

THAÍS CERQUEIRA BRANDI

Proposta de telhado verde e aproveitamento de águas pluviais no bloco 5 da UNESP,
campus de Guaratinguetá

GUARATINGUETÁ - SP

2021

Thaís Cerqueira Brandi

**Proposta de telhado verde e aproveitamento de águas pluviais no bloco 5 da UNESP,
*campus de Guaratinguetá***

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Civil

Orientadora: Prof^a Dr^a Isabel Cristina de Barros Trannin

GUARATINGUETÁ - SP

2021

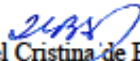
B818p	Brandi, Thais Cerqueira Proposta de telhado verde e aproveitamento de águas pluviais no bloco 5 da UNESP, campus de Guaratinguetá / Thais Cerqueira Brandi – Guaratinguetá, 2021. 61 f : il. Bibliografia: f. 58-61 Trabalho de Graduação em Engenharia Civil – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2021. Orientadora: Profª. Drª. Isabel Cristina de Barros Trannin 1. Construção civil. 2. Telhados. 3. Águas pluviais. I. Título. CDU 69
-------	---



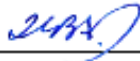
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

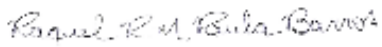
THAÍS CERQUEIRA BRANDI

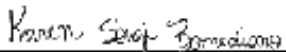
ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
"GRADUADO EM ENGENHARIA CIVIL"
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL


Profª Drª Isabel Cristina de Barros Trannin
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA:


Profª Drª Isabel Cristina de Barros Trannin
Orientadora/UNESP-FEG


Profª Drª Raquel Regina Martini Paula Barros
UNESP-FEG


Profª Drª Karen Sorgi Bomediano
UNESP-FEG

Dezembro de 2021.

DADOS CURRICULARES

THAÍS CERQUEIRA BRANDI

NASCIMENTO 14.06.1996 – São Paulo/SP

FILIAÇÃO Marcio Brandi
Ivone da Silva Cerqueira

2015/2021 Curso de Graduação em Engenharia Civil
Universidade Estadual Paulista – “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Guaratinguetá.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha mãe, que sempre esteve ao meu lado, me aconselhando em todas as dificuldades e fazendo tudo que estava ao seu alcance para que eu pudesse ter a oportunidade de cursar uma universidade pública.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família por todo apoio, compreensão e paciência durante toda a minha trajetória acadêmica, incentivando os meus sonhos e me dando força em todas as dificuldades enfrentadas.

Agradeço a todos os meus amigos ao meu namorado, Bruno, pelos conselhos e pelo apoio incondicional em todos os momentos.

A República Só Fadinhas pelo acolhimento e, mesmo à distância, fazendo-se presente em todos os momentos.

À Prof^a Dr^a Isabel Cristina de Barros Trannin, minha orientadora, por sua atenção, “brincas”, compreensão e dedicação durante todo o projeto.

Aos professores e funcionários da FEG - UNESP, que contribuíram a cada dia para a minha formação.

“Existem coisas que ninguém faz sozinho.

Salvar o meio ambiente,

Por exemplo”.

Autor desconhecido.

RESUMO

O Bloco 5 é o mais utilizado pelos alunos do colégio técnico e pelos universitários da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, mas como é uma das edificações mais antigas do campus, apresenta necessidade de adequações quanto à luminosidade, conforto térmico e visual. Neste sentido, este trabalho de graduação tem como objetivo propor a implementação de um telhado verde em conjunto com um sistema de captação de águas pluviais, para tornar este ambiente de grande circulação, mais agradável aos usuários. O telhado verde caracteriza-se como um sistema de arquitetura que permite o cultivo e o crescimento de plantas sobre uma laje impermeabilizada. No entanto, cuidados adicionais devem ser tomados no projeto do telhado, quanto à escolha das espécies vegetais, à resistência e à capacidade estrutural da edificação. Neste trabalho de graduação foram projetados o telhado verde e o sistema de captação de águas pluviais, considerando as condições atuais da edificação, bem como, os benefícios ambientais e para a qualidade de vida dos usuários. O sistema de captação de águas pluviais teve como finalidade a irrigação das plantas do telhado verde e o uso nos banheiros, tornando o projeto autossustentável. As propostas de melhoria se mostraram viáveis, pois apesar do alto custo envolvido, terão vida útil longa, baixa demanda de manutenção e um tempo de retorno médio.

PALAVRAS-CHAVE: Construção civil. Telhado verde. Aproveitamento de águas pluviais. Sustentabilidade.

ABSTRACT

The block 5's building is the most used by students from the technical college and university students at the University of Engineering of Guaratinguetá, but as it is one of the oldest buildings on the campus, consequently it needs to be adjusted in terms of light, thermal and visual comfort. In this sense, this graduation work proposed the implementation of a green roof together with a rainwater catchment system, to make this environment of great circulation, more pleasant for users. The green roof is characterized as an architectural system that allows the cultivation and growth of plants on a waterproofed slab. However, additional care must be taken in the roof design, regarding the choice of plant species, strength and structural capacity of the building. In this graduation work, the green roof and the rainwater catchment system were designed, considering the current conditions of the building, as well as the environmental benefits and for the users' quality of life. The purpose of the rainwater collection system was to irrigate the green roof plants and use it in bathrooms, making the project self-sustainable.

KEYWORDS: Construction. Green roof. Rainwater reuse. Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Casa recoberta por turfa, na Europa.	18
Figura 2 – Telhado verde do Palácio Gustavo Capanema.	20
Figura 3 – Palácio Gustavo Capanema.	20
Figura 4 – Exemplo de telhado verde extensivo.	22
Figura 5 – Exemplos de telhados verdes intensivos.	23
Figura 6 – Etapas constituintes de um telhado verde.	24
Figura 7 – Telhado verde contendo uma associação de espécies vegetais.	27
Figura 8 – Telhado verde contendo uma única espécie vegetal.	27
Figura 9 – Representação esquemática de um sistema de captação de águas pluviais.	29
Figura 10 – Localização do município de Guaratinguetá no Estado de São Paulo e na Região do Vale do Paraíba	34
Figura 11 – Planta baixa do bloco 5 da UNESP, campus de Guaratinguetá.	35
Figura 12 – Vista aérea do Bloco 5 da FEG-UNESP	36
Figura 13 – Dados pluviométricos do município de Guaratinguetá.....	36
Figura 14 – Aplicação de um telhado verde modular.....	38
Figura 15 – Aplicação da massa asfáltica com o auxílio de um maçarico.	39
Figura 17 – Aplicação de uma manta geotêxtil	41
Figura 18 – Variedade de cores e formas das bromélias	42
Figura 19 – Bromélias em um protótipo de telhado verde	43
Figura 20 – Telhado de superfície inclinada	44
Figura 21 – Cobertura do Bloco 5 cotada.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Vantagens e desvantagens de telhados verdes extensivos e intensivos.....	24
Tabela 2 – Coeficientes de rugosidade	46
Tabela 3 – Diâmetro interno de calhas semicirculares em função da vazão de projeto para algumas declividades determinadas.....	46
Tabela 4 – Coeficiente de escoamento superficial em telhados verdes.....	48

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Orçamento simplificado dos principais materiais utilizados na construção do telhado verde.....	50
Quadro 2 – Orçamento simplificado dos principais materiais utilizados na construção do sistema de captação de águas pluviais.....	51
Quadro 3 – Despesas com água e esgoto da FEG/UNESP em 2019.....	52
Quadro 4 – Despesas acumuladas com água e esgoto da FEG/UNESP em 2019.....	52
Quadro 5 – Tarifas de abastecimento de água para categoria comercial e pública no município de Guaratinguetá em 2019.....	53
Quadro 6 – Tarifas de esgoto para categoria comercial e pública no município de Guaratinguetá em 2019.....	53
Quadro 7 – Estimativa do consumo médio mensal de água da FEG/UNESP em 2019.....	53
Quadro 8 – Custo médio mensal de água após a instalação do sistema de captação de água pluviais	54
Quadro 9 – Estimativa do consumo médio mensal de água após a instalação do sistema de captação de água pluviais	54

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

FEG	Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
UNESP	Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
UFV	Universidade Federal de Viçosa

