



CENTRO UNIVERSITÁRIO BRASILEIRO - UNIBRA
CURSO DE GRADUAÇÃO BACHARELADO EM
ENGENHARIA CIVIL

JOÃO BARATA DE MELO JÚNIOR
MARIA BEATRIZ DE MOURA DA SILVA
MARÍLIA ADRIELLY SOUZA LAGE

**TELHADOS VERDE EXPERIMENTAIS DE BAIXO CUSTO: ANÁLISE DE CARGA
E CAPACIDADE DE RETENÇÃO**

RECIFE/2023

JOÃO BARATA DE MELO JÚNIOR
MARIA BEATRIZ DE MOURA DA SILVA
MARÍLIA ADRIELLY SOUZA LAGE

**TELHADOS VERDE EXPERIMENTAIS DE BAIXO CUSTO: ANÁLISE DE CARGA
E CAPACIDADE DE RETENÇÃO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Disciplina TCC II do Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Brasileiro - UNIBRA, como requisito para obtenção do título de bacharelado em Engenharia Civil.

Professor Orientador: Dr. Janilson Alves Ferreira

Professor Co-orientador: Me. Francisco Marcelo Maia

RECIFE/2023

Ficha catalográfica elaborada pela
bibliotecária: Dayane Apolinário, CRB4- 2338/ O.

M528t Melo Júnior, João Barata de.
TELHADOS VERDES EXPERIMENTAIS DE BAIXO CUSTO: análise de
carga e capacidade de retenção/ João Barata de Melo Júnior; Maria Beatriz
de Moura da Silva; Marília Adrielly Souza Lage. - Recife: O Autor, 2023.
42 p.

Orientador(a): Dr. Janilson Alves Ferreira.

Coorientador(a): Me. Francisco Marcelo Maia.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Centro Universitário
Brasileiro - UNIBRA. Bacharelado em Engenharia Civil, 2023.

Inclui Referências.

1. Sustentabilidade Hídrica. 2. Custo-benefício. 3. Modelos
experimentais. 4. Crônica. 5. MTC. I. Silva, Maria Beatriz de Moura da. II.
Lage, Marília Adrielly Souza. III. Centro Universitário Brasileiro. -
UNIBRA. IV. Título.

CDU: 624

TELHADOS VERDE EXPERIMENTAIS DE BAIXO CUSTO: ANÁLISE DE CARGA E CAPACIDADE DE RETENÇÃO

João Barata de Melo Júnior
Maria Beatriz de Moura da Silva
Marília Adrielly Souza Lage

Resumo: Telhado Verde é caracterizado como um sistema construtivo que consiste no cultivo e crescimento de vegetação sobre uma superfície inclinada ou plana impermeabilizada utilizada como cobertura. Os dois tipos mais utilizados que são: o intensivo ou semi-intensivo que comporta plantas de maior porte com, no mínimo, 20 cm de espessura da camada de substrato, e o extensivo que se adapta com menor espessura de substrato associado a plantas gramíneas e de menores raízes, localizadas em áreas sem deslocamento de usuários. Tendo em vista o crescimento e aprimoramento do uso de Telhados Verdes como técnica utilizada na retenção do escoamento de pico de grandes chuvas em cidades com problemas com alagamentos, o presente trabalho consiste em avaliar o desempenho de retenção de quatro modelos experimentais, utilizando configurações de materiais leves e ecológicos na sua composição, para desenvolver uma solução prática e de menor custo. Com isso, busca-se apresentar o melhor custo benefício de quatro sistemas de telhados verdes experimentais (TEV) sobre placa cimentícia, painel ultra board, telhado convencional - com blocos de eps e bloco cerâmico, fazendo o uso da lei e melhorando a sustentabilidade e o sistema de escoamento das vias. O telhado verde experimental que apresentou o melhor desempenho quanto ao custo e capacidade de retenção alcançou uma capacidade de retenção de aproximadamente 26,13 litros de água, levando ao entendimento da importância dessa tecnologia para os centros urbanos.

Palavras-chave: Sustentabilidade Hídrica, Custo-benefício, Modelos Experimentais.

LOW-COST EXPERIMENTAL GREEN ROOFS: LOAD ANALYSIS RETAINING CAPACITY

ABSTRACT: Green Roof is characterized as a construction system that consists of the cultivation and growth of vegetation on a waterproof, inclined or flat surface, used as a roof. The two most used types are: intensive or semi-intensive, which accommodates larger plants with at least a 20 cm thick substrate layer, and extensive, which adapts to a smaller substrate thickness associated with grassy plants with smaller roots, located in areas without user travel. In view of the growth and improvement in the use of Green Roofs as a technique used to retain peak runoff from intense rainfall in cities with flooding problems, the present work consists of evaluating the retention performance of four experimental models, using configurations of materials. light and ecological in its composition, to develop a practical and lower-cost solution. With this, we seek to present the best cost-benefit of four experimental green roof systems (TEV) in cement board, ultra board panel, conventional roof - with eps blocks and ceramic blocks, making use of legislation and improving sustainability and the road system. of drainage. The experimental green roof that presented the best performance in terms of cost and retention capacity achieved a retention capacity of approximately 26.13 liters of water, leading to an understanding of the importance of this technology for urban centers.

Keywords: Water Sustainability, Cost-benefit, Experimental Models.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	07
2. OBJETIVOS	09
2.1 Objetivo Geral	09
2.2 Objetivos Específicos	09
3. REFERENCIAL TEÓRICO	10
3.1 Origem do Telhado Verde	10
3.2 Vantagens	12
3.3 Desvantagens	13
3.4 Tipos de Telhado Verde	14
3.4.1 Extensivo	15
3.4.2 Semi Intensivo	16
3.4.3 Intensivo	17
3.5 Processo de Construção	18
3.6 Manutenção	19
3.7 Custo	20
4. METODOLOGIA	21
5. RESULTADOS	25
5.1 Montagem e Peso Próprio dos modelos	25
5.2 Orçamento.....	30
5.3 Retenção de água	40
7. CONCLUSÃO	44
8. REFERÊNCIAS	45

1. INTRODUÇÃO

Conforme o crescimento da população brasileira existe um aumento nas construções urbanas e também no consumo desenfreado de embalagens plásticas, o aumento da poluição, devido ao descarte incorreto dos resíduos plásticos, que em seu processo de decomposição liberam gases que contribuem para as mudanças climáticas e o aquecimento global. Sendo necessário o estímulo do uso de novas tecnologias para a construção civil, com a utilização de materiais mais sustentáveis.

Outro problema constante que está ligado ao crescimento das cidades é a insuficiência da infraestrutura e a alta impermeabilização dos pavimentos asfálticos sobre os solos, fazendo com que as águas das chuvas não consigam infiltrar, causando a dificuldade no escoamento das chuvas e retardando o fluxo de água nas sarjetas (SANTOS, Pedro Tyaquiã da Silva *et al.*, 2013).

Na maioria das cidades ainda predomina o sistema de drenagem urbano do tipo higienista, visando uma hidráulica mais eficiente, as redes de drenagem são projetadas com o objetivo de recolher as águas pluviais de determinada região e conduzi-las até o seu destino final no menor tempo possível. Causando assim uma sobrecarga no sistema de drenagem urbano e aumentando a chance de alagamentos à jusante, acarretando prejuízos ao patrimônio público e privado. Visando prevenir esse problema, métodos para o aumento da permeabilidade dos solos, ou que contribuam na contenção ou armazenamento da água da chuva podem reduzir as vazões de pico e minimizar os estragos ocasionados pelo mesmo. Um dos métodos que tem sido utilizado com essa finalidade é o telhado sustentável ou telhados verdes (ALMEIDA, Isis de Castro, 2020).

O telhado verde é uma estrutura de cobertura que associa o uso da vegetação sobre edificações com drenagem e impermeabilização adequada, agindo positivamente na retenção de poeira e substâncias suspensas no ar; na climatização do ambiente interior e exterior ao telhado, proporcionado pela evapotranspiração das plantas e diminuição na elevação da umidade relativa do ar nas proximidades do telhado, contribuindo na saúde da população residente no local (PALLA *et al.*, 2008).

Os telhados verdes, que ainda é uma tecnologia nova no Brasil e está começando a expandir com mais frequência nos últimos anos, pode contribuir para a redução do escoamento de pico aumentando a área de interceptação vegetal nos ambientes urbanos. Além disso, algumas pesquisas têm mostrado que a adoção de garrafas pet na sua composição, para a execução da geogrelha em formato de colméia, pode contribuir para redução dos custos e aumento da sustentabilidade dessa tecnologia (SAVI, Adriane Cordoni, 2012; SANTOS, Pedro Tyaquiçã da Silva *et al.*, 2013).

Faz-se necessário a criação de soluções para edificações existentes e uma mudança nos conceitos para projetar o uso de espaços sustentáveis. Para que isso ocorra é necessário oferecer à população sistemas de telhado verde que tenham um custo benefício adaptável em comparação a um sistema de telhado convencional. A partir deste cenário, o presente trabalho tem como justificativas apresentar novos modelos de telhados verdes que podem contribuir para o conforto térmico, isolamento acústico, redução das ilhas de calor e retenção do volume de escoamento da água das chuvas, com baixo custo, para os ambientes urbanos.

2. OBJETIVOS

Esse trabalho tem por finalidade, apresentar uma proposta de implantação de um sistema que propõe métodos de utilização da cobertura vegetal, visando soluções práticas através de modelos com a reutilização de materiais recicláveis que frequentemente são descartados de maneira incorreta no ambiente. Avaliando uma proposta acessível para as edificações de pequeno porte, contendo até 4 andares de acordo com a lei 18112/2015 do telhado verde do Recife. Com o intuito de reduzir os custos em energia e proporcionando diversos benefícios à população.

2.1 Objetivo geral

Analisar o desempenho de modelos experimentais de Telhados Verdes construídos com materiais de baixo custo ou recicláveis.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar materiais alternativos de baixo custo e baixo peso para a composição de modelos de telhados verdes alternativos
- Avaliar o custo de produção, instalação e manutenção dos modelos experimentais de telhados verdes propostos
- Analisar a capacidade de retenção de água dos modelos experimentais propostos

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Origem do Telhado verde

De acordo com CASTRO E GOLDENFUM (2010), os telhados verdes são estruturas que se caracterizam pela aplicação de cobertura vegetal nas edificações. Consistem basicamente em uma camada da vegetação, uma camada de substrato (onde a água é retida e a vegetação é escorada) e uma camada de drenagem responsável pela retirada da água adicional.

Teve seu início na construção civil desde o século VI a.C. na antiga Babilônia. Porém está sendo utilizado de modo mais moderno desde o século XIX, e em 1920 se tornou um conceito arquitetônico, alguns países começaram a aderir esse sistema, para prevenção de incêndios. Sendo a Alemanha um deles, que trouxe a visibilidade do telhado verde para o mundo, mostrando sua devida importância. No Brasil, o primeiro telhado verde foi implantado no Palácio Gustavo Capanema – sendo atualmente a sede do Ministério da Educação –, no Rio de Janeiro em 1947, pelo arquiteto Lúcio Costa (CANERO e REDONDO, 2010).

Figura 1: Representação dos jardins suspensos da Babilônia, como imaginados pelo artista Martin Heemskerck



Fonte: Wikipédia (2012)

Figura 2: Ministério da Educação e Cultura - Rio de Janeiro



Fonte: Monolitho (2012)

Figura 3: Ministério da Educação e Cultura - Rio de Janeiro



Fonte: Flickr (2012)

Esta prática é pouco utilizada, mesmo levando em conta as suas vantagens, e um dos principais motivos é a falta de conhecimento da população. Existem pessoas que não sabem o que é uma cobertura vegetal, outras até sabem, mas nunca viram pessoalmente, tem também aqueles que sabem e já viram, mas ignoram por achar que é difícil executar a sua manutenção (PENDIUK, Fábio; MOISÉS, Izabela Cristina; PEREIRA, Matheus Pedron, 2017).

