Ecotelhado®, enquanto em relação à telha cerâmica colonial e à telha de fibrocimento, os dados dos custos foram obtidos pelo ORSE - Sistema de Orçamento de Obras de Sergipe com dados de agosto/2023.

A partir dessas informações, foi possível realizar análises comparativas entre os tipos de telhados, com o intuito de verificar o melhor custo-benefício.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ÁREA DE ESTUDO

Ao longo deste estudo, realizou-se a delimitação do bairro do Pinheiro por meio de um *software* de geoprocessamento denominado QGIS, em que foi possível obter por meio das imagens de satélite as características do uso e ocupação da região, além de permitir a delimitação da área na qual está inserido o bairro (Figura 8).

Figura 8 - Delimitação do bairro do Pinheiro.



Fonte: Autores (2023).

É possível observar ainda que o bairro apresenta a maior parte da sua área composta por áreas construídas (áreas impermeáveis) e poucas regiões vegetadas, indicando a dificuldade hidrológica deste em relação ao processo de infiltração e recarga dos lençóis subterrâneos da região e, conseqüentemente, uma maior geração de escoamento superficial em dias chuvosos.

A escolha da área de pesquisa no bairro do Pinheiro foi guiada pela sua localização estratégica numa região de bacia, onde ocorre o acúmulo de água resultante das chuvas. Ao focar nesse local específico, é possível desenvolver soluções direcionadas para os desafios relacionados à retenção e escoamento da

água da chuva, abordando questões cruciais na gestão de águas pluviais, como a mitigação de impactos indesejados, incluindo enchentes e alagamentos. Assim, o bairro do Pinheiro se configura como o ambiente ideal para a implementação e avaliação do Sistema Azul e Verde Ecotelhado.

Além de ser implementado no bairro do Pinheiro, o Sistema Azul e Verde também foi introduzido no IFAL - Campus Maceió (Figura 9) com o propósito de conduzir uma análise comparativa entre os resultados alcançados em ambientes diversos. A incorporação do IFAL - Campus Maceió como uma localidade adicional de implementação oferece uma oportunidade importante para avaliar a eficácia e adaptabilidade do sistema em diferentes cenários urbanos.

Figura 9 - IFAL – Campus Maceió.



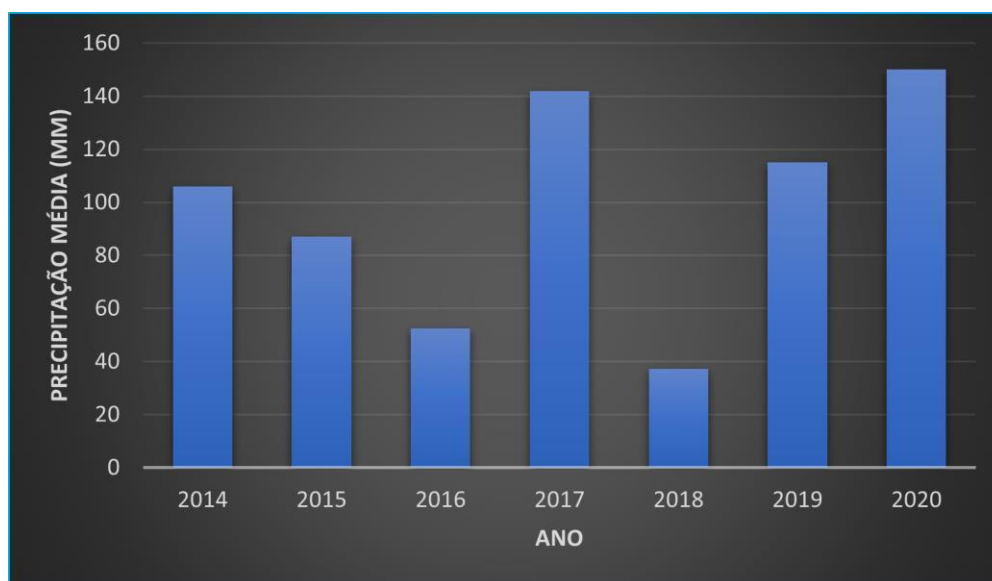
Fonte: UOL (2019).