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS	17
2.1	OBJETIVO GERAL.....	17
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1	TELHADO VERDE NA HISTÓRIA	18
3.2	CLASSIFICAÇÃO DO TELHADO VERDE PELO TIPO DE VEGETAÇÃO ..	21
3.2.1	Telhado Verde Extensivo	21
3.2.2	Telhado Verde Intensivo	22
3.2.3	Telhado Verde Semi Intensivo	23
3.3	ETAPAS PARA A IMPLANTAÇÃO DO TELHADO VERDE	24
3.3.1	Impermeabilização	25
3.3.2	Camada Drenante.....	25
3.3.3	Camada Filtrante.....	25
3.3.4	Substrato	26
3.3.5	Vegetação.....	26
3.4	APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS	28
3.5	VANTAGENS DO USO DE TELHADOS VERDES EM EDIFICAÇÕES	30
3.5.1	Conforto térmico e economia de energia.....	30
3.5.2	Conforto Acústico	30
3.5.3	Proteção e diminuição dos custos de manutenção	31
3.5.4	Alívio dos efeitos das ilhas de calor	31
3.5.5	Melhoria da qualidade do ar e redução da poluição atmosférica	31
3.5.6	Economia de custos com água	32
3.5.7	Valorização financeira de imóveis e aumento da área útil	32
3.6	DESVANTAGENS DO USO DE TELHADOS VERDES EM EDIFICAÇÕES	32
3.6.1	Elevados custos de instalação e de manutenção.....	32
3.6.2	Necessidade de tratamento de patologias pré-existentes e reforço estrutural	33
4	MATERIAL E MÉTODOS	34
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DO PROJETO	34
4.2	CÁLCULO DO ÍNDICE PLUVIOMÉTRICO	36
4.3	METODOLOGIA.....	37

4.3.1	Metodologia adotada no projeto de telhado verde	38
4.3.1.1	Impermeabilização	39
4.3.1.2	Camada drenante	40
4.3.1.3	Camada filtrante	41
4.3.1.4	Substrato	41
4.3.1.5	Vegetação	42
4.3.2	Metodologia adotada no projeto de captação de águas pluviais	43
4.3.2.1	Estimativa do potencial de captação.....	43
4.3.2.2	Cálculos da área do telhado, inclinação e vazão	44
4.3.2.3	Dimensionamento dos condutores horizontais	45
4.3.2.4	Dimensionamento dos condutores verticais	47
4.3.2.5	Dimensionamento do reservatório.....	47
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
5.1	PROJETO DE TELHADO VERDE	49
5.1.1	Custos com matéria prima e orçamento da obra	50
5.2	PROJETO DE CAPTAÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS.....	50
5.2.1	Custos com matéria prima e orçamento da obra	51
5.3	BENEFÍCIOS ESPERADOS	51
5.4	CUSTOS FINAIS DE PROJETO E TEMPO DE RETORNO	54
6	CONCLUSÕES.....	56
	REFERÊNCIAS	57

1 INTRODUÇÃO

Os telhados verdes, também conhecidos como coberturas verdes, ecotelhados ou telhados ecológicos são sistemas arquitetônicos de construção que consistem em instalar uma camada vegetal em coberturas de modo a substituir os elementos tradicionais, como telhas, por exemplo (FERREIRA, 2007). Porém, muito além de ser apenas um agente embelezador de obras e edifícios, a cobertura verde surge como uma alternativa atual para a preservação estrutural e promoção de melhorias diversas, considerando os aspectos ambiental e econômico.

Trata-se de uma solução que está relacionada a temas de grande importância e frequentemente em pauta, como melhoria da qualidade de vida e sustentabilidade do setor da construção civil. De acordo com Yemal (2011), construções que se utilizam de tecnologias ecologicamente corretas estão conquistando um espaço cada vez maior no mercado europeu e norte americano. Por outro lado, Gonzaga (2017) relata que no Brasil o interesse por técnicas construtivas ecológicas ainda é relativamente pequeno, com maior difusão nos estados do sul, onde já existem algumas empresas especializadas em coberturas verdes, provavelmente em decorrência da influência da imigração alemã, tendo em vista que a Alemanha foi uma das pioneiras no desenvolvimento desta técnica.

Algumas construções icônicas do cenário urbano brasileiro apresentam telhados verdes, como é o caso do jardim suspenso do Edifício Matarazzo e o Centro Cultural São Paulo, ambos na cidade de São Paulo e do Theatro São Pedro, em Porto Alegre.

Ferraz (2012), avaliou comparativamente o comportamento térmico de cobertura verde e telhas cerâmicas tradicionais, constatando que a primeira foi mais eficiente no retardo do ganho térmico da edificação e apresentou maior potencial de economia de energia. Portanto, a cobertura verde pode se tornar economicamente vantajosa em municípios quentes, como é o caso de Guaratinguetá, podendo abrandar a temperatura do interior do ambiente, atenuando assim a necessidade do emprego de sistemas de climatização elétricos e, conseqüentemente, o consumo de energia, propiciando um ambiente mais sustentável e agradável.

Neste contexto, este trabalho de graduação tem como objetivo apresentar um projeto de telhado verde para o Bloco 5 da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), *campus* de Guaratinguetá, visando a melhoria do conforto térmico e visual, em conjunto com a captação das águas pluviais, para uso não potável, como nos banheiros e irrigação das espécies vegetais utilizadas na cobertura. O projeto de cobertura verde aliado à captação de águas pluviais se apresenta como um passo importante no caminho da sustentabilidade da construção civil.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Projetar um telhado verde em conjunto com a captação de águas pluviais para o Bloco 5 da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), *campus* de Guaratinguetá.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar a estrutura do Bloco 5 quanto à necessidade de reforço estrutural e controle de patologias causadas por umidade, para a implementação do telhado verde e do sistema de captação de águas pluviais;
- Elaborar uma proposta de reforma para o prédio do Bloco 5 da FEG/UNESP, visando a implementação de um telhado verde e de um sistema de captação de águas pluviais.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 TELHADO VERDE NA HISTÓRIA

Telhado verde, ou telhado vivo, é uma técnica construtiva ecológica muito utilizada atualmente nos grandes centros urbanos. Esta técnica visa aliar aspectos estéticos e ecológicos para aliviar as consequências causadas pelas ilhas de calor nas grandes cidades.

Apesar de ser uma técnica relativamente nova no Brasil, os telhados verdes vêm sendo utilizados no mundo há séculos. Os primeiros registros na história sobre estruturas que vieram posteriormente a dar origem ao que chamamos hoje de telhado verde são datados da pré-história, recobrando cabanas em diversas partes do mundo com o objetivo de manter o clima mais quente ou mais fresco, de acordo com a necessidade do ambiente. No continente americano, esse tipo de construção ficou conhecido como Casa Subterrânea, enquanto na Europa, utilizavam a denominação Sod House, em tradução livre, casa recoberta por turfa (Figura 1). (REBOLLAR, 2017).

Figura 1 – Casa recoberta por turfa, na Europa.



Fonte: Hisour (2018).

Na antiguidade, os jardins suspensos da Babilônia, na antiga Mesopotâmia, território, que corresponde atualmente ao Iraque, ganharam destaque. Embora não tenham resistido a passagem dos séculos, estas construções são consideradas uma das sete maravilhas do mundo antigo, tendo inspirado os mais variados modelos arquitetônicos de telhado verde do mundo moderno (REBOLLAR, 2017). Desde então os registros de telhados verdes são inúmeros, desde o Império Romano, na Idade Antiga, passando pela Constantinopla, na Idade Média, até chegar nos tempos atuais.

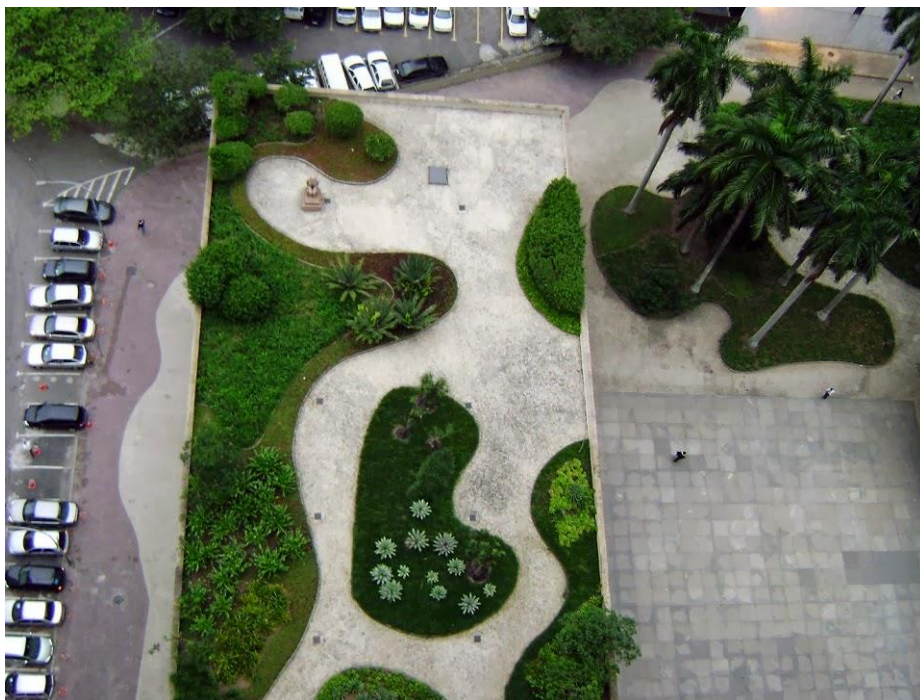
Na Islândia, por exemplo, as Sod Houses se tornaram componentes muito comuns na paisagem, podendo ser encontradas intactas pelo país até os dias atuais. Em climas frios, como o da Islândia, a cobertura vegetal por cima das edificações era uma forma de aumentar o conforto térmico, mantendo a temperatura no interior da construção (SADDI, 2010).