3.2 Vantagens

Em termos de benefícios dos Telhados Verdes podem ser encontrados na literatura diversos exemplos de aplicação, uma das principais vantagens é o conforto térmico propiciado pelo seu uso. Os telhados verdes protegem contra altas temperaturas no verão e ajudam a manter a temperatura interna no inverno, através da redução de transferência de calor, gerando assim uma economia que poderia ser gasta em condicionamento artificial se comparado às coberturas convencionais (ALBERTO, Eduardo Zarzur et al., 2012).

Outra vantagem importante é a aplicação de Telhados verdes para melhorar o conforto acústico ambiente: a vegetação do telhado absorve e isola os ruídos urbanos que podem prejudicar a saúde da população urbana (ALBERTO, Eduardo Zarzur et al., 2012).

O uso de Telhados Verdes para a redução de ilhas de calor também tem sido encontrado na literatura como uma importante vantagem. A capacidade das superfícies das coberturas de dissipar calor através de radiação infravermelha longa é definida pela sua emissividade; valores mais altos correspondem a temperaturas de superfícies mais baixas e maior potencial de redução das ilhas de calor urbanas (ALBERTO, Eduardo Zarzur et al., 2012).

O espaço verde e de lazer, propiciado pelo uso dos Telhados Verdes no paisagismo urbano pode ser um diferencial importante para compradores ou locatários, melhorando a qualidade de vida dos ocupantes e pode proporcionar uma estética mais agradável e integrada à paisagem urbana, contribuindo para a harmonização entre a construção e o meio ambiente (ALBERTO, Eduardo Zarzur et al., 2012).

A utilização na agricultura urbana com a produção de alimentos sobre telhados é tecnicamente possível, viável economicamente para o consumo familiar e ajudará a economizar toneladas de combustível no transporte de alimentos (ALBERTO, Eduardo Zarzur et al., 2012).

O Reaproveitamento de água: para fins não potáveis como descargas, regar as plantas e etc, também é considerada uma vantagem que pode estar associada ao uso dos Telhados Verdes (ALBERTO, Eduardo Zarzur et al., 2012).

O Controle de enchentes através da retenção da água da chuva e a capacidade da vegetação de auxiliar na drenagem, contribuem para a redução da demanda sobre os sistemas de drenagem urbana e também do sistema de esgoto, uma vez que a vegetação ainda filtra a poluição dessas águas, e uma parte é evaporada, reduzindo o volume total da enxurrada e o excesso que vão para as ruas (ALBERTO, Eduardo Zarzur et al., 2012)

Com o aumento da biodiversidade, a vegetação atrai pássaros, borboletas entre outros, fazendo com que tenha maior valorização do imóvel, esse tipo de projeto é considerado inovador e sustentável, o que pode aumentar o valor e ser mais atrativo para o imóvel no mercado e gerando a diminuição da poluição onde a vegetação absorve as substâncias tóxicas e libera oxigênio na atmosfera (ALBERTO, Eduardo Zarzur et al., 2012).

3.3 Desvantagens

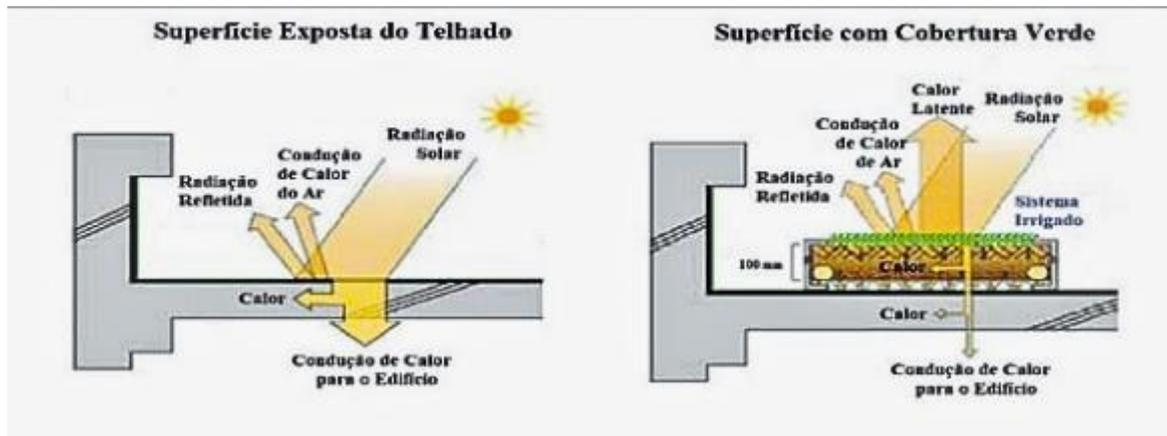
Os Telhados Verdes apesar de serem uma tecnologia inovadores e de excelentes respostas aos problemas urbanos com o clima, ainda apresenta limitações e dificuldades quanto ao seu processo de construção, custo e aplicação. O Custo da mão de obra pode ser uma desvantagem para essa técnica, pela necessidade de mão de obra capacitada, fazendo o investimento inicial ser maior que o de um telhado convencional (ALBERTO, Eduardo Zarzur et al., 2012)

A adaptação com o ciclo de manutenção, pode ser outro limitante ao uso de Telhados Verdes, pois para que sua estrutura se mantenha saudável e com uma boa aparência, periodicamente o telhado verde precisará passar por manutenções (ALBERTO, Eduardo Zarzur et al., 2012).

Há também a preocupação quanto ao processo de instalação dos Telhados, pois caso o sistema não seja aplicado de forma correta, pode gerar infiltração de água e umidade no edifício (ALBERTO, Eduardo Zarzur et al., 2012).

Para que o telhado verde funcione corretamente, é de extrema importância que o mesmo seja projetado e construído de acordo com as características técnicas adequadas, para garantir que seja resistente e durável, e que a vegetação receba os cuidados necessários para se desenvolver apropriadamente. Por isso, é importante que seja realizado o projeto e a sua construção com profissionais capacitados (ANVERSA, Giseli Barbosa, 2020).

Figura 4: Comparação da energia solar absorvida sobre as superfícies



Fonte: Silva, Siqueira e Aragão, 2016

3.4 Tipos de Telhado Verde

Os telhados verdes estão disponíveis em três tipos, sendo: extensivo ou intensivo e semi-intensivo. Ambas oferecem benefícios, antes devemos decidir qual a cobertura verde desejada, o custo mais correspondente com o desejado, pois há diferenças no custo da manutenção. Alguns fatores devem ser observados em sua implantação, como a sua função, o tipo de vegetação que será colocada, pois algumas podem apresentar infestações de pragas, fazendo com que prejudique na hora de executar a manutenção, e também qual o conceito da edificação em que o ecotelhado está sendo construído (ARQUITETURA E SUSTENTABILIDADE, 2012).

Figura 5: Camadas dos tipos de telhado verde



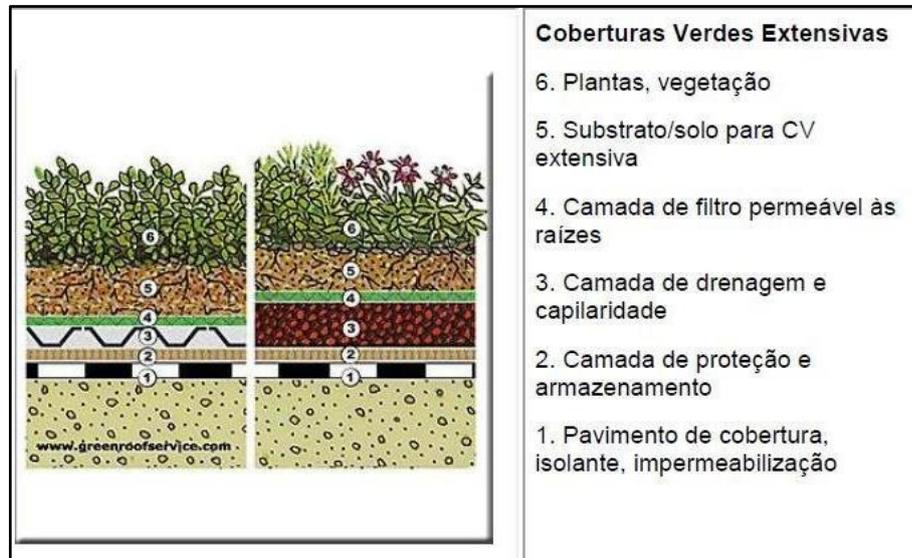
Fonte: lowastormwater (2018, p.3)

3.4.1 Extensivos

As coberturas extensivas são indicadas para áreas grandes que tenham um desenvolvimento espontâneo. Além da necessidade de um volume de água menor, são de baixo custo para manutenção devido ao crescimento lento da vegetação, por serem compostas por camadas finas, gera menor sobrecarga sobre a estrutura, e também é a opção mais leve para o projeto. Sendo composto por uma pequena camada de substrato entre 7,5 cm e 12 cm, recomendado para plantas com raízes menores e com espessura entre 10 cm ou menos, fazendo com que não suporte um plantio mais adensado. Tendo como suculentas, ervas do campo e alguns tipos de gramíneas, a vegetação adequada para esse sistema, por ter uma boa resistência à seca. Após a aplicação da vegetação, por não necessitar de irrigação, a manutenção tende a se limitar a uma ou duas inspeções por ano (HENEINE, M. C. A. D. S., 2008).

De certa forma o extensivo, que é mais leve e econômico devido à camada fina de substrato, resultando em menos carga para a estrutura e custos reduzidos de manutenção em comparação com os telhados verdes intensivos (HENEINE, M. C. A. D. S., 2008).

Figura 6 - Camadas de telhado verde extensivo.

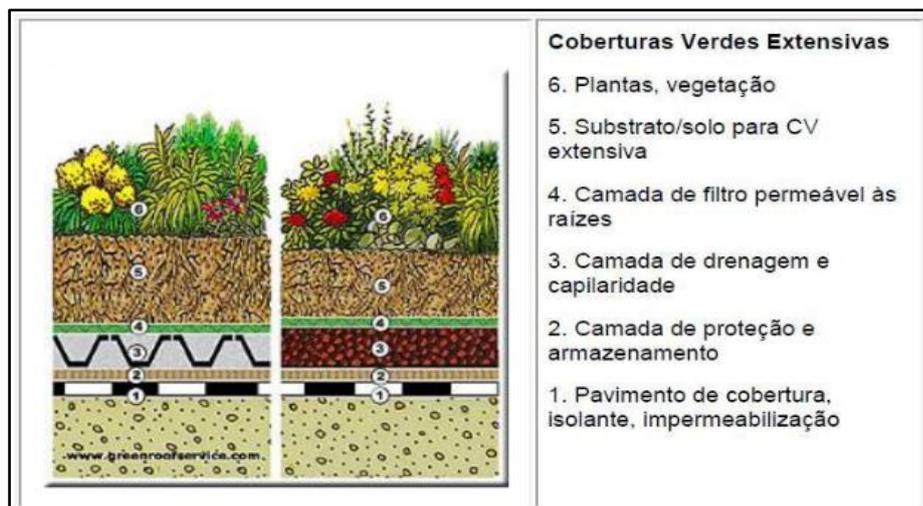


Fonte: Serviço Greenroof (2003).

3.4.2 *Semi Intensivo*

São classificados com um tipo intermediário da cobertura, permitindo uma vegetação de pequeno e médio porte, contendo uma camada de substrato maior que o extensivo, necessitando de algumas manutenções mais periódicas, além de pesar entre 120 kg/m² e 200 kg/m² e altura de 12 cm a 25 cm de estrutura do substrato (DA SILVA, A. C. et al., 2020).

Figura 7 - Camadas de telhado verde semi-intensivo.