4.2 LEVANTAMENTO PLUVIOMÉTRICO

A partir dos dados coletados no posto pluviométrico Farol 1 referentes ao período de 2014 até 2020 (Figura 10), observa-se a indicação de uma média anual de precipitação de aproximadamente 98,53 mm e mostram uma distribuição semelhante, com o pico de chuvas ocorrendo nos meses de maio a julho, alinhando-se com o padrão da região. Essas informações são significativas para avaliar a variabilidade da

precipitação na área de estudo auxiliando na gestão de recursos hídricos, bem como na previsão de eventos climáticos extremos.

Figura 10 - Precipitações médias anuais (mm) - Posto Farol 1.



Fonte: Autores (2023).

Em relação ao comparativo do levantamento pluviométrico no que se refere à precipitação acumulada pelo Sistema Azul e Verde da Ecotelhado® (Figura 11) e os dados obtidos através do posto pluviométrico Farol 1 e o posto pluviométrico Cambona, medições semanais foram realizadas durante o mês de junho de 2021, a fim de monitorar o acúmulo de água da chuva por meio de duas amostras, sendo uma instalada no bairro do Pinheiro (Figura 12) e outra amostra instalada no IFAL - Campus Maceió (Figura 13).

Figura 11 - Precipitação na amostra do Pinheiro.



Fonte: Autores (2023).

Figura 12 - Acúmulo de água na amostra do Pinheiro



Fonte: Autores (2023).

Figura 13 - Acúmulo de água na amostra do IFAL - Campus Maceió.



Fonte: Autores (2023).

Por meio destas medições, foi possível obter a caráter comparativo, o valor total em milímetros de chuva acumulada, por meio da razão entre o volume captado e a área. Para assim, ser feita a comparação durante quatro semanas, com o valor total acumulado na mesma semana pelos postos pluviométricos do Cemaden Farol 1 (Quadros 1, 2, 3 e 4) e no posto pluviométrico Cambona (Quadros 5, 6 e 7). Dispondo a seguir, as medições realizadas semanalmente nas duas amostras.

Quadro 1 - Cálculo da primeira semana de precipitação acumulada no Pinheiro

Volume de cada reservatório na primeira medição do bairro do Pinheiro			
Reservatório	Altura da lâmina de água (cm)	Área de captação (cm ²)	Volume captado (cm ³)
1	2,5	40,425	101,06
2	2,2	40,425	88,94
3	3,3	40,425	133,40
4	2,1	40,425	84,89
5	3,2	40,425	129,36
6	3,1	40,425	125,32
7	3,4	40,425	137,45
8	3,3	40,425	133,40
9	2	40,425	80,85
10	3,1	40,425	125,32
11	3	40,425	121,28
12	0,1	40,425	4,04
13	1,5	40,425	60,64
14	2,8	40,425	113,19
15	3,1	40,425	125,32
16	0	40,425	0,00
Total:	38,7	646,80	1564,45

Fonte: Autores (2023).

No dia 16 de junho de 2021, foi realizada a primeira medição semanal na área de estudo do Pinheiro com os seguintes resultados:

Área da amostra: 646,8 cm².

Total acumulado de precipitação pelo Cemaden: 129,1 mm.

Total acumulado de precipitação pela amostra: 24,187 mm.

Peso da amostra: 25,506 Newtons (N).

Além disso, o acumulado de precipitação da amostra equivale a 18,74% do acumulado pelo CEMADEN.

Quadro 2 - Cálculo da segunda semana de precipitação acumulada no Pinheiro

Volume de cada reservatório na segunda medição do bairro do Pinheiro			
Reservatório	Altura da lâmina de água (cm)	Área de captação (cm ²)	Volume captado (cm ³)
1	0	40,425	0,00
2	2,9	40,425	117,23
3	1,1	40,425	44,47
4	2,8	40,425	113,19
5	1,8	40,425	72,77
6	2,9	40,425	117,23
7	2,9	40,425	117,23
8	1,6	40,425	64,68
9	2,3	40,425	92,98
10	3,2	40,425	129,36
11	3	40,425	121,28
12	2,6	40,425	105,11
13	0	40,425	0,00
14	0,3	40,425	12,13
15	2,5	40,425	101,06
16	1,1	40,425	44,47
Total:	31	646,80	1253,18

Fonte: Autores (2023).

Na segunda semana de medição, no dia 23 de junho de 2021, foram registrados os seguintes resultados:

Área da amostra: 646,8 cm².

Total acumulado de precipitação pelo Cemaden: 49,57 mm.

Total acumulado de precipitação pela amostra: 19,37 mm.

Peso da amostra: 19,62 Newtons (N).