No início do século XX, o movimento arquitetônico modernista ressurgiu com os telhados verdes como uma forma de embelezamento das estruturas. Frank Lloyd Wright, Le Corbusier e o paisagista Roberto Burle Marx, no Brasil, tomam a liderança na defesa do novo conceito, conhecido também como telhado-jardim (SADDI, 2010). Porém, os telhados-jardim eram utilizados apenas como uma forma de adorno da edificação e, portanto, considerados onerosos. Aos poucos foram entrando em desuso por serem considerados como uma técnica de alto padrão (SADDI, 2010).

Com o advento da urbanização, o surgimento das metrópoles e o aumento da poluição nas grandes cidades, o telhado verde volta a ser empregado em meados do século XX, entretanto, desta vez como uma forma para suprir a falta de áreas verdes e uma tentativa de diminuição da poluição nas áreas urbanas da Europa e Estados Unidos (SADDI, 2010).

No Brasil e na América Latina como um todo, esta técnica construtiva demorou para ser difundida e, portanto, ainda é considerada nova. No Brasil, uma das mais famosas e antigas edificações em que foi utilizada a técnica construtiva do telhado verde é o Palácio Gustavo Capanema (antigo terraço-jardim Roberto Burle Marx), projetado por Lúcio Costa, inspirado nem Le Corbusier, apresentado nas Figuras 2 e 3 (SADDI, 2010).

Figura 2 – Telhado verde do Palácio Gustavo Capanema.



Fonte: História e Arquitetura (2013).

Figura 3 – Palácio Gustavo Capanema.



Fonte: VITRUVIUS (2007).

Ainda hoje, esta técnica construtiva está em crescente uso nos centros urbanos, devido aos grandes benefícios ao meio ambiente e, também, econômicos, porém ainda falta muita pesquisa sobre o tema, principalmente sobre as espécies vegetais recomendadas. As maiores e mais informações que são utilizadas em solo nacional ainda são de fontes internacionais.

3.2 CLASSIFICAÇÃO DO TELHADO VERDE PELO TIPO DE VEGETAÇÃO

De acordo com a literatura, pode-se dividir telhados verdes em três tipos: extensivo, intensivo e semi-intensivo. Estes três tipos de telhados diferem-se entre si basicamente pela escolha da vegetação, que acarreta num maior ou menor custo de instalação e manutenção.

3.2.1 Telhado Verde Extensivo

As coberturas verdes extensivas são aquelas em que se utilizam vegetações de pequeno porte como herbáceas, sedums, gramíneas e musgos. Trata-se do tipo mais simples, mais leve e mais barato de telhado verde, já que este não necessita de uma camada muito grossa de substrato, pois o enraizamento destas espécies vegetais é superficial (SADDI, 2010).

Segundo Laroche (2004), a espessura do substrato em uma cobertura verde extensiva varia entre 5 cm e 15 cm de profundidade, pesando entre 73 kg m⁻² e 170 kg m⁻². O custo de manutenção de uma cobertura verde extensiva também é mínimo, pois estas espécies vegetais são muito resistentes e não necessitam de cuidados com fertilização ou irrigação após o seu estabelecimento. Além disso, é necessário pouco conhecimento técnico para instalar e manter uma cobertura verde extensiva (LAROCHE, 2004; SADDI, 2010). A manutenção de um telhado verde extensivo resume-se basicamente a duas inspeções anuais a fim verificar a integridade da estrutura instalada e retirar possíveis ervas daninhas que tenham germinado (LAROCHE, 2004). Contudo, apesar das vantagens listadas acima, este tipo de telhado verde não é projetado para ser uma área de lazer. Para manter a integridade da cobertura vegetal, é importante que o telhado seja um local isolado da circulação de pessoas. A Figura 4 apresenta um exemplo de telhado verde extensivo.

Figura 4 – Exemplo de telhado verde extensivo.



Fonte: BASEV Engenharia (2017).

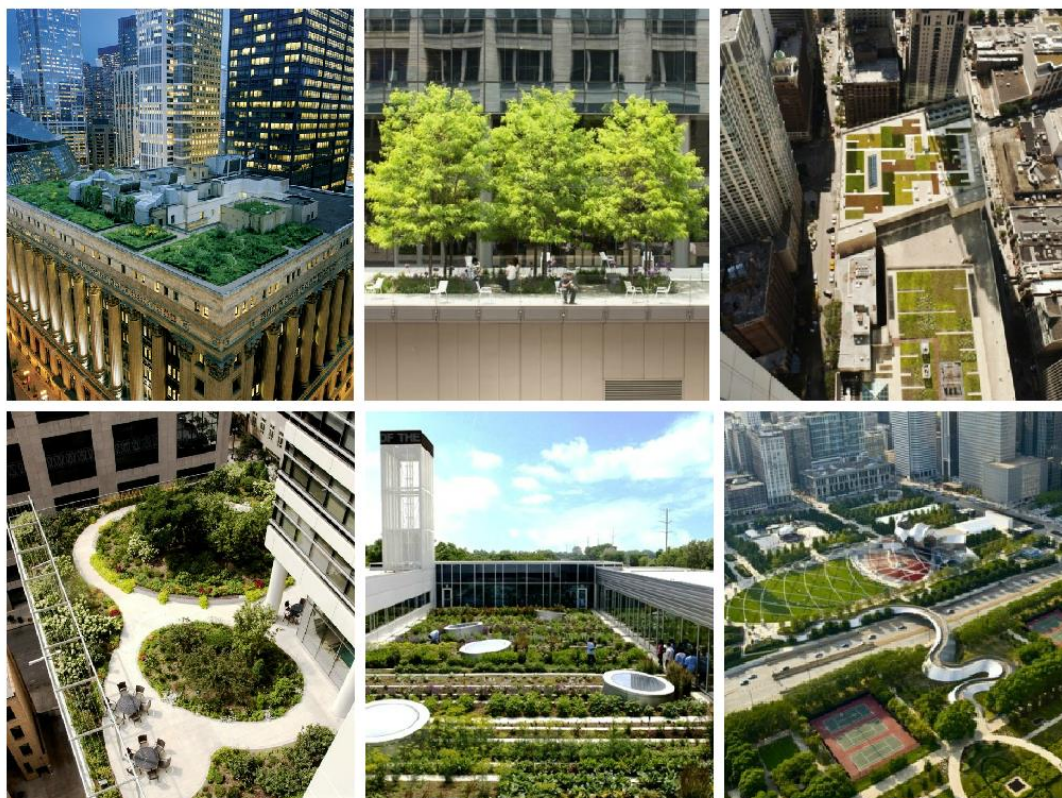
3.2.2 Telhado Verde Intensivo

A cobertura verde intensiva pode ser composta por uma grande diversidade vegetal, desde plantas de pequeno porte, como até arbustos. Trata-se de um tipo de telhado verde mais complexo e oneroso, pois exige manutenção frequente e cuidados com irrigação, poda e fertilização (CORRENT, 2016)

Neste tipo de telhado verde, a espessura do substrato pode ter grande variação de acordo com o tipo de cobertura vegetal escolhida, sendo esta superior a 15 cm, devido à maior profundidade das raízes. Portanto, trata-se também de uma estrutura mais pesada e com uma camada de substrato mais grossa (SADDI, 2010).

Este tipo de cobertura é muito utilizado em locais com acesso ao público e áreas de lazer. É mais agradável esteticamente e tem maiores capacidades de isolamento (térmico e acústico) e retenção de águas pluviais do que a cobertura extensiva, porém demandam dos mesmos cuidados que um jardim ao ar livre (SADDI, 2010; CORRENT, 2016). Na Figura 5 pode-se observar exemplos variados de telhados verdes intensivos, contendo desde vegetação mais baixa, até arbustos e árvores.

Figura 5 – Exemplos de telhados verdes intensivos.



Fonte: SUSTENTARQUI (2015).

3.2.3 Telhado Verde Semi Intensivo

Este tipo de cobertura verde mistura elementos da cobertura extensiva e da cobertura intensiva, sendo um meio termo entre estes dois modelos construtivos. Geralmente são telhados verdes com espécies vegetais de pequeno porte, porém com substratos mais profundos, de modo que proporcione uma variedade vegetal maior do que a de um telhado verde extensivo.