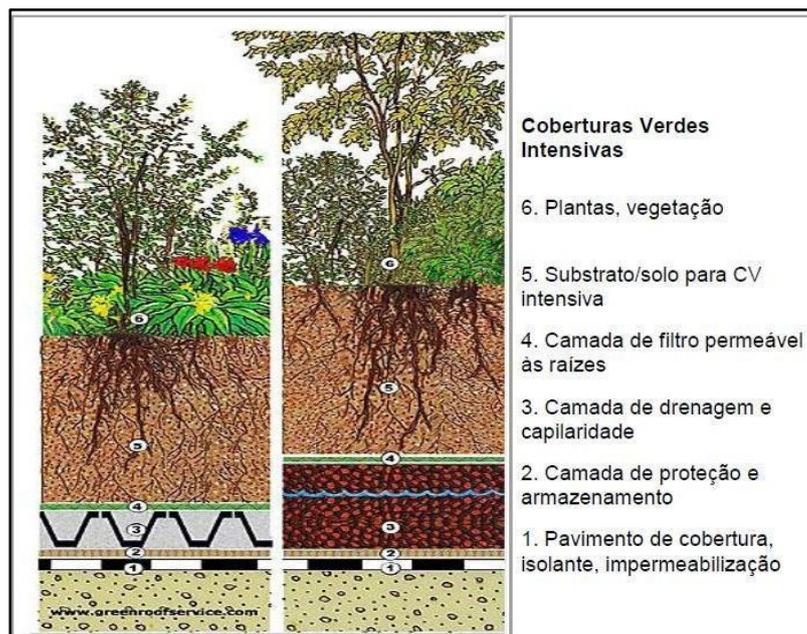
Fonte: Serviço Greenroof (2003).

3.4.3 Intensivo

São mais elaborados, podendo acomodar grandes vegetações e mais exuberantes, incluindo árvores, gramado cheio, arbustos e etc. Com a avaliação da estrutura, pode ser criado um jardim com acesso de circulação de pessoas, para fins esportivos, recreativos e lazer (CORRENT, Luan; LEHMANN, Priscila. 2016).

Esse tipo de sistema requer uma profundidade maior do substrato entre 15 cm a 90 cm, de acordo com a necessidade da planta, normalmente de 15 a 21 cm no mínimo, fazendo com que necessite de uma manutenção em um menor período de tempo, em razão a maior produção de matéria orgânica, ao maior crescimento vegetal e maior diversidade de espécies, sendo semelhante a manutenção de um parque ou jardim grande. Requerem mais cuidados, tal como o sistema de irrigação por suportar vegetação de grande porte. Esse tipo de cobertura costuma ser mais cara por conter um maior peso adicional, sendo exigida uma estrutura considerável, é somente viável em edificações de coberturas sem inclinação. Neste sistema de vegetação, o projeto de telhado verde também protege a cobertura da radiação ultravioleta e aumento da vida útil da mesma (CORRENT, Luan; LEHMANN, Priscila. 2016).

Figura 8 - Camadas de telhado verde intensivo.



Fonte: Serviço Greenroof (2003)

Tabela 01 - Características dos tipos de telhado verde

Itens	Telhado Verde Extensivo	Telhado Verde Semi-intensivo	Telhado Verde Intensivo
Manutenção	Baixo	Periodicamente	Alto
Irrigação	Não	Periodicamente	Regurlarmente
Plantas	Sedum, ervas e gramíneas	Gramas, ervas e arbustos	Gramado, arbustos e árvores
Altura do Sistema	60 - 200 mm	120 - 250 mm	150 - 400 mm
Peso	60 - 150 kg/m ²	120 - 200 kg/m ²	180 - 500 kg/m ²
Custos	Baixo	Meio	Alto
Uso	Camada de Proteção Ecológica	Projetado para ser um Telhado Verde	Parque igual a um jardim

Fonte: www.igra-world.com

3.5 Processos de Construção

Quanto ao processo de construção dos telhados verdes, encontra-se na literatura uma ordem consagrada para sua montagem que consiste, de baixo para cima, da membrana impermeabilizante, da camada de drenagem, substrato e da camada de vegetação, com algumas camadas de proteção entre as anteriores. As camadas e suas funções são descritas a seguir.

A Membrana de impermeabilização serve para impedir a passagem da água, protegendo a construção de infiltrações (HENEINE, M. C. A. D. S., 2008). Os materiais mais comuns utilizados nessa camada são os revestimentos asfálticos ou plastificantes.

A camada drenante serve para escoar o excesso de água para os drenos, evitando o alagamento sobre a camada de impermeabilização da construção (HENEINE, M. C. A. D. S., 2008). Geralmente são utilizados materiais de maior granulometria, como a brita ou pedregulhos.

O substrato, contém nutrientes para o crescimento da vegetação, serve também como fixação das plantas e auxilia no processo de drenagem (HENEINE, M. C. A. D. S., 2008). Muitos tipos de substratos são encontrados na literatura, sua escolha depende diretamente do tipo de vegetação com que se está trabalhando.

A vegetação é a camada escolhida de acordo com critérios como a resistência da estrutura, peso, manutenção e estética (HENEINE, M. C. A. D. S., 2008).

As camadas de cobertura impedem a danificação das camadas abaixo dela (CORRENT, Luan; LEHMANN, Priscila. 2016). Podem ser do tipo de proteção, quando controlam o crescimento das raízes, evitando que danifique a estrutura (HENEINE, M. C. A. D. S., 2008), ou do tipo filtrante, quando servem para separar as camadas de coberturas e as camadas drenantes, fazendo com que evite o entupimento dos drenos (HENEINE, M. C. A. D. S., 2008). Existem diversos tipos de camadas auxiliares, a mais comum utilizada para drenagem é a manta do tipo Bidim.

3.6 Manutenção

Segundo Heneine (2008), a manutenção efetiva do telhado verde ao longo do tempo envolve três estágios: instalação, desenvolvimento e constante. Durante a instalação, é crucial cuidar da adaptação das plantas e prevenir o surgimento de ervas daninhas, exigindo uma irrigação constante, especialmente em períodos secos.

O desenvolvimento da manutenção consiste em manter o suporte à vegetação com menor intensidade. Após o desenvolvimento, a manutenção contínua requer irrigação regular, remoção de ervas daninha para proteger a plantação e controle de pragas, além de serviços como aparar o perímetro da vegetação (DA COSTA SILVA, N., 2011).

O eco telhado por sua vez tem um sistema a longo prazo que é mais vantajoso, um telhado convencional tem em média uma duração de 20 anos sem manutenção, já a cobertura vegetal tem uma duração de em média 40 anos dependendo dos cuidados específicos e executados periodicamente, podendo assim durar o dobro e também proteger a laje suportando as diferenças de temperatura e insolação (BONI, Filipe. 2015).

Segundo Araújo (2007), dá-se preferência a plantas locais mais resistentes à chuva e à estiagem e que exijam pouca rega e poda, facilitando assim a manutenção. Dependendo do tipo de sistema aplicado, a mesma deve ser feita uma ou duas vezes ao ano com a visita de um profissional, para garantir que espécies indesejadas de plantas não estejam crescendo na cobertura verde. Além disso, caso

a vegetação do Telhado Verde não esteja saudável, o tratamento pode ser feito com uma pequena quantidade de fertilizante com composto orgânico, encontrado em floriculturas e supermercados.

3.7 Custo

Em relação ao custo pode-se dizer que é necessário um investimento inicial maior, podendo chegar até o dobro do valor de um telhado convencional, a depender do tipo de eco telhado e de vegetação, sendo esse um dos motivos de ser pouco utilizado no Brasil (SAVI, Adriane Cordoni, 2012).

Segundo Medeiros e Almeida (2021), após questionário com profissionais, foi constatado que as maiores barreiras para implementação de um telhado verde são mão de obra e materiais, por falta de profissionais capacitados e também de conhecimento da população. Apesar da criação da lei que visa a implementação de tetos verdes no Recife, ainda há poucos casos de edificações que adotaram os telhados verdes; Isso ocorre, talvez, porque a lei por si só não é suficiente para motivar a concepção de edificações com teto verde e que torne necessário uma maior divulgação, educação ambiental nos meios de comunicação e incentivo fiscal por parte do governo.

4. METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada na cidade do Recife, localizada no estado de Pernambuco, que possui um clima tropical quente e úmido, com temperatura média anual é de 26,00°C. Além disso, a cidade apresenta uma pluviosidade média 176,263 mm por ano (APAC, 2023).

Figura 09 – Localização de Pernambuco no Brasil



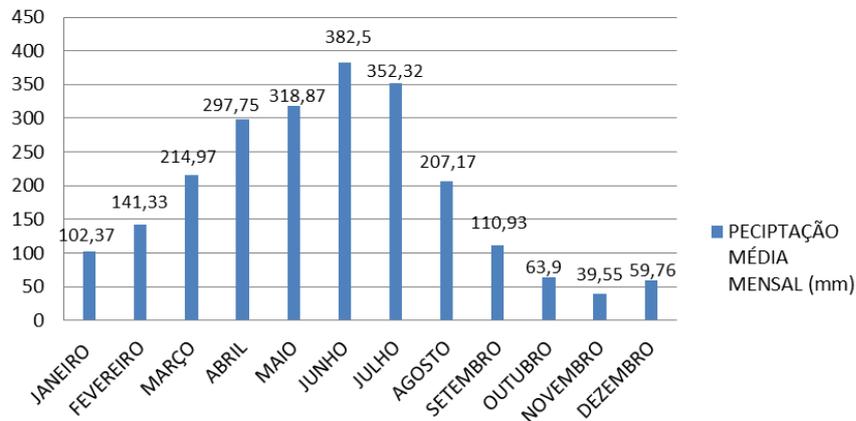
Fonte: Cidade Brasil (2023)

Figura 10 – Localização de Recife em Pernambuco



Fonte: Wikipédia (2023)

Gráfico 01 - Precipitação média mensal de Recife - PE.

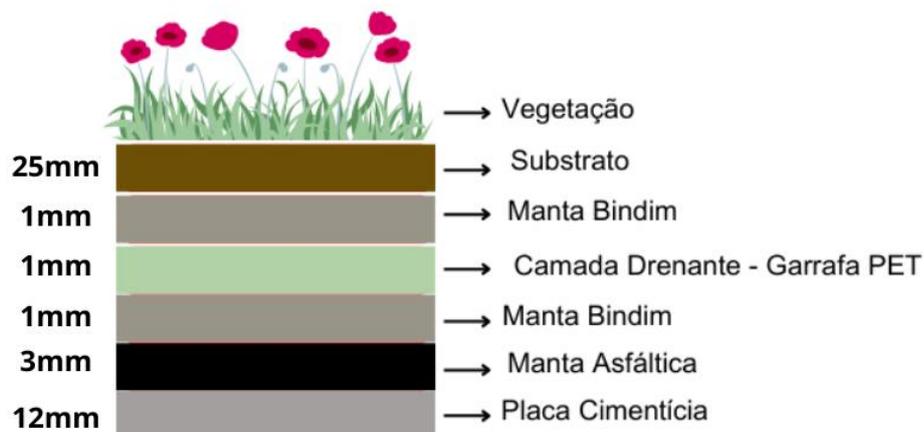


Fonte: APAC (2023).

A metodologia deste trabalho envolve a construção e comparação de quatro modelos experimentais de telhado verde que podem ser utilizados como alternativas a cobertura convencional do tipo laje.

O Telhado Verde Experimental 01 (TVE01) foi montado com placa cimentícia de sustentação, manta asfáltica para impermeabilização, fita reciclável de garrafa pet como camada de drenagem, manta geotêxtil Bidim para filtração e separação das camadas, substrato e vegetação *Portulaca grandiflora* (Onze-horas), conforme Figura 11.