Foi calculada uma diferença entre o total acumulado de precipitação pela amostra, equivalente a 39,08% do total acumulado pelo Cemaden.

Quadro 3 - Cálculo da terceira semana de precipitação acumulada no Pinheiro

Volume de cada reservatório na terceira medição do bairro do Pinheiro			
Reservatório	Altura da lâmina de água (cm)	Área de captação (cm ²)	Volume captado (cm ³)
1	0	40,425	0,00
2	2,8	40,425	113,19
3	2,4	40,425	97,02
4	4,3	40,425	173,83
5	0,5	40,425	20,21
6	2,5	40,425	101,06
7	4	40,425	161,70
8	4,5	40,425	181,91
9	1,3	40,425	52,55
10	2,6	40,425	105,11
11	3,7	40,425	149,57
12	2	40,425	80,85
13	2,1	40,425	84,89
14	0,1	40,425	4,04
15	1,9	40,425	76,81
16	4,1	40,425	165,74
Total:	38,8	646,80	1568,49

Fonte: Autores (2023).

Na terceira semana de medição, no dia 30 de junho de 2021, foram registrados os seguintes resultados:

Área da amostra: 646,8 cm².

Total acumulado de precipitação pelo Cemaden: 52,78 mm.

Total acumulado de precipitação pela amostra: 24,25 mm.

Peso da amostra: 25,5 Newtons (N).

Foi calculada uma diferença entre o total acumulado de precipitação pela amostra, equivalente a 45,95% do total acumulado pelo Cemaden.

Quadro 4 - Cálculo da quarta semana de precipitação acumulada no Pinheiro

Volume de cada reservatório na quarta medição do bairro do Pinheiro			
Reservatório	Altura da lâmina de água (cm)	Área de captação (cm ²)	Volume captado (cm ³)
1	0	40,425	0,00
2	1,9	40,425	76,81
3	0,9	40,425	36,38
4	1,9	40,425	76,81
5	0	40,425	0,00
6	2,7	40,425	109,15
7	3,7	40,425	149,57
8	2,7	40,425	109,15
9	0,8	40,425	32,34
10	2,8	40,425	113,19
11	3,3	40,425	133,40
12	2,9	40,425	117,23
13	0,7	40,425	28,30
14	1	40,425	40,43
15	3,6	40,425	145,53
16	3,1	40,425	125,32
Total:	32	646,8	1293,60

Fonte: Autores (2023).

Finalmente, na quarta semana de medição, no dia 07 de julho de 2021, foram registrados os seguintes resultados:

Área da amostra: 646,8 cm².

Total acumulado de precipitação pelo Cemaden: 79,93 mm.

Total acumulado de precipitação pela amostra: 20,0 mm.

Peso da amostra: 20,58 Newtons (N).

Foi calculada uma diferença entre o total acumulado de precipitação pela amostra, equivalente a 25,02% do total acumulado pelo Cemaden.

A seguir, serão apresentadas as medições feitas no IFAL - Campus Maceió a caráter comparativo da amostra anterior.

Quadro 5 - Cálculo da primeira semana de precipitação acumulada no IFAL

Volume de cada reservatório na primeira medição do IFAL-campus Maceió			
Reservatório	Altura da lâmina d'água (cm)	Área de captação (cm ²)	Volume captado (cm ³)
R1	1,1	40,425	44,468
R2	3,7	40,425	149,573
R3	3	40,425	121,275
R4	3,1	40,425	125,318
R5	3,1	40,425	125,318
R6	3,4	40,425	137,445
R7	3,7	40,425	149,573
R8	2,8	40,425	113,190
R9	1,2	40,425	48,510
R10	3,4	40,425	137,445
R11	3,4	40,425	137,445
R12	1,1	40,425	44,468
R13	1	40,425	40,425
R14	2,5	40,425	101,063
R15	3,3	40,425	133,403
R16	2,7	40,425	109,148
Total:			1718,063

Fonte: Autores (2023).

No dia 16 de junho de 2021, também foi realizada a primeira medição semanal na área de estudo do IFAL com os seguintes resultados:

Área da amostra: 646,8 cm².

Total acumulado de precipitação pelo Cemaden: 128,2 mm.

Total acumulado de precipitação pela amostra: 26,56 mm.

Peso da amostra: 49,54 Newtons (N).

Além disso, foi calculada uma diferença entre o total acumulado de precipitação pela amostra, equivalente a 20,71% do total acumulado pelo Cemaden.