As coberturas vegetais semi-intensivas necessitam de maior manutenção, assim como o telhado verde intensivo, porém não são projetadas para serem áreas de acesso ao público, o que as torna, ao mesmo tempo, agradável esteticamente e mais leves. Portanto, em relação aos custos de instalação e manutenção, trata-se de um meio termo entre as coberturas extensivas e intensiva (CORRENT, 2016).

A Tabela 1 apresenta as principais vantagens e desvantagens dos telhados verdes extensivos e intensivos. O telhado verde semi-intensivo não foi considerado nesta análise comparativa por se tratar de uma junção de elementos dos dois modelos construtivos.

Tabela 1 – Vantagens e desvantagens de telhados verdes extensivos e intensivos.

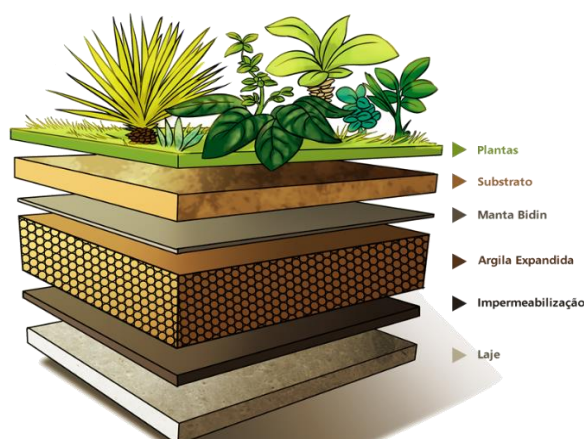
Telhado Verde Extensivo	Telhado Verde Intensivo
Vantagens	
Menor espessura de substrato (< 15 cm)	Maior diversidade vegetal
Desnecessária irrigação	Acessível ao público
Baixa manutenção	Maior diversidade vegetal
Estrutura leve	Esteticamente mais agradável
Menor custo	Maior retenção de águas pluviais
Desvantagens	
Pequena diversidade vegetal	Maior espessura de substrato (> 15 cm)
Não acessível ao público	Necessidade de sistema de irrigação
Menor retenção de águas pluviais	Necessidade de manutenção frequente
	Estrutura pesada

Fonte: Autora.

3.3 ETAPAS PARA A IMPLANTAÇÃO DO TELHADO VERDE

Independentemente do tipo de telhado verde, para a implantação a laje deve ser impermeabilizada que, em seguida, coberta com uma camada de argila expandida, geotêxtil (manta bidim), substrato (solo e areia), sobre o qual é realizado o plantio de espécies vegetais recomendadas para a região do projeto (Figura 6).

Figura 6 – Etapas constituintes de um telhado verde.



Fonte: BASEV ENGENHARIA (2017).

3.3.1 Impermeabilização

A impermeabilização da laje tem como objetivo impedir que a umidade que é absorvida pelo substrato do telhado verde cause infiltrações na edificação, comprometendo a estrutura (REBOLLAR, 2017). Apesar de simples, esta etapa é primordial para evitar gastos com manutenção. Para a realização da camada impermeabilizante em uma laje de concreto, como ocorre no Bloco 5 da FEG/UNESP, podem ser utilizados diversos produtos, como selador acrílico, tinta acrílica, manta asfáltica, lonas plásticas sobrepostas em camadas, geomembrana de PEAD, entre outros.

Independente do material selecionado para compor a camada impermeabilizante, é importante elevar este material pelo menos 40 cm nas paredes para que, em caso de chuva, a água empoçada não ultrapasse a camada impermeabilizante e infiltre na estrutura do telhado (REBOLLAR, 2017).

3.3.2 Camada Drenante

A camada drenante consiste em uma camada de 5 cm a 8 cm de espessura, geralmente composta por brita, argila expandida ou seixo rolado que tem como objetivo absorver toda a água pluvial que não foi retida pelo solo, além de atuar como um regularizador, mantendo a superfície reta (CARVALHO, 2017). Esta camada, composta por um material grosseiro, permite o escoamento da água coletada e filtrada para sua posterior drenagem. Devido ao menor peso acrescentado para a estrutura, o material mais indicado para compor esta camada é a argila expandida. Brita e seixo rolado são ótimos materiais para esta camada, mas são menos indicados por agregarem muito peso a estrutura. Apenas podem ser utilizados em estruturas de concreto armado e é possível que demandem de um reforço estrutural para sua utilização, o que torna a argila expandida mais interessante para esta função (REBOLLAR, 2017).

3.3.3 Camada Filtrante

A camada filtrante é camada que fica logo abaixo do substrato e tem como função filtrar a água que não foi retida pelo solo para que materiais sólidos não sejam carregados para a camada drenante. Os materiais mais utilizados nesta etapa são os geotêxteis de diferentes espessuras sobrepostos, sendo o mais fino em contato com o substrato e o mais

grosso em contato com a camada drenante (REBOLLAR, 2017). Para evitar que as raízes da vegetação invadam a camada filtrante e rompa os geotêxteis, comprometendo a integridade da estrutura, é interessante a implantação de uma camada de proteção. Esta proteção pode ser feita colocando-se um tecido não tramado muito fino entre o substrato e a camada filtrante (REBOLLAR, 2017).

3.3.4 Substrato

O substrato tem como função fixar as raízes da cobertura vegetal e fornecer nutrientes necessários para sua existência. A espessura da camada de solo depende do sistema de telhado verde selecionado, mas a composição de camadas é a mesma para todos. O substrato deve conter elevada quantidade de matéria orgânica e baixa porcentagem de argila (REBOLLAR, 2017).

Para telhados verdes, o mais indicado é utilizar substrato pronto para cultivo de hortaliças, como por exemplo, o *Plantimax* (nome comercial). No entanto, de acordo com Rebollar (2017), é possível produzir o próprio substrato, utilizando-se 60% de material orgânico (esterco, turfa ou terra preta), 20% de areia média e 20% de cinzas de casca de arroz ou carvão triturado, para auxiliar na filtração da água. Este autor destaca que não se deve utilizar solos muito argilosos, por serem muito pesados, de fácil compactação e, com o tempo, podem entupir a camada filtrante. Além disso, nos períodos de estiagem, a argila acumulada nesta camada poderá endurecer e dificilmente se reidratará posteriormente. Para inclinações superiores a 30% é necessário realizar um reforço para a fixação das raízes das espécies vegetais, evitando o carreamento do solo, auxiliando a retenção do substrato (REBOLLAR, 2017). Porém, é importante ressaltar que a composição do substrato varia de acordo com as necessidades da espécie vegetal. Para bromélias, por exemplo, foi verificado por Bruno (2016), que uma camada de 12 cm de areia lavada associada a uma fina camada de matéria orgânica (de apenas 3 cm) seria o suficiente, considerando que esta espécie possui raízes muito rasas. Esta hipótese foi aplicada novamente por Carvalho (2017) e Silva (2018), mostrando-se satisfatória em ambos os casos.

3.3.5 Vegetação

Segundo Rebollar (2017), a seleção da vegetação está diretamente ligada ao sistema de telhado verde adotado e as condições climáticas da região. Existem muitas opções de

plantas tanto para o tipo extensivo quanto para o intensivo, podendo-se utilizar apenas uma espécie para a cobertura ou uma associação de espécies. Telhados formados por mais de uma espécie (Figura 7) formam uma configuração estética muito agradável, entretanto são mais trabalhosos de se implantar, pois deve-se planejar cuidadosamente a posição de cada espécie vegetal para que elas sobrevivam. Os telhados formados por uma única espécie vegetal (Figura 8), no entanto, são mais fáceis de implantar, pois a tendência é o solo ser recoberto mais rapidamente (REBOLLAR, 2017).

Figura 7 – Telhado verde contendo uma associação de espécies vegetais.



Fonte: Rebollar (2017).

Figura 8 – Telhado verde contendo uma única espécie vegetal.



Fonte: Arquitetura & Construção (2017).

Segundo Carvalho (2017), para telhados verdes extensivos, o ideal é selecionar espécies vegetais de pequeno porte e enraizamento raso, que sejam adaptadas às condições climáticas da região, não necessitando de manutenção.

Dentre as espécies vegetais indicadas para esse tipo de telhado, têm sido utilizadas herbáceas, *sedums*, gramíneas e musgos, destacando-se o gênero *Sedum*, que inclui espécies nativas de climas desérticos e semidesérticos, adaptadas a extremos climáticos e que sobrevivem em solos rasos, podendo ser semeadas manualmente ou transplantadas na forma de mudas ou de tapetes pré-cultivados, que consistem em pequenas porções de vegetação prontas para a inserção em um fino substrato sobre um suporte, geralmente um geotêxtil (SADDI, 2010 apud SILVA, 2011).