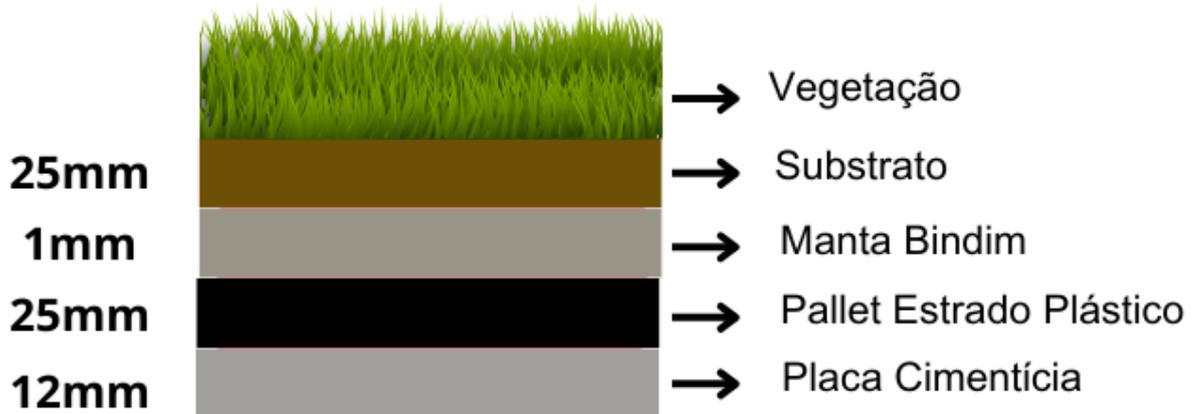
Figura 11 – Telhado Verde Experimental 01 - TVE01



Fonte: Autores (2023).

O Telhado Verde Experimental 02 (TVE02) foi montado com placa cimentícia de sustentação, com Pallette estrado de plástico para suporte e elevação, manta geotêxtil Bidim para filtração e separação das camadas, substrato e vegetação do tipo grama esmeralda.

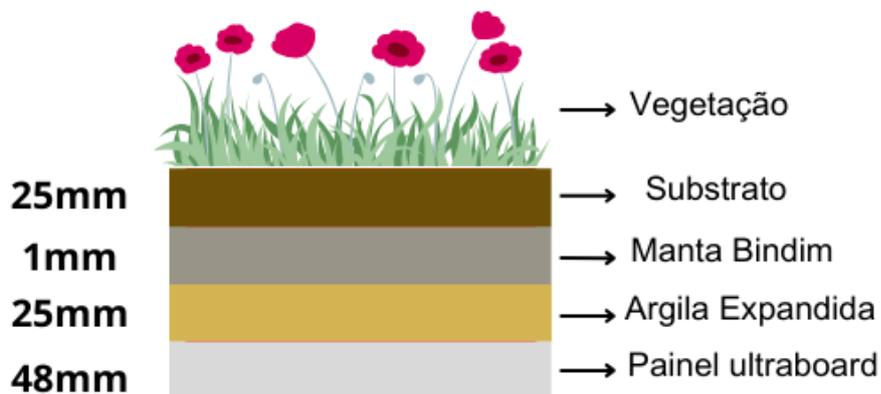
Figura 12 – Telhado Verde Experimental 02 - TVE02



Fonte: Autores (2023).

O Telhado Verde Experimental 03 (TVE03) foi montado sobre painel ultra board na camada de sustentação, argila expandida como camada de drenagem, manta geotêxtil para filtração e separação das camadas, substrato e vegetação *Portulaca grandiflora* (Onze-horas)

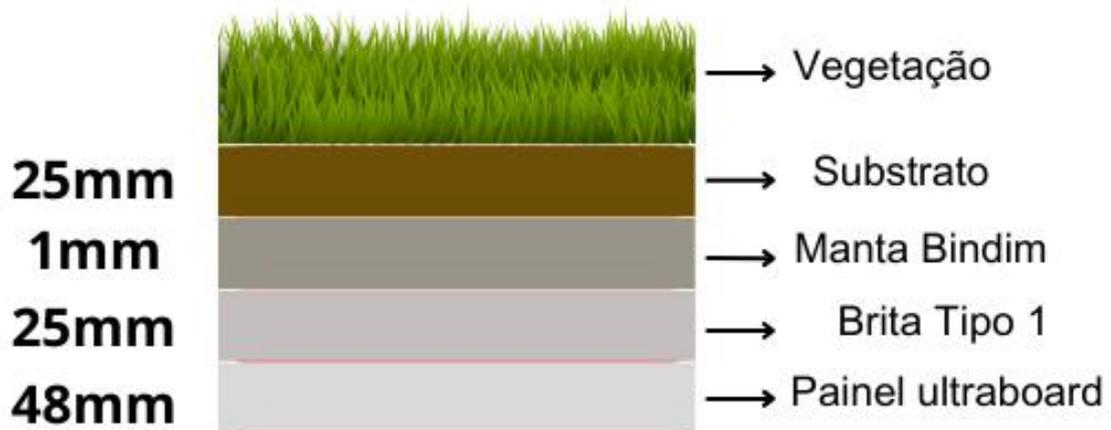
Figura 13 – Telhado Verde Experimental 03 - TVE03



Fonte: Autores (2023).

O Telhado Verde Experimental 04 (TVE04) também foi montado sobre painel ultra board na camada de sustentação, assim como o TVE03, Brita de graduação 01 como camada de drenagem, manta geotêxtil para filtração e separação das camadas, substrato e vegetação do tipo grama esmeralda.

Figura 14 – Telhado Verde Experimental 04 - TVE04



Fonte: Autores (2023).

Os modelos foram comparados considerando o peso próprio, com a coleta de cada material e distribuição conforme suas camadas. Para as placas cimentícias, o peso foi obtido a partir das especificações técnicas.

O custo de produção foi calculado utilizando tabelas homologadas para licitação, com composição própria considerando o tempo de cada etapa, com base em informações de tabelas como ORSE e SINAPI.

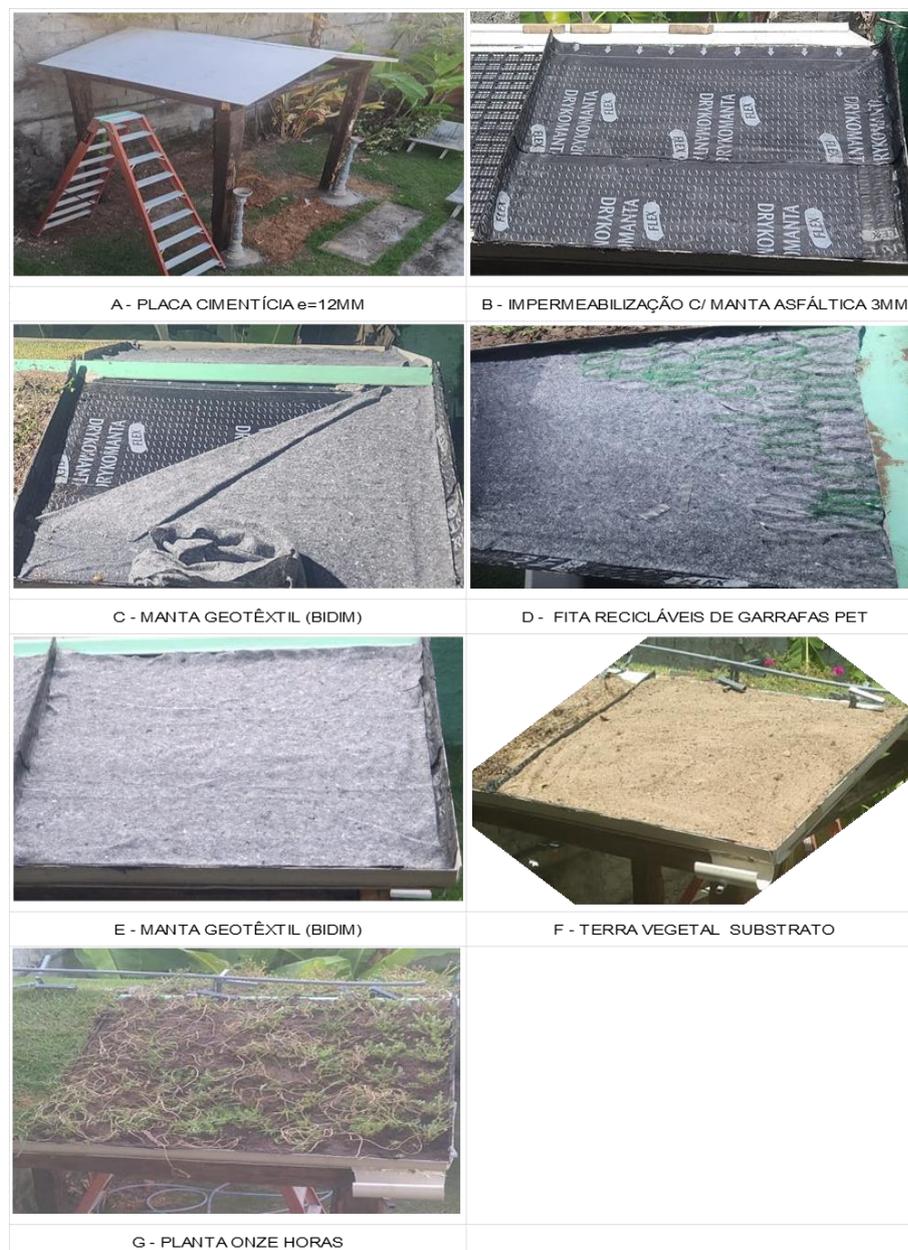
A retenção de água foi controlada por irrigação com mangueira, e cada protótipo foi projetado para liberar água apenas por um furo, proporcionando resultados mais precisos de inclinação.

5. RESULTADOS

5.1 Montagem e Peso Próprio dos modelos

O TVE01 foi composto visando integrar elementos que garantam estabilidade estrutural, impermeabilização, retenção de água e suporte para o crescimento da vegetação. A escolha de materiais sustentáveis, como as fitas recicláveis de garrafas PET, destaca o comprometimento ambiental dos modelos.

Figura 15 – Processo de montagem do Telhado Verde Experimental 01



Fonte: Autores (2023).

Na montagem do TVE02 buscou-se otimizar a sustentação, a drenagem e o desenvolvimento saudável da grama esmeralda, resultando em um telhado verde funcional e esteticamente agradável. O uso do palete estrado plástico adiciona uma camada para suporte e ventilação ao sistema.

Figura 16 – Processo de montagem do Telhado Verde Experimental 02.



Fonte: Autores (2023).

O TVE03 foi composto por: Pannel Ultra Board: Utilizado como base estrutural, proporcionando leveza e versatilidade; Seixo Rolado / Argila Expandida 1506, para preenchimento de drenagem (o baixo peso desse agregado foi incorporado para reduzir o peso total do modelo); Manta Geotêxtil Bidim: Contribui para a drenagem e

separação de camadas; Substrato orgânico de mistura de solo e componentes específicos para suporte às raízes; e a vegetação do tipo *Portulaca grandiflora* (Onze-horas), escolhida pela sua estética e uso abundante em paisagismos.

Na composição do TV03 visou-se aproveitar a leveza do Painel Ultra Board, garantindo boa drenagem com o uso de seixo rolado/argila expandida, e proporcionar um substrato adequado para o crescimento da vegetação escolhida, no caso, a planta Onze Horas. Essa combinação busca eficiência, leveza e estética no telhado verde.