Quadro 6 - Cálculo da segunda semana de precipitação acumulada no IFAL

Volume de cada reservatório na segunda medição do IFAL-campus Maceió			
Reservatório	Altura da lâmina d'água (cm)	Área de captação (cm ²)	Volume captado (cm ³)
R1	1	40,425	40,425
R2	0,7	40,425	28,298
R3	1,1	40,425	44,468
R4	0	40,425	0,000
R5	0,3	40,425	12,128
R6	1,6	40,425	64,680
R7	0,6	40,425	24,255
R8	0	40,425	0,000
R9	0,2	40,425	8,085
R10	3	40,425	121,275
R11	2,1	40,425	84,893
R12	0	40,425	0,000
R13	3,7	40,425	149,573
R14	3,7	40,425	149,573
R15	2,1	40,425	84,893
R16	4,1	40,425	165,743
Total:			978,285

Fonte: Autores (2023).

Em sequência, foi realizada a segunda medição semanal na área de estudo do IFAL com os seguintes resultados:

Área da amostra: 646,8 cm².

Total acumulado de precipitação pelo Cemaden: 46,2 mm.

Total acumulado de precipitação pela amostra: 15,12 mm.

Peso da amostra: 16,58 Newtons (N).

Além disso, foi calculada uma diferença entre o total acumulado de precipitação pela amostra, equivalente a 32,72% do total acumulado pelo Cemaden.

Quadro 7 - Cálculo da terceira semana de precipitação acumulada no IFAL

Volume de cada reservatório na terceira medição do IFAL-campus Maceió			
Reservatório	Altura da lâmina d'água (cm)	Área de captação (cm ²)	Volume captado (cm ³)
R1	0	40,425	0,000
R2	0,3	40,425	12,128
R3	1	40,425	40,425
R4	0,3	40,425	12,128
R5	0,1	40,425	4,043
R6	0,2	40,425	8,085
R7	0,1	40,425	4,043
R8	0	40,425	0,000
R9	0,75	40,425	30,319
R10	0,55	40,425	22,234
R11	0,55	40,425	22,234
R12	0,1	40,425	4,043
R13	0	40,425	0,000
R14	3,5	40,425	141,488
R15	1,75	40,425	70,744
R16	0	40,425	0,000
Total:			371,910

Fonte: Autores (2023).

Em sequência, foi realizada a terceira medição semanal na área de estudo do IFAL com os seguintes resultados:

Área da amostra: 646,8 cm².

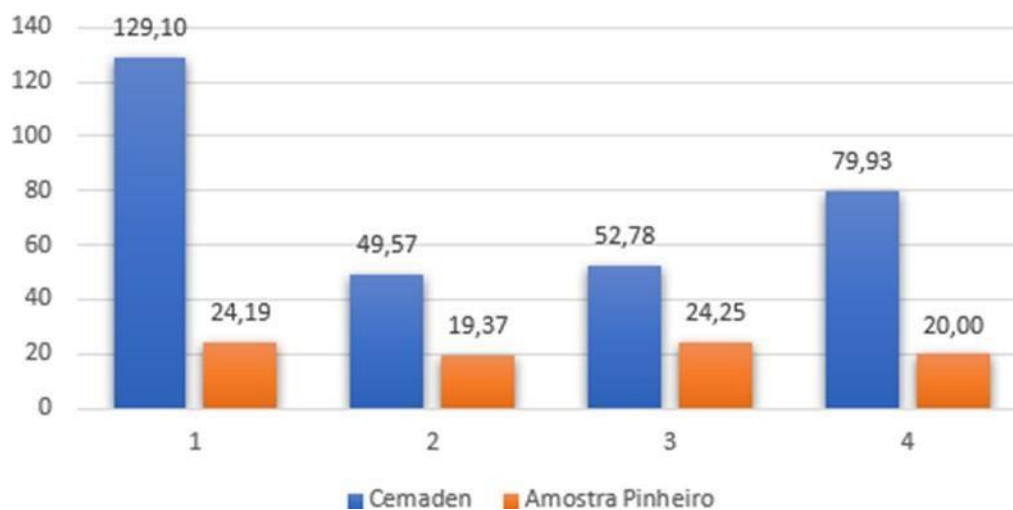
Total acumulado de precipitação pelo Cemaden: 52 mm.

Total acumulado de precipitação pela amostra: 5,75 mm.