No Brasil, a grama esmeralda (*Zoyzia japônica*) também é muito utilizada, porém esta é uma espécie vegetal que necessita de poda e adubação, o que confere maiores cuidados de manutenção ao telhado e se enquadra melhor em composições de estruturas semi-intensivas e intensivas (SILVA, 2011). Como alternativa, poderiam ser cultivadas bromélias, que apesar de terem um custo agregado um pouco maior, são espécies adaptadas ao clima local e que raramente precisam de cuidados como fertilização e irrigação, o que diminui o custo com manutenção futuramente (CARVALHO, 2017).

Quanto aos telhados verdes intensivos, pode-se utilizar basicamente qualquer tipo de espécie vegetal, tomando-se os devidos cuidados com o peso da estrutura. Neste tipo de cobertura é comum fazer a associação de variadas espécies vegetais, desde plantas de pequeno até médio porte, podendo incluir também espécies de grande porte, sendo as palmeiras espécies vegetais muito utilizadas nesse tipo de telhado, pois são muito resistentes a ventos (SADDI, 2010; SILVA, 2011)

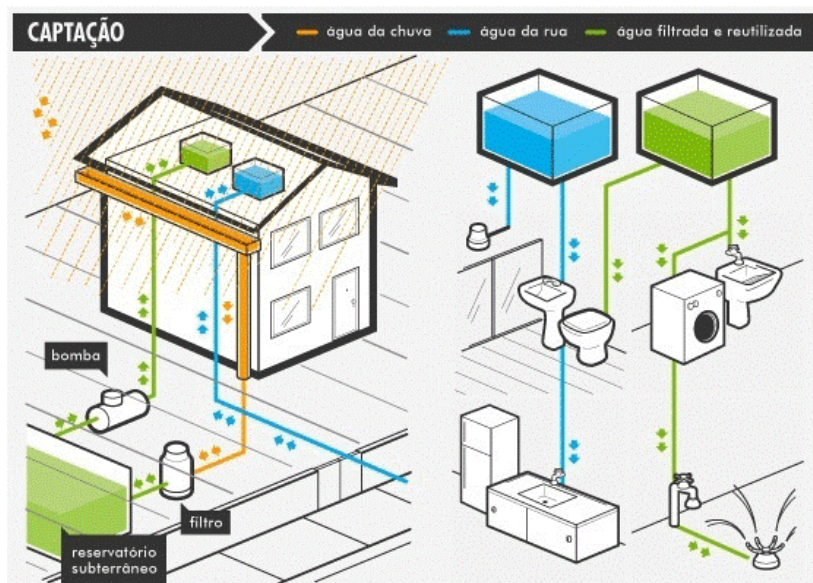
3.4 APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS

Com a impermeabilização cada vez maior das áreas urbanas, as águas provenientes das chuvas têm sido cada vez mais encaminhadas para o sistema de esgoto. Em muitos centros urbanos, as águas pluviais podem, inclusive, representar um problema, principalmente nos períodos de chuvas intensas. Devido ao descarte incorreto de lixo pode ocorrer o entupimento de bueiros e bocas de lobo, ocasionando acúmulo de água nas vias e alagamentos, que causam perdas materiais e até de vida humana e animal (SADDI, 2010).

Tais incidentes, além de gerarem custos ao poder público, também representam um grande desperdício de água, já que a maior parte do esgoto no Brasil não recebe o tratamento

adequado e acabam por poluir os mananciais. Além disso, o desperdício das águas pluviais também apresenta um impacto econômico importante ao proprietário da edificação, uma vez que esta água pode ser coletada, reservada e, posteriormente, utilizada no próprio edifício, para fins não potáveis, como em vasos sanitários, limpeza de áreas externas e irrigação de jardins. A Figura 9 apresenta um sistema de captação de águas pluviais em uma residência.

Figura 9 – Representação esquemática de um sistema de captação de águas pluviais.



Fonte: LEGADO CONSULTORIA (2018).

Coberturas vegetais como um todo auxiliam na absorção da água da chuva, diminuindo o fluxo que chegará à rede pública de esgoto. No caso de telhados verdes, especificamente, as águas pluviais coletadas são filtradas ao passar pelas camadas da cobertura e podem ser utilizadas posteriormente na própria manutenção do telhado em épocas de estiagem, se necessário (SADDI, 2010; LEGADO CONSULTORIA, 2018).

Existem diversos tipos de sistema de captação da água da chuva. No mais simples, a água é simplesmente coletada e reservada, enquanto nos mais completos, ela pode passar por um sistema de filtração e pode ser acrescentado pastilhas de cloro para garantir uma maior limpeza desta água (LEGADO CONSULTORIA, 2018).

3.5 VANTAGENS DO USO DE TELHADOS VERDES EM EDIFICAÇÕES

Como as diversas coberturas verdes apresentam características, vantagens e desvantagens distintas, neste tópico serão abordados os benefícios dos telhados verdes de um modo geral.

3.5.1 Conforto térmico e economia de energia

As edificações devem atender as necessidades dos usuários, fornecendo conforto e segurança. Quanto ao conforto térmico, os principais elementos construtivos que influenciam neste aspecto são a cobertura e as paredes. No caso de incidência solar intensa, a evapotranspiração da vegetação presente na cobertura verde pode atenuar a temperatura no interior da edificação.

De acordo com Saddi (2010), a cobertura verde auxilia no atraso térmico em relação à temperatura exterior e promove redução mais intensa da amplitude térmica interna que outros modelos construtivos de cobertura. Segundo este autor, da mesma forma que a cobertura verde auxilia na redução da amplitude térmica, também contribui para manter o calor interno, diminuindo as trocas de calor com o ambiente. Essa característica é interessante para regiões de climas extremos, por manter o conforto térmico das edificações (SADDI, 2010; REBOLLAR, 2017). Além disso, a cobertura verde reduz significativamente os custos com energia, por diminuir a necessidade de uso de ar-condicionado, ventiladores ou sistemas de aquecimento.

3.5.2 Conforto Acústico

Em ambientes urbanos, a poluição sonora causada pela grande quantidade de ruídos provenientes do ambiente externo da edificação, representa um problema. A grande circulação de veículos e pessoas, a aglomeração de construções uma ao lado da outra e o tráfego aéreo intenso ocasionam a propagação de diferentes sons que, em conjunto, se tornam fortes ruídos (REBOLLAR, 2017). A implantação de cobertura verde proporciona maior absorção de ruídos externos que os demais tipos de cobertura, impedindo que os mesmos adentrem as edificações.

Segundo Saddi (2010), as camadas necessárias para a implementação da cobertura vegetal amenizam os ruídos de impacto, como barulho de chuva, bem como, os ruídos de circulação, como os sons provenientes do trânsito e do tráfego aéreo.

3.5.3 Proteção e diminuição dos custos de manutenção

As coberturas verdes protegem o telhado da ação das altas temperaturas e ajudam a retardar a depreciação causada pela ação do tempo. Vale ressaltar que o telhado verde auxilia na preservação das camadas de impermeabilização do telhado, o que resulta, a longo prazo, em menos necessidade de manutenção. Logo, os custos com tratamento de patologias e de manutenção, em geral, são reduzidos durante a vida útil da edificação (LAROCHE, 2004; SADDI, 2010).

3.5.4 Alívio dos efeitos das ilhas de calor

Ilha de calor é um efeito climático causado pela falta de arborização e pelo excesso de edificações e superfícies impermeabilizadas em ambientes urbanos. Portanto, áreas verdes desempenham um importante papel nestes ambientes, promovendo a redução das temperaturas e trazendo mais conforto térmico (REBOLLAR, 2017).

O fenômeno conhecido como ilha de calor pode ser facilmente sentido em dias quentes. Em comparação com os centros urbanos, as áreas rurais tendem a ter temperaturas mais agradáveis. Isso acontece pois em ambientes urbanos, o aglomerado de construções e áreas impermeabilizadas refletem os raios solares, tendendo a manter a temperatura mais elevada no ambiente (REBOLLAR, 2017; SADDI, 2010).

Por outro lado, as superfícies verdes absorvem parte dos raios solares, diminuindo sua reflexão e reduzindo sensivelmente a temperatura ambiente, assim como a sensação térmica. Portanto, a implantação de sistemas construtivos verdes representa não só benefícios aos usuários da edificação, mas também a toda a sociedade do entorno.

3.5.5 Melhoria da qualidade do ar e redução da poluição atmosférica

Segundo Laroche (2004), coberturas verdes, principalmente as compostas por grama, são capazes de absorver uma grande quantidade de poluentes atmosféricos e melhorar significativamente a qualidade do ar. Isso acontece, porque os vegetais possuem a capacidade de absorver os poluentes atmosféricos e, por meio da fotossíntese transformar, o CO₂ em oxigênio (SADDI, 2010).