Figura 17 – Processo de montagem do Telhado Verde Experimental 03

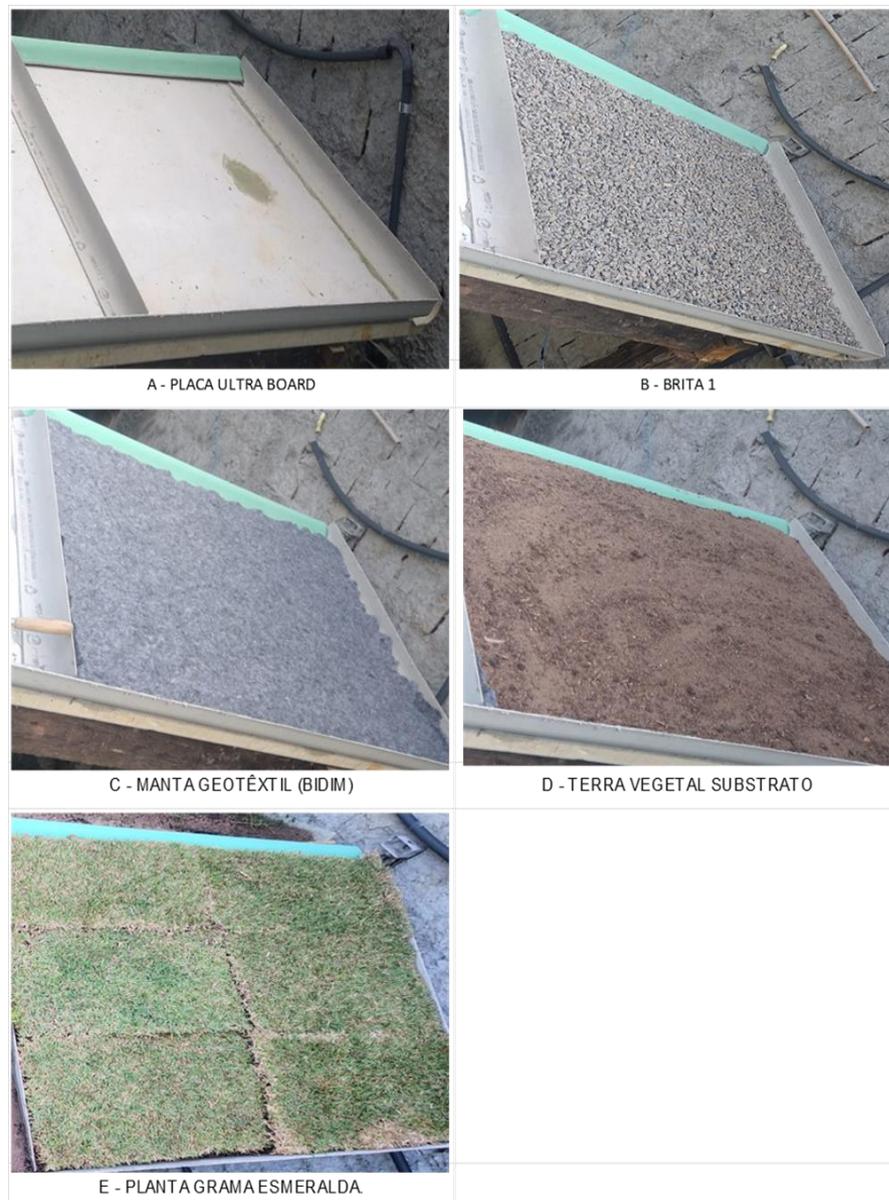


Fonte: Autores (2023).

A montagem do TVE04 foi composta por: Painel Ultra Board, utilizado como base estrutural, conferindo leveza ao telhado verde; Brita de Granulometria Tipo 1, utilizada como material de enchimento para drenagem; Manta Geotêxtil Bidim para contribuir na drenagem e separação entre camadas; Substrato orgânico de mistura de solo e componentes específicos para suporte às raízes; e vegetação do tipo grama esmeralda, escolhida para o telhado verde pela resistência e estética.

A configuração do TVE04 buscou aperfeiçoar a sustentação e drenagem do sistema, enquanto a escolha da Grama Esmeralda como vegetação contribui para a estética do modelo e pela baixa demanda de manutenção. O uso de brita tipo 1 caracteriza um dos materiais mais utilizados na drenagem de telhados verdes.

Figura 18 – Processo de montagem do Telhado Verde Experimental 04



Fonte: Autores (2023).

Quanto aos materiais de sustentação para os modelos foram selecionados materiais leves considerando a carga própria da cada modelo. A placa cimentícia de 12 mm, estruturalmente, suporta uma carga de 107,07 kg/m², enquanto o painel ultra board (48mm) suporta uma carga de até 300 kg/m², atendendo às demandas de peso do telhado verdes experimentais.

O peso próprio por metro quadrado de cada componente utilizado para a construção do telhado verde é apresentado na Tabela 02.

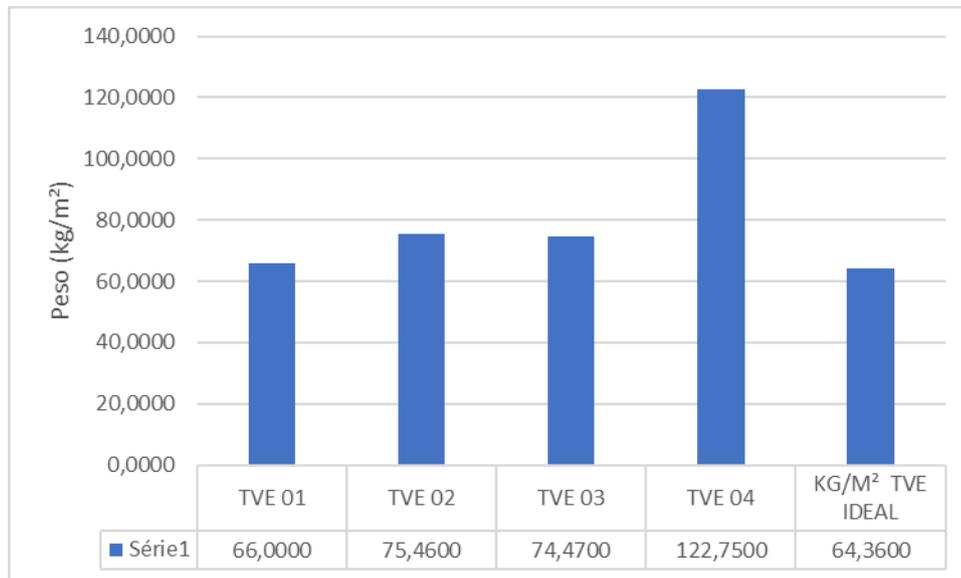
Tabela 02 - Características dos componentes dos modelos de Telhados Verdes

Componente	Características
Manta asfáltica	Leve, com 1,64 kg/m ² , ela traz uma camada protetora
Manta bidin geotêxtil	Sutil, com 1,3 kg/m ² , essa camada age como um tecido delicado, conectando-se à terra
Palette Estrado Plástico	Com 4,0 kg/m ² , ele adiciona uma estrutura sólida, como um alicerce firme para o crescimento
Brita Tipo 1	4,8 mm a 9,5 mm: Robusta, com 51,39 kg/m ² , é a vazão que dá suporte à diversidade do ecossistema
Argila expandida 1506	Leve e expansiva, com 11,11kg/m ² , traz uma base nutritiva para a vegetação
Fitas recicláveis de garrafas PET	Com apenas 1,0 kg/m ² , é a camada ecológica
Camada de substrato	Equilibrada, com 34,06 kg/m ² , proporciona a base para o enraizamento e o crescimento
Gramma esmeralda	Com 36 kg/m ² , é o tapete verde que transforma o espaço em um refúgio acolhedor
Planta onze-horas	Leve e colorida, com 28 kg/m ² , acrescenta um toque vibrante e delicado ao telhado

Fonte:Autores (2023)

Cada camada, como uma peça única, contribui para o peso total do telhado verde, criando um ambiente funcional e apto a manutenção da vegetação.O peso total de cada modelo foi calculado pela soma do peso próprio de cada componente, o peso próprio dos modelos são apresentados na Gráfico 02.

Gráfico 02 - Peso Próprio de cada modelo calculado a partir do peso próprio dos seus componentes.



Fonte: Autores (2023)

Ao avaliar o peso de cada camada do telhado verde, considerando a carga máxima por metro quadrado e a carga total por protótipo, buscou-se garantir uma escolha equilibrada. Uma estrutura de madeira, no formato de cobertura, foi escolhida para fixar os protótipos de placa cimentícia e painel ultra board que em seguida receberam os modelos de Telhados Verdes.

Tendo como dimensões das placas cimentícias 1,20m x 2,40m x 0,012m e dos painéis ultra board 1,20m x 2,50m x 0,048m, com altura variando de 2,60m a 3,12m e inclinação de 40%, foram aplicadas na estrutura, garantindo estabilidade. Suportes de fibrocimento foram instalados nas laterais para contenção do telhado verde durante a montagem do experimento.

5.1 Orçamento

Para desenvolver um protótipo de custo para a confecção do telhado verde, foram consideradas diferentes opções com base em placas de fibrocimento, variando suas características. O catálogo de materiais utilizados nos protótipos inclui elementos como placas de fibrocimento, com especificações distintas, que impactam diretamente nos custos envolvidos na implementação do telhado verde. Detalhes

como dimensões, resistência, e outros atributos das placas de fibrocimento são importantes para calcular com precisão o custo total do projeto.

A placa cimentícia de 12 mm (1200x2400mm) impermeabilizada oferece versatilidade, podendo servir como revestimento em ambientes internos ou fechamento de fachadas de até 90 metros de altura. Sua composição sustentável, utilizando a tecnologia CRFS (cimento reforçado com fio sintético), proporciona estabilidade dimensional e flexibilidade, assegurando qualidade e estética na obra. A possibilidade de receber diversos revestimentos, como pintura e cerâmica, amplia suas aplicações estéticas.

Tabela 03 – Características da Placa Cimentícia

Espessura	12 mm
Comprimento nominal	2400 mm
Comprimento real	2395 mm
Largura nominal	1200 mm
Largura real	1195 mm
Peso da Placa	58,8 kg
Peso por m ²	20,4 kg

Fonte: Autores (2023)

Os painéis Ultra Board 48mm (1200mmx2500mm), compostos por miolo de XPS e placas cimentícias, oferecem proteção e durabilidade. Sua aplicação é recomendada em ambientes externos ou úmidos, sendo indicados para áreas como cozinhas, banheiros, decks e varandas. Leves e de fácil transporte, são 50% mais leves que os painéis de madeira, além de serem resistentes a impactos. Colabora com o não surgimento de situações propícias ao fogo, esses painéis aceitam diversos revestimentos após a aplicação do contrapiso, proporcionando versatilidade em projetos de construção.

Tabela 04 – Características do Painel Ultra Board

Espessura	48 mm
Comprimento nominal	2500 mm
Largura Nominal	1200 mm
Peso da Placa	50,1 kg
Peso por m ²	16,7 kg
Carga Máxima (3 apoios)	300 kg/m ²
Carga Máxima (4 apoios)	500 kg/m ²

Fonte: Autores (2023)

A manta Bidim Geotêxtil, composta por fibras de poliéster (PET), desempenha diversas funções essenciais no sistema do telhado verde. Além de promover a separação de solos e materiais de diferentes granulometrias para aumentar a capacidade de carga da fundação, oferece proteção a materiais como geomembranas e absorve tensões localizadas. Suas propriedades permitem a filtração, possibilitando a passagem apenas de líquidos nos processos adequados, e desempenha um papel crucial na drenagem, recolhendo e transportando águas pluviais, de imigração e subterrâneas no contexto do telhado verde.

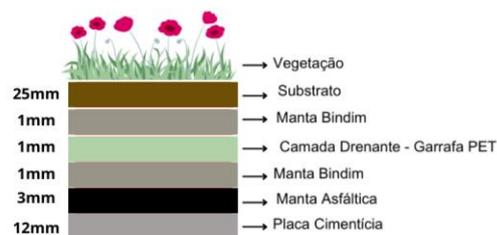


Tabela 05 – Características da Manta Geotêxtil Bidim GH 07/130grs

Espessura	1,0 mm
Comprimento nominal	4,4 mm
Largura nominal	2,3 mm
Peso por m ²	1,3 kg

Fonte: Autores (2023)

O Pallet Estrado Plástico Preto possui 10 pisos plásticos com medidas de 50x25x2,5cm. Com aplicação versátil, pode ser utilizada em câmaras frias, academias, pisos para trânsito de pessoas, revestimento de baú de caminhões, estoque de mercadorias, entre outros. Tem capacidade estática de carga de 3 t/m² e cada peça tem um peso de 0,400kg.