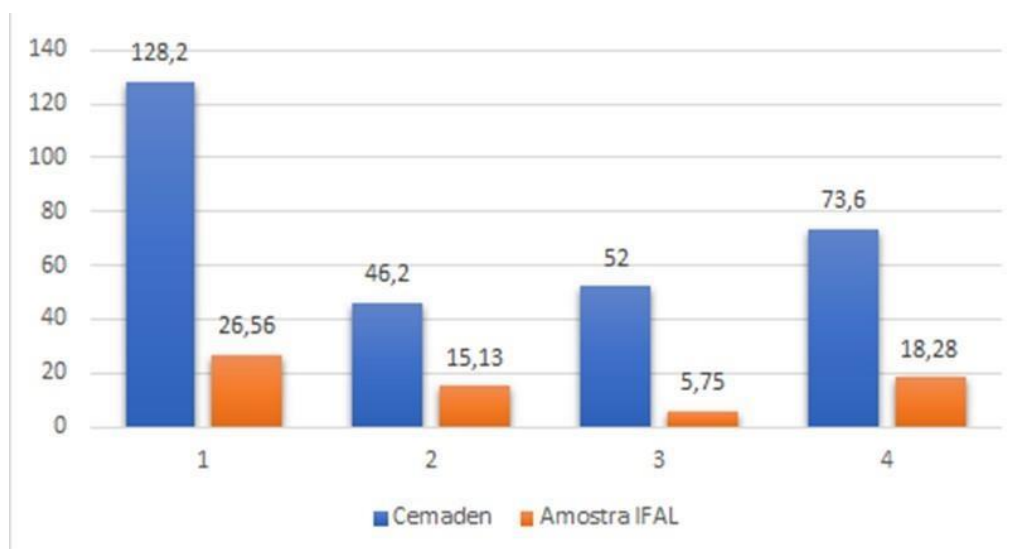
Peso da amostra: 10,62 Newtons (N).

Além disso, foi calculada uma diferença entre o total acumulado de precipitação pela amostra, equivalente a 11,05% do total acumulado pelo Cemaden.

Sendo assim, o resultado das quatro semanas de observação pode ser observado através dos gráficos das Figura 14 e Figura 15 que representam as precipitações acumuladas em cada uma das amostras.

Figura 14 - Precipitação acumulada do bairro do Pinheiro.

Fonte: Autores (2023).

Figura 15 - Precipitação acumulada no IFAL - Campus Maceió.

Fonte: Autores, (2023).

Os dados apresentados nas figuras 14 e 15, referentes à precipitação acumulada em diferentes amostras durante as 4 semanas de junho de 2021, revelam informações importantes sobre a aplicabilidade dos sistemas de captação de água da chuva em duas localidades distintas.

No bairro do Pinheiro, as medições mostraram que a captação de água da chuva teve um aumento gradual ao longo das quatro medições. Inicialmente, na primeira medição, a captação foi de 18,74%; entretanto, houve uma melhoria significativa nas medições subsequentes, atingindo um pico de 45,95% na terceira medição; e, por fim, na última medição, a eficiência diminuiu para 25,02%.

Por outro lado, na amostra do IFAL, os resultados também mostram variações nos resultados da captação de água da chuva. A primeira medição registrou uma captação de 20,72%, que aumentou ligeiramente para 32,75% na segunda semana de medição; no entanto, a terceira medição apresentou uma queda significativa na eficiência, com apenas 11,06% de água da chuva captada; e, por fim, a quarta medição retornou a um nível mais estável, com 24,84% de captação.

Essa variação pode ser influenciada a diversos fatores, como a intensidade das chuvas, a distância entre o posto de medição em relação ao local da amostra e a área de contribuição atrelado à inclinação da cobertura, de acordo com a NBR 10844 (ABNT, 1989). Desse modo, para ser realizada uma avaliação com maior precisão dos resultados, é necessária uma análise do balanço hídrico e os seus respectivos fluxos, como evapotranspiração, escoamento e precipitação. A partir dessas informações, seria possível extrair informações ainda mais precisas a respeito do regime hídrico (FILL et al., 2005).

Portanto, em ambos os casos os resultados destacam a importância de manter e monitorar regularmente os sistemas de captação de água da chuva, ajustando-os de acordo com as condições climáticas e garantindo a conservação adequada dos equipamentos. Ademais, os dados ressaltam o potencial de aproveitamento da água da chuva como uma fonte sustentável de abastecimento de água, o que pode contribuir para a redução do consumo de água e para a gestão mais eficiente dos recursos hídricos.