3.5.6 Economia de custos com água

A implantação da cobertura verde em conjunto com um sistema de captação de águas pluviais, pode gerar uma economia significativa dos custos do consumo de água de uma edificação. A água pluvial coletada e reservada não é potável, porém pode ser utilizada em diversas situações, como na irrigação do próprio telhado ou de jardins, em descarga de vasos sanitários, para limpeza de áreas externas, entre outros usos. Uma vantagem adicional para projetos que adotem o sistema de captação de águas pluviais em conjunto com o telhado verde é a diminuição de custos com a filtração e tratamento da água, pois a própria cobertura já auxilia neste processo, melhorando a qualidade da água coletada (SADDI, 2010).

3.5.7 Valorização financeira de imóveis e aumento da área útil

Telhados verdes são considerados um diferencial de valorização de um imóvel, aumentando seu valor de venda e de locação, mesmo quando ele não é de livre acesso ao público. Em alguns casos, porém, a cobertura verde pode até aumentar a área útil do imóvel (no caso de coberturas intensivas), aproveitando uma área que tradicionalmente não seria utilizada e transformando-a num espaço de lazer (SANTOS, 2017).

3.6 DESVANTAGENS DO USO DE TELHADOS VERDES EM EDIFICAÇÕES

Apesar de apresentar inúmeras vantagens em uma edificação, o telhado verde pode apresentar algumas desvantagens se comparado com a técnica construtiva tradicional. Neste tópico serão discutidos alguns aspectos que podem ser considerados como desvantagem deste modelo construtivo.

3.6.1 Elevados custos de instalação e de manutenção

Uma das principais desvantagens do telhado verde, em comparação com um telhado convencional, é seu custo de instalação. Como a cobertura verde é considerada uma técnica menos popular no Brasil, os custos para sua instalação (considerando materiais e a mão-de-obra) ainda são elevados (SANTOS, 2017).

Os custos com manutenção podem variar de acordo com as espécies vegetais utilizadas. Basicamente, a manutenção consiste em irrigação, poda e substituição de espécies vegetais e eventuais reparos nos elementos do telhado e do sistema de drenagem. Neste caso, os custos podem ser bastante reduzidos ao selecionar uma espécie vegetal local, com grande adaptação ao clima e ao solo da região. O uso de gramas também diminui a necessidade de poda, uma vez que o corte destas espécies em telhados verdes é fortemente desaconselhado (CARVALHO, 2017).

Porém, é importante ressaltar que, apesar de apresentar custos relativamente altos, o retorno financeiro que o telhado verde traz ao imóvel rapidamente compensa o investimento inicial. Além do mais, com a popularização deste modelo construtivo, existe uma tendência de diminuição gradativa deste custo (CARVALHO, 2017; SANTOS, 2017).

3.6.2 Necessidade de tratamento de patologias pré-existentes e reforço estrutural

Para que seja possível a instalação de um telhado verde é necessário um criterioso estudo acerca da estrutura da cobertura. O tratamento prévio de fissuras e trincas também é fundamental para evitar infiltrações e percolação de água para o interior da estrutura (ocasionando a oxidação das armaduras e demais malefícios).

O reforço estrutural nem sempre é necessário, principalmente quando se opta pela instalação de uma cobertura verde extensiva e de baixo peso, porém verificação desta possibilidade é imprescindível, pois independente da escolha do tipo de verde, sempre haverá um aumento de carga na cobertura.

Em alguns casos, os custos com reformas estruturais e com o tratamento de patologias podem ser muito elevados, até mesmo inviabilizando financeiramente a instalação do telhado verde (CARVALHO, 2017).

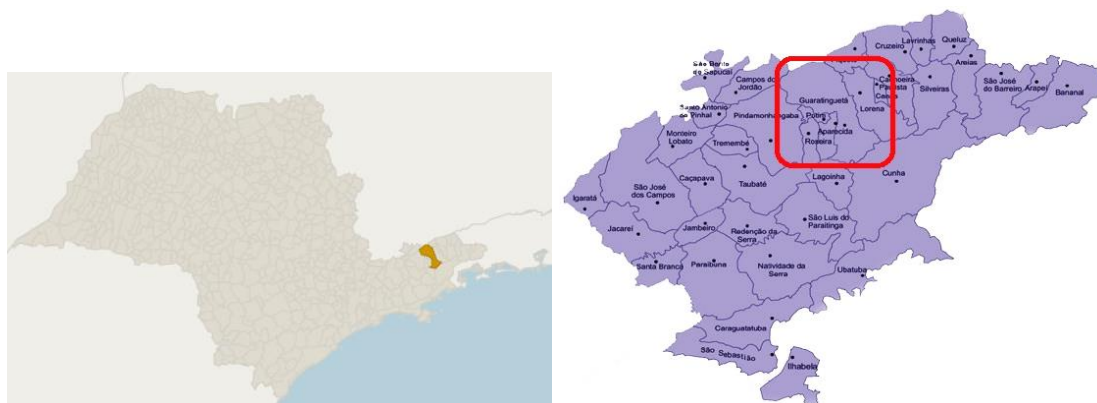
4 MATERIAL E MÉTODOS

No desenvolvimento deste trabalho foram pesquisadas e compiladas todas as informações obtidas na revisão bibliográfica e as geradas dos levantamentos na área de execução do projeto, o Bloco 5 da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá – FEG/UNESP e do município. Para isso foi realizado um diagnóstico da edificação, considerando os elementos construtivos e os dados do meio físico da região, como índices pluviométricos, clima e vegetação adaptável à localidade.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DO PROJETO

A Faculdade de Engenharia está situada no município de Guaratinguetá, no interior do Estado de São Paulo. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2019 o município de Guaratinguetá contava com aproximadamente 121.798 habitantes (IBGE, 2019). O município de Guaratinguetá, está localizado no Vale do Paraíba, uma região entre as capitais São Paulo e Rio de Janeiro, onde predomina a vegetação de Mata Atlântica. O clima é tropical de altitude e a temperatura média anual é de 22°C, sendo o verão com temperaturas muito elevadas e o inverno seco, principalmente, nas áreas urbanas (SPCIDADES, 2019). Na Figura 10 pode-se observar a localização do município de Guaratinguetá no Estado de São Paulo e na região do Vale do Paraíba e Litoral Norte, respectivamente.

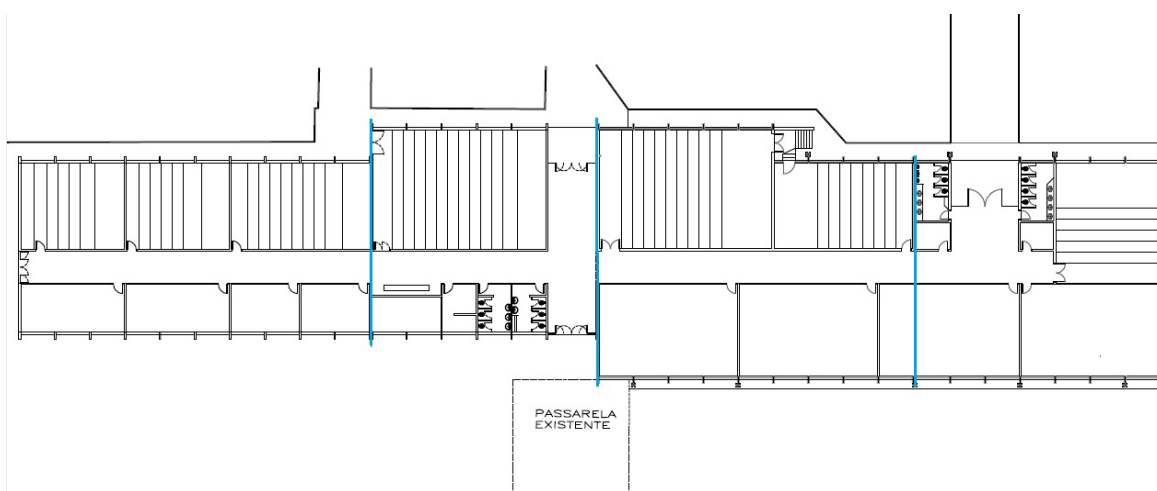
Figura 10 – Localização do município de Guaratinguetá no Estado de São Paulo e na Região do Vale do Paraíba



Fonte: IBGE (2020) e EMTU (2020).