A brita tipo 1, com diâmetro entre 4,8 mm a 9,5 mm, é frequentemente empregada para fornecer uma camada de drenagem eficiente. Essa camada permite que a água flua através do substrato, evitando o acúmulo excessivo e proporcionando condições ideais para o crescimento das plantas. Além da função de drenagem, a brita tipo 1 contribui para a estabilidade estrutural, servindo como uma camada de suporte. Essa característica é valiosa, especialmente considerando o peso adicional de outras camadas, como substrato e vegetação. Assim, a escolha da brita tipo 1 desempenha um papel fundamental na criação de um ambiente propício para o desenvolvimento saudável do telhado verde, promovendo a drenagem eficiente e a estabilidade necessária.

A Argila Expandida é versátil, encontrando aplicação na construção civil para enchimentos leves, concreto leve e isolamento térmico/acústico em lajes. Também é usada em paisagismo para cobertura e drenagem de vasos, jardins e na agricultura como substrato. A variante 1506 é indicada para concreto leve com enchimento até 5 cm, apresentando granulometria de 6/15 mm, densidade aparente de 600 kg/m³ (com variação de +/- 10%). Seu processo de fabricação em forno rotativo a 1.200°C resulta em um produto natural, incombustível, não inflamável e resistente ao tempo.

A fita reciclável feita a partir de garrafas PET de refrigerante é um material sustentável. Cada fita é cortada e encaixada, posteriormente amarrada com fio de nylon, formando uma estrutura em colméia. Essa abordagem demonstra uma prática ambientalmente consciente, reutilizando materiais e proporcionando uma aplicação versátil para as fitas recicláveis, que podem ser utilizadas em diversas finalidades.

Tabela 06 – Características da Fita Reciclável PET

Espessura	1,02 mm
Largura nominal	25,2 mm

Carga ruptura	1,134 kgf
---------------	-----------

Fonte: Autores (2023)

O substrato é uma mistura de terra e componentes específicos para sustentar as raízes das plantas, destacando-se pela especialização na retenção de líquidos, favorecendo a absorção de nutrientes. É importante verificar a composição, especialmente se é mais arenosa, indicando menor presença de matéria orgânica. As características desejáveis incluem baixo custo, disponibilidade no mercado, teor de nutrientes, pH adequado, ausência de patógenos, aeração, retenção de água e boa agregação às raízes. Esses atributos, ligados à textura e à qualidade dos materiais, são essenciais na formulação do substrato. Observa-se que não houve alteração nos quatro protótipos em relação ao substrato, mantendo consistência nesse aspecto.

A grama-esmeralda, *zoyzia japônica*, é amplamente procurada para diversos ambientes, destacando-se por sua resistência e facilidade de plantio e manutenção. Originária do Japão, apresenta um tapete verde vibrante, folhas macias e se adapta a vários climas. Sua característica perene (ciclo de vida longo) e muito ramificada (que se dividem em ramos ou raízes a partir da planta original), com crescimento rápido, a torna ideal para jardins. A implantação pode ser feita por meio de tapete de grama natural, sendo essencial cuidar do terreno, remover entulhos, e preparar o solo adequadamente. Apesar de exigir baixa manutenção, é crucial seguir um cronograma de cuidados, incluindo a poda regular para manter a vitalidade da grama. A grama-esmeralda destaca-se como uma excelente escolha estética e de custo-benefício para jardins, proporcionando resistência e capacidade de recuperação em áreas de tráfego. O equilíbrio na poda é essencial, evitando que a grama atinja sua altura máxima e prejudique seu desenvolvimento.

A flor onze-horas, *portulaca grandiflora*, é notável por seu florescimento durante as onze horas da manhã até o meio-dia. Nativa da América do Sul, especialmente presente no Brasil, Uruguai e Argentina, suas pétalas delicadas exibem diversas cores vibrantes. De fácil cultivo, a onze - horas se adapta a diferentes condições climáticas, suportando até geadas. Prefere locais ensolarados, sendo plantada no verão em solo fértil composto por terra, vegetal, areia e húmus. Pode ser cultivada em canteiros, vasos ou jardineiras, demandando rega regular,

especialmente nos canteiros. A propagação da onze - horas pode ser feita por sementes ou estacas, oferecendo versatilidade no plantio. Com ciclo de vida anual, ela apresenta variedades com pétalas brancas/rosas e dobradas, em tons diversificados. Além de sua beleza, a onze-horas proporciona benefícios à saúde humana, sendo uma excelente fonte de Ômega-3 e rica em sais minerais, vitaminas A, B e C, com propriedades analgésicas, diuréticas e anti-hemorrágicas.

A análise dos custos para os protótipos de telhado verde envolveu a coleta de dados de tabelas de referência aceitas no Brasil, bem como cotações e análises de tempo de produção. Utilizamos composições próprias e informações de tabelas como ORSE (Orçamento de Obras de Sergipe) e SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil) para licitações e projetos.

A composição analítica para calcular o custo unitário dos serviços incluiu insumos necessários, coeficientes de consumo de materiais, produtividade da mão-de-obra e consumo horário dos equipamentos. Ao aplicar quantidades necessárias para os protótipos, foi obtido os custos associados. O objetivo foi tornar o telhado verde mais acessível à população brasileira, considerando benefícios e custos equilibrados. As composições orçamentárias são apresentadas nas tabelas 07 a 17.

Tabela 07 - Composição Orçamentária do TVE

Descrição	Und	Quant.	Valor Unit	Total
Placa cimentícia e =12mm, para fechamento da fachada (1 lado/face), juntas aparentes, fixada em estrutura metálica, exclusive	m ²	1,0000000	R\$ 115,46	R\$ 103,76
Parafuso 4,2 x 32mm, auto-brocante com asa un	un	15,0000000	R\$ 0,28	R\$ 4,20
Cordão delimitador para junta de placa cimentícia m	m	1,2500000	R\$ 0,29	R\$ 0,36
Adesivo selante impermeável PU Selamax Brasilit ou similar kg	kg	0,0380000	R\$ 77,84	R\$ 2,96
CARPINTEIRO DE ESQUADRIAS (HORISTA)	H	0,7000000	R\$ 19,07	R\$ 13,35
SERVENTE DE OBRAS	H	0,7000000	R\$ 15,08	R\$ 10,56
PLACA CIMENTICIA LISA E = 12 MM, DE 1,20 X *2,50* M (SEM AMIANTO)	m ²	1,0500000	R\$ 68,89	R\$ 72,33
	Quant.	1,0000000	Preço Total	R\$ 103,76

Fonte: Autores (2023)

Tabela 08 - Composição Orçamentária do TVE

Descrição	Und	Quant.	Valor Unit	Total
Parafuso 4,2 x 32mm, auto-brocante com asa un	un	15,000000	R\$ 0,28	R\$ 4,20
Cordão delimitador para junta de placa cimentícia m	m	1,250000	R\$ 0,29	R\$ 0,36
Adesivo selante impermeável PU Selamax Brasilit ou similar kg	kg	0,038000	R\$ 77,84	R\$ 2,96
CARPINTEIRO DE ESQUADRIAS (HORISTA)	H	0,700000	R\$ 19,07	R\$ 13,35
SERVENTE DE OBRAS	H	0,700000	R\$ 15,08	R\$ 10,56
placa painel ultraboard 48mm 1,20x2,50m	m²	1,050000	R\$ 216,32	R\$ 227,13
	Quant.	1,000000	Total	R\$ 258,56

Fonte: Autores (2023)

Tabela 09 - Composição Orçamentária do TVE

Descrição	Und	Quant.	Valor Unit	Total
PRIMER PARA MANTA ASFALTICA A BASE DE ASFALTO MODIFICADO DILUIDO EM SOLVENTE, APLICACAO A FRIO	L	0,400000	R\$ 22,00	R\$ 8,80
SERVENTE DE OBRAS	H	1,000000	R\$ 15,08	R\$ 15,08
MANTA ASFALTICA ELASTOMERICA EM POLIESTER ALUMINIZADA 3 MM, TIPO III, CLASSE B (NBR 9952)	m²	1,150000	R\$ 60,60	R\$ 69,69
IMPERMEABILIZADOR (HORISTA)	H	1,000000	R\$ 20,03	R\$ 20,03
	Quant.	1,000000	Total	R\$ 113,60

Fonte: Autores (2023)

Tabela 10 - Composição Orçamentária do TVE

Descrição	Und	Quant.	Valor Unit	Total
Manta geotêxtil não tecido RT-10, resistencia a tração=10 kN/m, (antigo Bidim OP-20 ou similar) 2,30x4,40=10,12	m²	1,000000	R\$ 4,40	R\$ 4,40
SERVENTE DE OBRAS	H	0,100000	R\$ 15,08	R\$ 1,51
	Quant.	1,000000	Total	R\$ 5,90

Fonte: Autores (2023)

Tabela 11 - Composição Orçamentária do TVE

Descrição	Und	Quant.	Valor Unit	Total
Estrado plástico modulável em PEAD h=2,5cm (0,50*0,25)=0,125m²	m²	1,000000	R\$ 50,33	R\$ 50,33
SERVENTE DE OBRAS	H	0,100000	R\$ 15,08	R\$ 1,51
	Quant.	1,000000	Total	R\$ 51,84

Fonte: Autores (2023)

Tabela 12 - Composição Orçamentária do TVE

Descrição	Und	Quant.	Valor Unit	Total
Seixo rolado diâmetro 50 a 100 m, peso específico 2,25 t/m3 (incluso frete) m³	m³	1,0000000	R\$ 77,73	R\$ 77,73
SERVENTE DE OBRAS	H	0,1000000	R\$ 15,08	R\$ 1,51
	Quant.	1,0000000	Total	R\$ 79,24

Fonte: Autores (2023)

Tabela 13 - Composição Orçamentária do TVE

Descrição	Und	Quant.	Valor Unit	Total
Gramma esmeralda em placas m2	m²	1,0000000	R\$ 22,00	R\$ 22,00
SERVENTE DE OBRAS	H	0,1000000	R\$ 15,08	R\$ 1,51
	Quant.	1,0000000	Total	R\$ 23,51

Fonte: Autores (2023)

Tabela 14 - Composição Orçamentária do TVE

Descrição	Und	Quant.	Valor Unit	Total
FLORES ONZE HORAS	m²	1,0000000	R\$ 40,00	R\$ 40,00
SERVENTE DE OBRAS	H	0,1000000	R\$ 15,08	R\$ 1,51
	Quant.	1,0000000	Total	R\$ 41,51

Fonte: Autores (2023)

Tabela 15 - Composição Orçamentária do TVE

Descrição	Und	Quant.	Valor Unit	Total
Terra vegetal	m³	1,0000000	R\$ 15,00	R\$ 15,00
SERVENTE DE OBRAS	H	0,1000000	R\$ 15,08	R\$ 1,51
	Quant.	1,0000000	Total	R\$ 16,51

Fonte: Autores (2023)

Tabela 16 - Composição Orçamentária do TVE

Descrição	Und	Quant.	Valor Unit	Total
BRITA 1 (9,5 A 19,0 MM)	m²	1,0000000	R\$ 131,56	R\$ 131,56
SERVENTE DE OBRAS	H	0,1000000	R\$ 15,08	R\$ 1,51
	Quant.	1,0000000	Total	R\$ 133,07

Fonte: Autores (2023)

Tabela 17 - Composição Orçamentária do TVE

Descrição	Und	Quant.	Valor Unit	Total
FITA RECICLÁVEIS DE GARRAFAS PET. (GARRAFAS DE 2 LITROS CORTADAS)	UNID	20,0000000	R\$ -	R\$ -
SERVENTE DE OBRAS	H	1,99	R\$ 15,08	R\$ 30,00
	Quant.	1,0000000	Total	R\$ 30,00

Fonte: Autores (2023)

Após obter informações detalhadas sobre os custos dos insumos necessários, foram criadas tabelas que incluíram cada custo, juntamente com seu peso específico e capacidade de retenção de água pluvial. Essas tabelas fornecerão uma visão abrangente dos custos associados aos diferentes componentes, permitindo uma análise mais aprofundada e eficiente na implementação dos protótipos de telhado verde.