Por outro lado, os resultados obtidos revelaram uma notável diferença nas respostas do Sistema Azul e Verde nas duas áreas de estudo, no bairro do Pinheiro e no IFAL - Campus Maceió, o que pode ser justificado pelas características específicas de cada localidade.

Ao analisar a terceira semana, por exemplo, observou-se que, apesar de terem experimentado níveis de chuva semelhantes, as captações nos dois locais apresentaram variações significativas. Essa discrepância sugere nos diferentes tipos de telhado entre eles e a diferença na inclinação entre as duas áreas de estudo.

A inclinação diferente nas respostas do Sistema Azul e Verde nas duas áreas destaca a importância de considerar as condições locais específicas ao implementar soluções de gestão de águas pluviais. A adaptação do sistema às características únicas de cada localidade é crucial para otimizar sua eficácia e garantir resultados satisfatórios.

4.3 DIMENSIONAMENTO DOS PESOS SATURADOS DAS AMOSTRAS DE CADA MEDIÇÃO

Por meio da aplicação da equação 2, foram calculados os valores dos pesos verificados ao longo do mês de junho de 2021 na amostra instalada no bairro do Pinheiro (Figura 16 e Quadro 8) e no IFAL - Campus Maceió (Figura 17 e Quadro 9), como pode ser observado nos quadros e figuras a seguir.

Figura 16 - Protótipo instalado no bairro do Pinheiro.



Fonte: Autores (2023).

Quadro 8 - Peso da amostra 1 do bairro do Pinheiro.

Medições	Peso (N)
1ª medição (16/06/2021)	25,51
2ª medição (23/06/2021)	19,62
3ª medição (30/06/2021)	25,50
4ª medição (07/07/2021)	20,58
Total:	91,21

Fonte: Autores (2023).

Figura 17 - Protótipo instalado no IFAL - Campus Maceió.

Fonte: Autores (2023).

Quadro 9 - Peso da amostra 2 do IFAL - Campus Maceió.

Medições	Peso (N)
1ª medição (16/06/2021)	49,54
2ª medição (23/06/2021)	16,58
3ª medição (30/06/2021)	10,62
4ª medição (07/07/2021)	19,75
Total:	96,49

Fonte: Autores (2023).

Realizando o comparativo entre ambos os pesos saturados, percebeu-se que a amostra 2 que foi instalada no IFAL teve um peso total maior de 96,49 N ao longo do mês de junho de 2021, enquanto a amostra da área de estudo pesou 91,21 N, tal fato é devido a diversos fatores como o regime pluviométrico de cada bairro, a inclinação dos telhados bem como a taxa de impermeabilização de cada região.

4.4 COMPARAÇÃO DOS CUSTOS E DOS PESOS ENTRE OS SISTEMAS

Com o detalhamento dos sistemas e o levantamento quantitativo deles, iniciou-se a composição de custos onde foi feita uma análise de cada uma das coberturas por m² a partir dos dados obtidos com a própria empresa Ecotelhado® e no Sistema ORSE, com base nos valores de agosto de 2023.

A partir do Quadro 10, observa-se o custo do m² para construção de cada um dos sistemas analisados envolvendo ainda a composição de materiais e mão de obra. Além disso, para os telhados convencionais, é apresentado os pesos por metro quadrado de telhado conforme a NBR 6120 (ABNT, 2019), na superfície horizontal, incluindo a estrutura de suporte. Já para o telhado verde, foram utilizados como referência dados oriundos de informações fornecidas pela Ecotelhado®.

Quadro 10 - Comparação entre os custos e pesos entre o Sistema azul e verde e os sistemas convencionais.

Sistemas	Custo/m ²	Peso
Sistema Azul e Verde (Ecotelhado®)	R\$ 325,00	75 kg/m ²
Laje pré-moldada com telha cerâmica colonial (00231/ORSE)	R\$ 137,48	85 kg/m ²
Laje pré-moldada com telha de fibrocimento tipo canaleta (00237/ORSE)	R\$ 224,26	35 kg/m ²

Fonte: Autores (2023).