Os projetos de telhado verde e de captação de águas pluviais para uso em fins não potáveis foi aplicado ao bloco 5 da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, *campus* de Guaratinguetá (FEG/UNESP), cuja planta baixa pode ser observada na Figura 11. Este bloco é ocupado por uma grande quantidade de salas de aulas, tanto da graduação, quanto do colégio técnico, além de anfiteatros, banheiros e salas para desenvolvimento de atividades de extensão e administrativas. Diariamente, muitas pessoas, entre funcionários, alunos e professores, circulam por esse ambiente, que apresenta diversas patologias, como trincas em paredes e pilares, além de diversas infiltrações, verificadas em vistoria no prédio em suas partes internas, externas e telhado.

Figura 11 – Planta baixa do bloco 5 da UNESP, *campus* de Guaratinguetá.



Fonte: Administração da FEG/UNESP.

Nos levantamentos “*in loco*” verificou-se a necessidade de tratamento para as patologias observadas no telhado no Bloco 5 (como trincas e rachaduras) antes da implantação do projeto de cobertura verde em conjunto com o sistema de captação de águas pluviais para uso em fins não potáveis, bem como a necessidade de um possível reforço estrutural. Porém, devido à complexidade destes procedimentos, este trabalho de graduação não se aprofundará neste tema. Além do tratamento das patologias existentes, o reforço estrutural é imprescindível para que o edifício possa suportar o peso adicional do telhado verde, pois, mesmo que se opte por um modelo mais simples de cobertura verde, ainda assim haverá um grande acréscimo de peso na estrutura. A área de execução deste projeto, a cobertura do Bloco 5, pode ser observada na Figura 12.

Figura 12 – Vista aérea do Bloco 5 da FEG-UNESP



Fonte: Google Earth (2021).

4.2 CÁLCULO DO ÍNDICE PLUVIOMÉTRICO

Segundo o Climate (2020), o município de Guaratinguetá tem como estação mais chuvosa o verão, sendo janeiro o mês de maior precipitação média de 303 mm. A estação mais seca ocorre no inverno, e julho é o mês mais seco, com uma precipitação média de 37 mm, como pode ser observado na Figura 13.

Figura 13 – Dados pluviométricos do município de Guaratinguetá

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maiο	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novem- bro	Dezembro
Temperatura média (°C)	23	23.3	22.4	21.1	18.5	17.7	17.3	18.5	20.1	21.4	21.4	22.6
Temperatura mínima (°C)	19.5	19.5	18.9	17.6	14.8	13.7	13	13.8	15.5	17.2	17.7	18.9
Temperatura máxima (°C)	27.5	28	26.9	25.7	23.2	22.8	22.7	24.5	26	26.8	26.2	27.2
Chuva (mm)	303	213	207	89	62	37	41	40	98	154	213	252
Umidade(%)	79%	77%	79%	77%	75%	73%	71%	66%	67%	72%	77%	78%
Dias chuvosos (d)	17	14	15	9	7	4	5	5	9	13	15	16

Fonte: Climate (2020).

Em Guaratinguetá, as temperaturas médias são relativamente altas durante o ano todo. Portanto, pode-se concluir que a vegetação utilizada para a implantação do telhado verde

precisa ser resistente a altas temperaturas e tempos de estiagem, preferencialmente não necessitando de sistema de irrigação. O índice pluviométrico médio mensal em Guaratinguetá é 142,42 mm e a temperatura média anual é 24,9° C.

4.3 METODOLOGIA

Para a realização deste trabalho de graduação foi feito uma extensa pesquisa e análise acerca dos diferentes tipos de coberturas verdes e métodos construtivos, bem como, várias opções de materiais que atenderiam as necessidades do projeto, como índice pluviométrico, resistência a altas temperaturas, facilidade de manutenção e implantação e viabilidade econômica. Inicialmente foi realizada uma ampla revisão bibliográfica acerca dos temas “telhado verde” e “captação de águas pluviais”, de modo a fundamentar teoricamente este projeto e esclarecer todos os conceitos importantes relacionados aos temas. Nestas pesquisas teóricas foram avaliadas as diferentes classificações de telhados verdes existentes, bem como suas vantagens e desvantagens, as etapas de implantação, os materiais possíveis de serem utilizados e seus custos-benefícios e métodos de dimensionamento de sistemas de captação de águas pluviais.

Também foi realizado um diagnóstico no bloco 5, com avaliação das áreas internas, externas e telhado para identificar em planta baixa e caracterizar as patologias a serem tratadas, com registros fotográficos e para compreender as necessidades do projeto. Nesta visita foi possível observar trincas em paredes, pilares e no telhado, além de diversas infiltrações. Este trabalho de graduação não teve como objetivo trazer alternativas para o tratamento destas patologias, mas é de suma importância salientar a necessidade de realização de uma reforma prévia para que seja viável a implantação da cobertura verde. Para este projeto foram analisadas as necessidades do prédio, o uso de materiais sustentáveis, o uso de espécies vegetais adequadas ao clima local, a facilidade de implantação e manutenção, bem como a viabilidade econômica da obra.

O projeto de telhado verde seguiu a metodologia de instalação tradicional por camadas, modelo largamente utilizado e documentado na literatura, porém é importante ressaltar que atualmente já existem diversos outros métodos, mais modernos, para a instalação de telhados verdes. Entre eles, os pré-moldados, que consistem em placas variadas, comercializadas por empresas especializadas, que podem ser aplicadas diretamente sobre a

cobertura (Figura 14). Este método é um exemplo de telhado verde de fácil instalação, porém com custos elevadíssimos em comparação à metodologia tradicional.

Figura 14 – Aplicação de um telhado verde modular



Fonte: Archi Expo (2021).

O projeto de captação de águas pluviais para uso em fins não potáveis tem como base os requisitos especificados nas normas ABNT NBR 15527:2019 (Aproveitamento de água de chuva de coberturas para fins não potáveis) e ABNT NBR 10844:1989 (Instalações prediais de águas pluviais), considerando a pluviosidade média do município de Guaratinguetá e a área de cobertura do Bloco 5.

4.3.1 Metodologia adotada no projeto de telhado verde

A cobertura verde selecionada para o bloco 5 da FEG/UNESP foi a do tipo extensivo, devido ao baixo custo, menor necessidade de manutenção, considerando que o telhado é uma área isolada da circulação de pessoas e demanda pouco conhecimento técnico.

Na seleção dos materiais a serem utilizados em cada camada da cobertura verde foi considerada a necessidade de acrescentar o mínimo de peso à estrutura, para evitar eventuais custos com reforços estruturais e, ao mesmo tempo, para atender plenamente as necessidades locais, com baixos custos.

Com base no clima de Guaratinguetá, fez-se necessário selecionar uma espécie vegetal resistente a altas temperaturas, longos períodos de sol pleno e de estiagem e com pouca exigência de manutenção. A seguir são descritos os materiais selecionados para cada etapa do projeto de telhado verde e uma breve justificativa para sua utilização.

4.3.1.1 Impermeabilização

Após a realização do tratamento das patologias pré-existentes no telhado, como fissuras e trincas e o reforço estrutural, caso seja identificada a necessidade, deve-se realizar também a limpeza e regularização da superfície, preparando-a para a aplicação da camada impermeabilizante.

De acordo com um estudo realizado por Solfa *et al.* (2020) em seu artigo “Avaliação de impermeabilizantes em telhados verdes”, entre os impermeabilizantes, manta asfáltica, manta de PVC e argamassa impermeabilizante, a manta de PVC foi a que mais se adequou a este projeto, apesar de apresentar um valor mais elevado que os demais.

Uma alternativa, cujo custo-benefício é melhor, é a manta asfáltica aderida. O custo do material é um pouco menor em relação à manta de PVC, além de apresentar bons resultados, sendo muito utilizada em telhados verdes, como relatado na literatura.

O processo de impermeabilização começa com a aplicação de um *primer* na superfície limpa e seca do telhado. Após a secagem do produto, por tempo determinado pelo fabricante, pode-se aplicar a manta asfáltica, com o auxílio de um maçarico (Figura 15).

Figura 15 – Aplicação da massa asfáltica com o auxílio de um maçarico.



Fonte: TELHANORTE BLOG (2020).

Todo o processo de aplicação da manta asfáltica deve ser realizado acordo com a NBR 9952 – Manta asfáltica para impermeabilização (ABNT, 2014), sendo a espessura

determinada pela norma de 3 mm. Este processo demanda de mão de obra especializada e também possui custos relativamente altos, apesar de menores do que o da manta de PVC. Porém esta etapa é de suma importância para garantir a integridade da estrutura a longo prazo, pois a manta asfáltica possui uma durabilidade de 20 a 30 anos (TELHANORTE BLOG, 2020).