Quadros 01 – Custo da Composição TVE01

PROTÓTIPO 1				
Descrição	Und	Quant.	Valor Unit	Total
Placa cimentícia e =12mm, (1 lado/face), juntas aparentes, fixada em estrutura (fornecimento e assentamento)	m ²	1	R\$ 103,76	R\$ 103,76
Impermeabilização c/ manta asfáltica aluminizada 3mm, estruturada com não-tecido de poliéster, inclusive aplicação de 1 demão de primer	m ²	1	R\$ 113,60	R\$ 113,60
Manta geotêxtil não tecido RT-10, resistencia a tração=10 kN/m, (antigo Bidim OP-20 ou similar) m2	m ²	2	R\$ 5,90	R\$ 11,80
Fita recicláveis de garrafas PET.	M ²	1	R\$ 30,00	R\$ 30,00
Terra vegetal	m ³	1	R\$ 16,51	R\$ 16,51
Flores onze horas	m ²	1	R\$ 41,51	R\$ 41,51
PROTÓTIPO 1 PESO 66 KG/M²	CUSTO GERAL			R\$ 317,18

Fonte: Autores (2023)

Quadro 02 – Custo da Composição TVE02

PROTÓTIPO 2				
Descrição	Und	Quant.	Valor Unit	Total
Placa cimentícia e =12mm, (1 lado/face), juntas aparentes, fixada em estrutura (fornecimento e assentamento)	m²	1	R\$ 103,76	R\$ 103,76
Manta geotêxtil não tecido RT-10, resistencia a tração=10 kN/m, (antigo Bidim OP-20 ou similar) m2	m²	1	R\$ 5,90	R\$ 5,90
Estrado plástico modulável em PEAD h=2,5cm (0,50*0,25)=0,125m²	m²	1	R\$ 52,22	R\$ 52,22
Terra vegetal	m³	1	R\$ 16,51	R\$ 16,51
Gramma esmeralda em placas m2	m²	1	R\$ 23,51	R\$ 23,51
PROTÓTIPO 2 PESO 75,46 KG/M²			CUSTO GERAL	R\$ 201,90

Fonte: Autores (2023)

Quadro 03 – Custo da Composição TVE03

PROTÓTIPO 3				
Descrição	Und	Quant.	Valor Unit	Total
Placa Painele ultra board, juntas aparentes, fixada em estrutura	m²	1	R\$ 258,56	R\$ 258,56
Manta geotêxtil não tecido RT-10, resistencia a tração=10 kN/m, (antigo Bidim OP-20 ou similar) m2	m²	1	R\$ 5,90	R\$ 5,90
Seixo rolado diâmetro 50 a 100 m, pêsso específico 2,25 t/m3 (incluso frete)	m³	1	R\$ 79,62	R\$ 79,62
Terra vegetal	m³	1	R\$ 16,51	R\$ 16,51
Flores onze horas	m²	1	R\$ 41,51	R\$ 41,51
PROTÓTIPO 3 PESO 74,47 KG/M²			CUSTO GERAL	R\$ 402,10

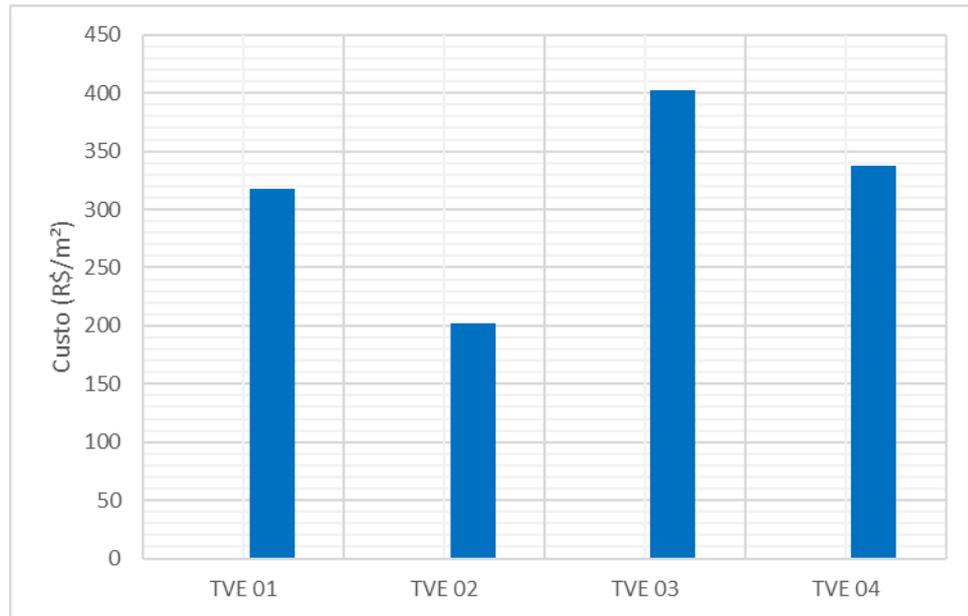
Fonte: Autores (2023).

Quadro 04 – Custo da Composição TVE04

PROTÓTIPO 4				
Descrição	Und	Quant.	Valor Unit	Total
Placa Painele ultra board, juntas aparentes, fixada em estrutura	m²	1	R\$ 258,56	R\$ 258,56
Manta geotêxtil não tecido RT-10, resistencia a tração=10 kN/m, (antigo Bidim OP-20 ou similar) m2	m²	1	R\$ 5,90	R\$ 5,90
Brita 1 (4,8 a 9,5 mm)	m²	0,25	R\$ 133,07	R\$ 33,27
Terra vegetal	m³	1	R\$ 16,51	R\$ 16,51
Gramma esmeralda em placas m2	m²	1	R\$ 23,51	R\$ 23,51
PROTÓTIPO 4 PESO 122,75 KG/M²			CUSTO GERAL	R\$ 337,75

Fonte: Autores (2023)

Gráfico 03 – Comparação do Custo por TVE



Fonte: Autores (2023)

Com a criação dos protótipos podemos analisar seu volume de retenção de água, gostaria que este estudo fosse com água pluvial, porém com o período que foi finalizado os protótipos não tivemos volume para fazer tais teste ativo, sendo assim foi realizado através de irrigação controlado obtendo os resultados e tendo melhor noção para saber qual melhor tipo de retenção de água.

Foi feito também pesquisa de mercado para termos o melhor custo dos materiais aplicado junto a praticidade de aplicação.

De acordo com os dados coletados apresentamos o protótipo 01 do telhado verde (TVE1) como retenção, com o custo ficou o protótipo 02 do telhado verde (TVE2) e com o peso protótipo 01 do telhado verde (TVE1).

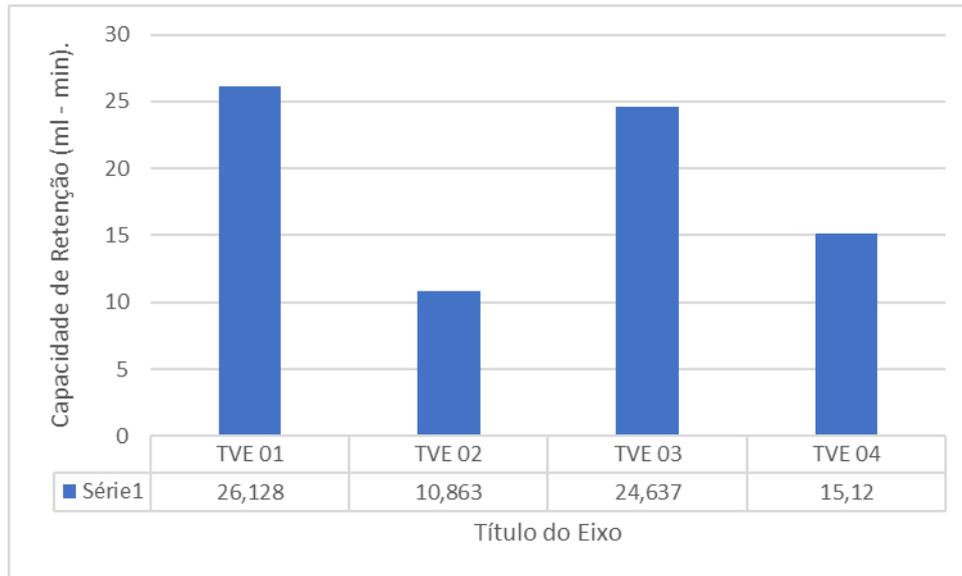
Com estes dados organizamos as informações para uma criação de protótipo ideal.

5.2. Retenção de Água

A entrada de água foi controlada minuto a minuto, com um valor médio de vazão de 7,1 ml/min e registrado o volume de saída de cada modelo de Telhado Verde Experimental, os valores de retenção são apresentados por início do seu gotejamento.

- TVE01 - 26, 128 ml/min uma retenção generosa, revelando a capacidade de segurar a água.
- TVE02 - 10, 863 ml/min uma retenção mais delicada, mostrando sua própria maneira de lidar com o líquido.
- TVE03 - 24, 637 ml/min uma retenção consistente, como se estivesse construindo uma reserva, demonstrando uma abordagem sólida para lidar com a água.
- TVE04 - 15,12 ml/min uma retenção moderada, como se estivesse encontrando um equilíbrio, destacando uma eficiência controlada na gestão da água.

Gráfico 05 – Comparação da Retenção por TVE



Fonte: Autores (2023)

Os resultados do protótipo indicam uma abordagem promissora, focada em eficiência de custos, capacidade de carga, volume de retenção de água pluvial e considerações ambientais. O enfoque na reciclagem de garrafas PET para a construção do telhado verde destaca um comprometimento ambiental, trazendo benefícios tanto em termos de sustentabilidade quanto de redução de custos.

A continuidade dos testes será fundamental para o refinamento e otimização do protótipo. Os testes hídricos em andamento visam validar a eficácia volumétrica de detenção pluvial, especialmente com a consolidação das plantas ao longo do tempo. Com dados coletados após trinta dias do plantio do telhado, espera-se que, com a consolidação da vegetação, os resultados relativos à retenção hídrica melhorem significativamente.

Analisando o projeto de um protótipo que seria semelhante ao protótipo 1, tendo como diferencial a retirada da manta asfáltica para redução de custos sem afetar a retenção de água é uma escolha estratégica. Observou-se que ele seria o mais ideal em relação ao custo e também teria uma maior detenção de água.