Apesar do Sistema Azul e Verde apresentar um custo um pouco mais elevado, cerca de 42,30% maior quando comparado a uma laje com telha cerâmica colonial e 69% maior quando comparado ao telhado com telha de fibrocimento, este apresenta

diversas vantagens relacionadas à drenagem urbana sustentável, bem como no aspecto ambiental como, por exemplo, a diminuição do escoamento superficial, amortecimento da água oriunda da chuva, conforto térmico, combate ao efeito estufa e melhoramento da qualidade do ar e da água. Além disso, o Sistema Azul e Verde apresenta ainda uma vantagem adicional por possuir uma estrutura mais leve, aproximadamente 13,33% quando comparada aos telhados com telha cerâmica colonial.

4.5 CHUVAS INTENSAS

A Curva de Intensidade-Duração-Frequência (IDF) é uma ferramenta fundamental para o dimensionamento de sistemas de drenagem e controle de enchentes, por permitir a estimativa de intensidade máximas com base na sua duração e frequência de ocorrência quando associadas às características fisiográficas de uma determinada região.

Dessa forma, após aplicação da equação 1 foi encontrado o valor de 50 mm/h para a intensidade média máxima do local estudado, o qual permite entender o regime de precipitação da região e assim traçar um panorama aprofundado de funcionamento do Sistema Azul e Verde para volumes pluviométricos atípicos (forte ou violento) que possam ocorrer ao longo dos anos.

Em comparação ao valor sugerido pela NBR 10844 (ABNT, 1989), justifica-se a diferença da precipitação para a cidade de Maceió/AL, pois os parâmetros empíricos da equação de Denardin e Freitas (1982) adotam uma duração de precipitação de 60 minutos para um período de retorno de 10 anos. Em contrapartida, a NBR 10844 (ABNT, 1989) sugere a duração de 5 minutos, resultando em precipitações de 102 mm/h, 122 mm/h e 174 mm/h, para períodos de retorno de 1, 5 e 25 anos, respectivamente.

4.6 PROJEÇÃO

Realizando uma projeção baseada na maior percentagem da captação pluviométrica no bairro do Pinheiro (45,95%) a qual ocorreu na semana 3 (Figura 14), percebe-se que um telhado do Sistema Azul e Verde para uma área do telhado de 12,62 m², a qual foi posta a amostra 1, apresenta uma capacidade de armazenamento

de 305,37 litros, promovendo uma diminuição considerável no escoamento superficial o que, conseqüentemente, acarretaria na amenização de pontos de alagamentos (Figura 18) e enchentes que empreguem tal solução.

Figura 18 - Alagamento na Rua Miguel Palmeira, no bairro do Pinheiro, em Maceió.



Fonte: G1 AL (2021).

5. CONCLUSÃO

Os resultados alcançados neste estudo confirmam o propósito do Sistema Azul e Verde, que visa atenuar o impacto da água da chuva, prolongando assim a retenção nos reservatórios instalados nos telhados.

Durante a análise das amostras, foi observada a comparação de pesos e custos em relação aos telhados convencionais, incluindo o peso acumulado após a precipitação em ambas as amostras. Nos dois cenários, foram registrados resultados positivos para uma amostra de 646,8 cm², indicando implicações significativas para a implementação completa do sistema em telhados de residências, apartamentos ou edifícios comerciais. Essa implementação contribui para a redução do acúmulo de água nas ruas, melhorando assim o sistema de drenagem urbana. Além disso, uma vantagem adicional do sistema é a promoção da arborização do ambiente urbano (Figura 19), proporcionando a redução da quantidade de impurezas no ar e a transformação de partículas de gás carbônico em gás oxigênio.

Figura 19 - *Sky Garden House* (Singapura).



Fonte: ArchDaily (2011).

Conforme dados do próprio fabricante do Sistema Azul e Verde, sabe-se que o uso de telhados verdes desempenha um papel crucial na redução da temperatura local, proporcionando benefícios significativos na redução da temperatura interna do ambiente que podem variar de 3,6°C a 11,3°C, dependendo das características climáticas específicas da cidade em questão (ECOTELHADO, 2007).

Portanto, a implementação de telhados verdes não apenas contribui para a estética urbana e a sustentabilidade ambiental, mas também desempenha um papel fundamental na promoção do conforto térmico e na redução do impacto do calor nas áreas urbanas.

Por fim, conclui-se ainda que é mais favorável o uso do Sistema Azul e Verde do que o telhado de cobertura convencional, devido às suas utilidades e custo-benefício a longo prazo, proporcionando, dessa forma, algumas vantagens em relação aos telhados convencionais como: proteção do telhado contra a luz solar, diminuição do volume de água quanto ao escoamento superficial, melhorias na qualidade do ar, conforto térmico ao interior da edificação, assim como garantia da eficiência energética, reduzindo gastos com energia e uso de aparelhos condicionadores de ar.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10844: Instalações prediais de águas pluviais**. Rio de Janeiro: ABNT, 1989.

CASTRO, A. S. GOLDENFUM, J. A. **Uso de telhados verdes no controle qualitativo do escoamento superficial urbano**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2008.

Companhia Estadual de Habitação e Obras Públicas - CEHOP. **Sistema de orçamento de obras de sergipe (ORSE)**. Disponível em: <http://orse.cehop.se.gov.br/>. Acesso em: 08 out. 2023.

DENARDIN, J.; FREITAS, P. L. Características fundamentais da chuva no Brasil. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Artigo em Pesquisa Agropecuária Brasileira. Brasília, 1982.

ECOTELHADO. **Soluções para drenagem urbana: conheça o Sistema Verde e Azul Ecotelhado**. Ecotelhado, 2019. Disponível em: <https://ecotelhado.com/blog/solucoes-para-drenagem-urbana-conheca-o-sistema-azul-e-verde-ecotelhado/>. Acesso em: 21 jun. 2023.

ECOTELHADO. **Telhados verdes podem refrescar cidades**. Catherine Brahic, 2007. Disponível em: <https://ecotelhado.com/wp-content/uploads/2015/03/Telhados-Verdes-refrescam-cidades>. Acesso em: 17 nov. 2023.

Folha de São Paulo. **IBGE aponta 8,2 milhões sob risco de enchente ou deslizamento no Brasil**. Folha de São Paulo, 2018. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2018/06/ibge-aponta-82-milhoes-vivendo-em-area-de-risco-no-brasil.shtml>. Acesso em: 24 jun. 2020.

FERREIRA, F. A. B. **Pilha de estéril: dimensionamento e classificação**. Monografia apresentada à Universidade Federal do Pará. Belém, 2016.

FILL, H. D.; SANTOS, I.; FERNANDES, C.; TOCZECK, A.; OLIVEIRA, M. F. **Balanço hídrico da bacia do rio Barigüi-PR**. Raega, v. 9, nov. 2005. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/3447>. Acesso em: 07 out. 2023.

G1 AL. **Parcela do lote 2 do bairro Pinheiro é liberada nesta quarta-feira**. Maceió: G1, 2020. Disponível em: <https://g1.globo.com/al/alagoas/noticia/2020/01/08/parcela-do-lote-2-do-bairro-pinheiro-e-liberada-nesta-quarta-feira.ghtml>. Acesso em: 27 out. 2023.

G1 AL. **Alagamentos em dia de chuva forte em Alagoas**. Maceió: G1, 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/al/alagoas/noticia/2021/04/15/imagens-mostram-alagamentos-em-ruas-e-avenidas-apos-chuvas-em-alagoas.ghtml>. Acesso em: 07 out. 2023.

KOBAYASHI, F. Y.; FAGGION, F. H. M.; BOSCO, L. M. D. CHIRINÉA, M. L. B. **Drenagem urbanasustentável**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008.

MARY, W., SILVA, L. P. da, MORAES, M. F. de, ARRUDA, J., OLIVEIRA, E. W. N. Telhados Verdes: Ferramenta potencial para geração de renda em áreas de XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos 16 Fragilidade Social. **ENEPEA - Encontro Nacional de Ensino de Paisagismo nas Escolas de Arquitetura e Urbanismo no Brasil**. Curitiba, 2008.

PREFEITURA DE MACEIÓ. **Código de urbanismo e edificações do município de Maceió**. Lei Municipal Nº 5.593, de 08 de fevereiro de 2007. Publicado no Diário Oficial do Município de Maceió de 09 de fevereiro de 2007. Maceió, 2007.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM), **Estudos sobre a instabilidade do terreno nos bairros Pinheiro, Mutange e Bebedouro, Maceió (AL)**. Relatório síntese dos resultados nº 1. Brasília, 2019.

Silva, M. K. da. **Modelo para pré-dimensionamento de bacias de retenção para controle da poluição difusa das águas pluviais no município de Porto Alegre**. Dissertação de Pós-graduação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2009.

Sky Garden House / Guz Architects. **ArchDaily**. Singapore: Guz Architects, 2011. Disponível em: <https://www.archdaily.com/112766/sky-garden-house-guz-architects>. Acesso em: 04 out. 2023.