Quadro 06 – Custo da Composição do Protótipo Ideal

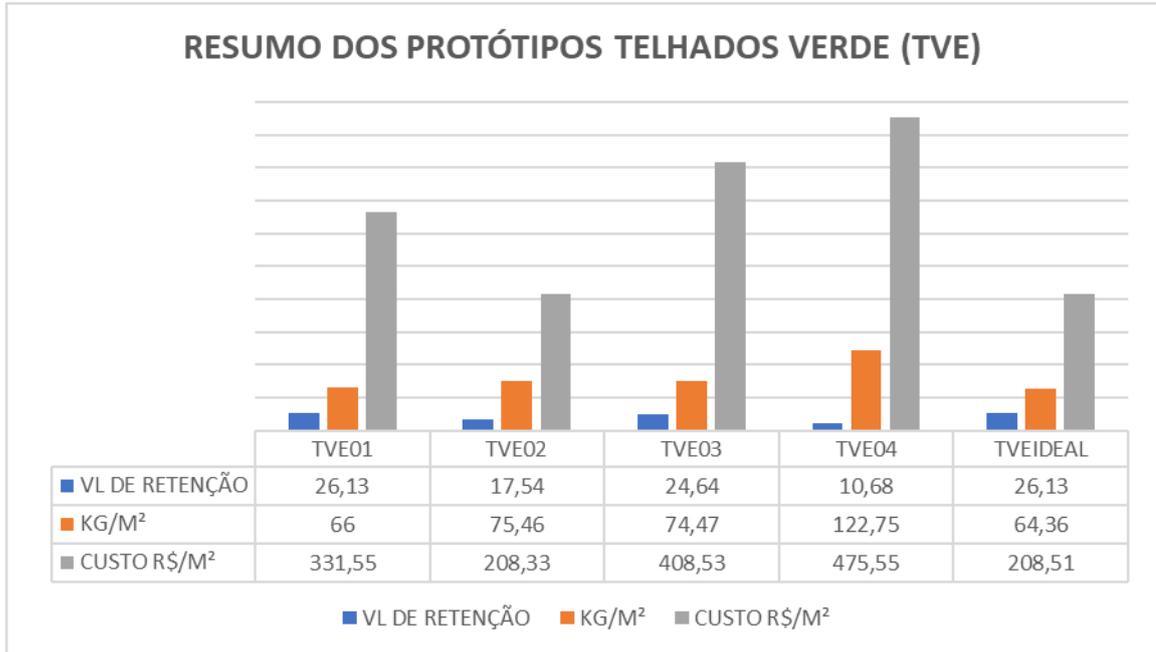
PROTÓTIPO MELHOR CUSTO BENEFÍCIO			VOLUME DE RETENÇÃO			26,128	
Código	Banco	Descrição	Und	Quant.	Valor Unit	Total	
12816	ORSE	Placa cimentícia e =12mm, (1 lado/fac.e), juntas aparentes, fixada em estrutura (fornecimento e assentamento)	m²	1	R\$ 109,04	R\$ 109,04	
1	COMPOSIÇÃO PRÓPRIA	Manta geotêxtil não tecido RT-10, resistencia a tração=10 kN/m, (antigo Bidim OP-20 ou similar) m2	m²	2	R\$ 6,29	R\$ 12,58	
8	COMPOSIÇÃO PRÓPRIA	Fita recicáveis de garrafas PET.	M²	1	R\$ 30,00	R\$ 30,00	
6	COMPOSIÇÃO PRÓPRIA	Terra vegetal	m³	1	R\$ 16,89	R\$ 16,89	
5	COMPOSIÇÃO PRÓPRIA	planta onze horas	m²	1	R\$ 40,00	R\$ 40,00	
PROTÓTIPO PESO 64,36 KG/M²			CUSTO GERAL			R\$	208,51

Fonte: Autores (2023)

Os dados apresentados para a carga máxima da placa cimentícia de 107,07km/m², carga seca 64,36 kg/m² e molhada 90,488 kg/m², juntamente com o fator de segurança de 15%, o volume de retenção por início de escoamento 26,128 litros e o custo total do sistema com mão de obra inclusa fornecem uma visão abrangente do desempenho e custos associados ao protótipo de telhado verde. Essa análise permite uma avaliação completa da viabilidade e eficácia do sistema, considerando tanto a capacidade de carga da estrutura quanto à eficiência na retenção de água pluvial. O custo total de R\$208,51 por metro quadrado, englobando materiais e mão de obra, proporciona uma referência econômica importante para a implementação do projeto.

Ao concluir, os dados gerais que obtivemos foram os seguintes: Após um mês de estudo e coletamos os dados de cada protótipos conforme a metodologia de cada um havendo este dado para uma melhor conclusão.

Gráfico 06 – Resumo dos Protótipos de TVE



Fonte: Autores (2023)

7. CONCLUSÃO

Conclui - se que a capacidade do telhado verde, tem em reter água da chuva, o TVE01 que foi o mais ideal é exemplificado pelo volume inicial de 26,128 litros, não apenas mostra sua eficácia na gestão hídrica, mas também destaca o quanto pode contribuir para cuidarmos melhor do meio ambiente e evitando o descarte incorreto da garrafa PET, reutilizando-as. Essa característica, junto com os benefícios econômicos e estruturais que mencionamos, faz do telhado verde uma escolha notável e promissora para um futuro mais sustentável.

Portanto a análise abrangente dos dados para o protótipo de telhado verde, considerando carga máxima, eficiência na retenção de água pluvial e custos totais, oferece uma visão holística do desempenho do sistema. Os números apresentados, juntamente com o volume de retenção inicial e o custo total do protótipo de R\$208,51 por metro quadrado, destacam a viabilidade econômica e estrutural do projeto.

Em um cenário urbano em constante evolução, a escolha por telhados verdes não é apenas uma medida estética, mas um passo consciente em direção a uma cidade mais equilibrada. Ao enfrentarmos o desafio da expansão urbana, os telhados verdes emergem como aliados, proporcionando não apenas beleza, mas melhorando genuinamente a qualidade de vida.

Essa opção não se resume apenas a plantas no topo dos edifícios; é um compromisso com o conforto térmico, a adequação acústica e um mitigador para o crescente calor excessivo nas cidades. Cada camada verde não apenas decora, mas também trabalha para equilibrar nosso impacto ambiental, contribuindo para um ecossistema urbano mais saudável.

Diante disso, ao absorver as águas das chuvas e suavizar os extremos climáticos, os telhados verdes não são apenas elementos paisagísticos, mas excelentes tecnologias que promovem o equilíbrio hídrico e climático.

8. REFERÊNCIAS

Alberto, E. Z., Recchia, F. M., Penedo, S. R. M., & Paletta, F. C. **Estudo do telhado verde nas construções sustentáveis**. XII Safety, v. 1, p. 171-173, 2012.

ALMEIDA, Isis de Castro. **Sistemas sustentáveis de drenagem urbana: uma proposta para a bacia hidrográfica do córrego São Pedro, em Juiz de fora - MG**, Trabalho Final de Curso apresentado ao Colegiado do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Juiz de Fora. 2020.

ANVERSA, G. B. **Telhado verde - Vantagens e desvantagens**. 2020. Disponível em <https://www.sienge.com.br/blog/telhado-verde/>. Acesso em: 17 out 2023.

APAC - AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA. 2023. Disponível em <https://www.apac.pe.gov.br/>. Acesso em: 22 nov 2023.

ARQUITETURA E SUSTENTABILIDADE. **Telhado Verde – Tipos e Implantação**. Disponível em: <http://arquiteturaesustentabilidade.com/2012/10/01/telhado-verde-tipos-eimplementacao/> . Acesso em: 26 nov 2023.

ARTESANA. **Especificações Técnicas da Placa Cimentícia**. Disponível em: <https://www.artesana.com.br/produto/placa-cimenticia-8mm-x-1-20m-x-2-40m-sem-rebaixo-66115#descricao>. Acesso em: 06 nov 2023.

BONI, Filipe. **Telhado Verde: O Guia Completo**. Disponível em <https://www.ugreen.com.br/telhado-verde/>. Acesso em 26 nov 2023.

CANERO, R. F., REDONDO, P. G. **Green Roof as a Habitat for Birds: A Review**. Journal of Animal and Veterinary Advances, n. 15, p. 2041-2052. 2010.

CASTRO, A. S.; GOLDENFUM, J. A. **Uso de telhados verdes no controle quantitativo do escoamento superficial urbano**. Atitude, Construindo Oportunidades: revista de divulgação científica da Faculdade Dom Bosco de Porto Alegre, Porto Alegre, v. 4, n. 7, p. 75-81, 2010.

CINEXPAN. **Ficha Técnica do Produto Argila Expandida Tipo 1506**. Disponível em <https://www.cinexpan.com.br/argila-expandida-1506-cinexpan.html>. Acesso em: 06 nov 2023.

CORRENT, Luan; LEHMANN, Priscila. **Telhado verde: Da Babilônia aos dias atuais**. Semana acadêmica-Faculdade Guarapuava. Paraná, p. 1-20, 2016.

COBASI. **Grama esmeralda: características, dicas de cultivo**. Disponível em <https://blog.cobasi.com.br/grama-esmeralda/>. Acesso em: 06 nov 2023.

DA COSTA SILVA, N. **Telhado verde: sistema construtivo de maior eficiência e menor impacto ambiental**. Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia UFMG. 2011.

DA SILVA, A. C.; SILVA, A. M. B.; DA CRUZ, C. B.; ROCHA, F. V. D. M.; GOUVEIA, L. R. S.; SILVA, M. A.; FREIRE, M. E. C.; BENNING T. B. **Telhado Verde: Análise na cidade do Recife**, 2020. *E-book*. Disponível em: https://www.faculdedamas.edu.br/wp-content/uploads/2021/09/E-book-Telhado-Verde_compressed.pdf. Acesso em: 15 out 2023.

DE BARROS, H. R.; LOMBARDO, M. A. Zoneamento climático urbano da cidade do Recife: uma contribuição ao planejamento urbano. **GEOUSP Espaço e Tempo (Online)**, v. 17, n. 1, p. 186-197, 2013.

FORTEGYPSO. **Ficha Técnica do Produto - Brasilit**. Disponível em <https://fortegypto.com.br/produtos/painel-wall/painel-wall-ultraboard-brasilit/>. Acesso em: 06 nov 2023.

HENEINE, Maria Cristina A. de Souza. Cobertura Verde. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG. 2008.

KABLUNDE, C. **Tipos de Brita: entenda o que significam as britas 0, 1, 2 e 3**. Disponível em <https://www.sienge.com.br/blog/tipos-de-brita-conheca/>. Acesso em: 06 nov 2023.

MAGALHÃES, V. **Telhado Verde – Camadas, Custo e Vantagens**. Disponível em <https://carluc.com.br/arquitetura/teilhado-verde/>. Acesso em: 14 out 2023.

MELO, B. O. **Telhados Verdes**. Disponível em <https://petciviluem.com/2021/11/22/teilhados-verdes/>. Acesso em: 15 out 2023.

MOREIRA, F. **Avaliação do desempenho térmico de telhado verde extensivo: estudo de caso no contexto climático de Brasília**. Dissertação de Mestrado

submetida ao programa de pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília. 2023.

NASCIMENTO, W. C. do.;FREITAS, M. do C. D.; SCHMID, A. **Coberturas verdes: a renovação de uma ideia.** Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Brasil. 2008.

PALLA, A.; BERRETTA, C.; LANZA, L. G.; BARBERA, P. La. **Modelling storm water control operated by green roofs at the urban catchment scale.** University of Genoa – Italy, 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, Scotland, UK, 2008.

PENDIUK, Fábio; MOISÉS, Izabela Cristina; PEREIRA, Matheus Pedron. **Telhado verde: a evolução da tecnologia e suas funcionalidades,** 2017.

SANTOS, P. T. D. S., SANTOS, S.M.D., MONTENEGRO, S. M. G. L., COUTINHO, A.P., MOURA, G. S. S. D., & ANTONINO, A.C.D. **Telhado verde: desempenho do sistema construtivo na redução do escoamento superficial.** Ambiente Construído, v. 13, p. 161-174, 2013.

SAVI, Adriane Cordoni. **Telhados verdes: análise comparativa de custo com sistemas tradicionais de cobertura.** Trabalho de Conclusão de Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Construções Sustentáveis, do Departamento Acadêmico de Construção Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2012.

SILVA, F. C. M.; SIQUEIRA, J. P.; ARAGÃO, S. F. **Telhados verdes e seus benefícios à sociedade e ao meio ambiente.** Unitoledo, 2017.

SOUZA, Werônica Meira; DE AZEVEDO, Pedro Vieira; DE ARAÚJO, Lincoln Eloi. **Classificação da precipitação diária e impactos decorrentes dos desastres associados às chuvas na cidade do Recife-PE.** Revista Brasileira de Geografia Física, v. 5, n. 2, p. 250-268, 2012.

Substrato - O que é, conceito e definição. Conceito.de, 2020. Disponível em <https://conceito.de/substrato> . Acesso em: 06 nov 2023.

Vantagens e desvantagens de um telhado verde. SustentArqui, 2014. Disponível em <https://sustentarqui.com.br/vantagens-e-desvantagens-de-um-telhado-verde/>. Acesso em: 15 out 2023.

VIANA, A. J. A., ARRUDA, R. A. da S. **A eficácia do telhado verde na redução e retardo do escoamento superficial.** Trabalho de Conclusão de Curso Submetido ao Curso de Engenharia Civil da Faculdade Evangélica de Goianésia. 2017.

Zerbinatti, Andressa. **Telhado Verde: Tipos, Etapas e Vantagens.** Disponível em <https://www.projetou.com.br/posts/telhado-verde/>. Acesso em: 15 out 2023.