4.3.1.2 Camada drenante

Para a camada drenante, uma boa opção de material é a argila expandida, devido ao seu baixo peso e custo relativo, além de sua fácil aquisição. A camada drenante deve ter, no mínimo, 5 cm, podendo variar de espessura em alguns pontos (CARVALHO, 2017). Além de permitir a drenagem da água que não foi absorvida pelo substrato, esta camada também tem um importante papel de agir como reguladora da superfície do telhado, uma vez que a camada impermeabilizante pode deixá-la irregular em alguns pontos, devido às juntas e ao arredondamento da manta asfáltica previstos em norma, o que justifica a sua espessura irregular em alguns pontos.

A aplicação da argila expandida é relativamente simples, mas é necessário proteger previamente os drenos que farão parte do sistema de captação de águas pluviais com a manta geotêxtil para prevenir a passagem de outros materiais, além da água, que podem causar entupimentos no sistema (CARVALHO, 2017). Na Figura 16 pode ser observada uma laje com a camada de drenagem, constituída de argila expandida.

Figura 16 – Aplicação da camada de drenagem em uma laje.



Fonte: AGRIURBANA (2021).

4.3.1.3 Camada filtrante

A camada filtrante, também chamada de camada de proteção, tem a função de impedir a passagem de impurezas, provenientes do substrato, para a área de drenagem.

Para esta etapa é indicado o uso de uma manta geotêxtil logo acima da camada drenante, de modo a recobri-la completamente (Figura 17).

Figura 17 – Aplicação de uma manta geotêxtil



Fonte: Leroy Merlin (2021).

4.3.1.4 Substrato

Para a camada de substrato há a opção de comprar material próprio para o cultivo de plantas, porém, uma boa alternativa para reduzir o peso acrescido na cobertura é a utilização de areia, além da matéria orgânica que fornecerá os nutrientes para a sobrevivência da vegetação. Para coberturas extensivas, esta camada (incluindo a areia e demais materiais) tem em média 15 cm, podendo variar de espessura de acordo com a espécie vegetal escolhida.

A escolha do material que irá compor a camada de substrato do projeto dever ser pensada em função da vegetação escolhida para recobrir o telhado verde, neste caso, a bromélia. De acordo com Bruno (2016) e Carvalho (2017), uma camada de 12 cm de areia lavada e outra de 3 cm de matéria orgânica são suficientes para o cultivo satisfatório de

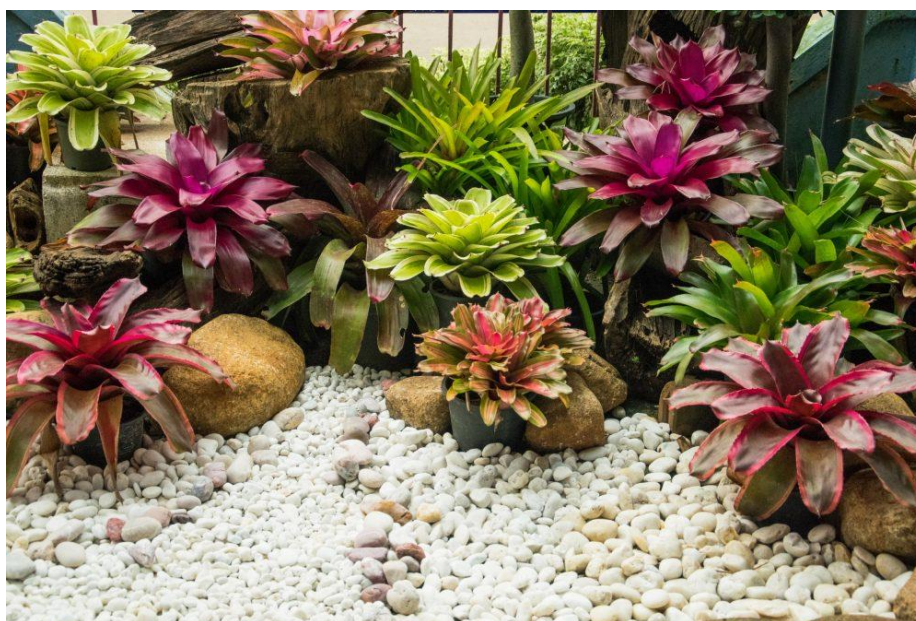
espécies de bromélias, que são plantas com raízes rasas, adaptadas a grandes períodos de estiagem e grande exposição solar.

4.3.1.5 Vegetação

A seleção da vegetação para recobrir a cobertura verde é uma das partes mais importantes do projeto, pois impactará diretamente nos custos com manutenção, na espessura e escolha do material para o substrato, camada que gera grande acréscimo de carga sobre a estrutura do telhado, o que está intrinsicamente ligado ao projeto de reforço estrutural.

Entre as alternativas para telhados verdes extensivos, que têm sido amplamente utilizadas, destacam-se as gramíneas, como a grama esmeralda e a grama amendoim (*Arachis repens*), que é uma espécie vegetal brasileira. Outra opção é a utilização de bromélias, que são espécies vegetais de pequeno porte, de baixo peso e grande adaptabilidade ao clima local. Algumas espécies de bromélias são brasileiras, ideais para zonas tropicais e subtropicais e com grande valor ornamental (Figura 18).

Figura 18 – Variedade de cores e formas das bromélias



Fonte: Infoescola (2020).

Como pode ser observado na Figura 18, as bromélias são apreciadas em todo o mundo, pela grande variedade de cores e formatos (SILVA, 2018), sendo uma cobertura verde, que valorizará a arquitetura do prédio do Bloco 5, da FEG – UNESP.

A polinização das bromélias ocorre de variadas formas e a sua utilização em telhados verdes se mostra mais interessante em relação às gramíneas, devido ao baixo custo que acarretará com fertilização, poda e irrigação, tendo em vista que estas plantas são capazes de se manter apenas com a irrigação natural proveniente da chuva (BRUNO, 2016).

A Figura 19 apresenta um protótipo de telhado verde, realizado no Rio de Janeiro, com três espécies de bromélias (*neoregelia cruenta*, *neoregelia cruenta* var. *rubra* e *neoregelia cruenta* var. *marmorata*).

Figura 19 – Bromélias em um protótipo de telhado verde



Fonte: Bruno (2016).

4.3.2 Metodologia adotada no projeto de captação de águas pluviais

Visando tornar o projeto de telhado verde para o Bloco 5 da FEG-UNESP mais sustentável e viável economicamente, foi projetado um sistema de coleta de águas pluviais simples e de baixo custo, porém eficiente. Para isso foram considerados a pluviosidade média de Guaratinguetá, de 1709 mm ano^{-1} ou 142 mm mês^{-1} , e o excedente de águas pluviais a ser reservado, para posterior utilização na limpeza do bloco 5 em épocas de estiagem. O dimensionamento dos elementos do sistema de captação de água foi realizado com base na norma NBR 10844 - Instalações prediais de águas pluviais (ABNT, 1989).

4.3.2.1 Estimativa do potencial de captação

Para a realização dos cálculos foram utilizados os parâmetros da curva IDF (intensidade, duração e frequência), obtidos por meio do *Software Pluvio*, da Universidade Federal de Viçosa – UFV, como demonstra a Equação 1:

$$I = \frac{K * (TR)^a}{(t + b)^c} \quad (1)$$

Onde,

$K = 1981,874$;

$a = 0,135$;

$b = 18,774$;

$c = 0,855$;

$R = 5$ anos.

K ”, “ a ”, “ b ” e “ c ” são parâmetros correspondentes aos dados pluviométricos do local e TR corresponde ao tempo de retorno da precipitação de intensidade máxima.

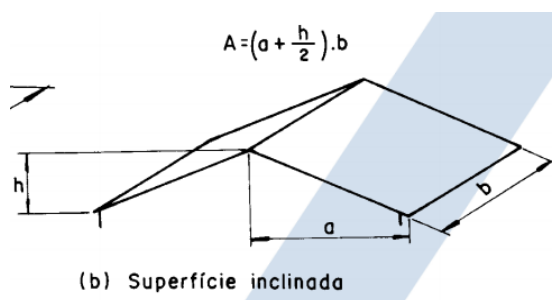
4.3.2.2 Cálculos da área do telhado, inclinação e vazão

Para o dimensionamento do sistema de captação de águas pluviais foi utilizada como base, a estrutura do telhado existente, com uma inclinação (i) de 5%. A cobertura do bloco 5 tem formato retangular, com área construída total de 1053,27 m². A área de contribuição (A) foi calculada pela Equação 2.

$$A = \left(a + \frac{h}{2}\right) * b \quad (2)$$

Onde “ a ”, “ h ” e “ b ” são medidas em metros estabelecidas na Figura 20.

Figura 20 – Telhado de superfície inclinada



Fonte: NBR 10844 (ABNT, 1989).

Onde:

a = largura de uma seção (água) do telhado;

b = comprimento;

h = altura.

A vazão de projeto (Q) foi calculada pela Equação 3.

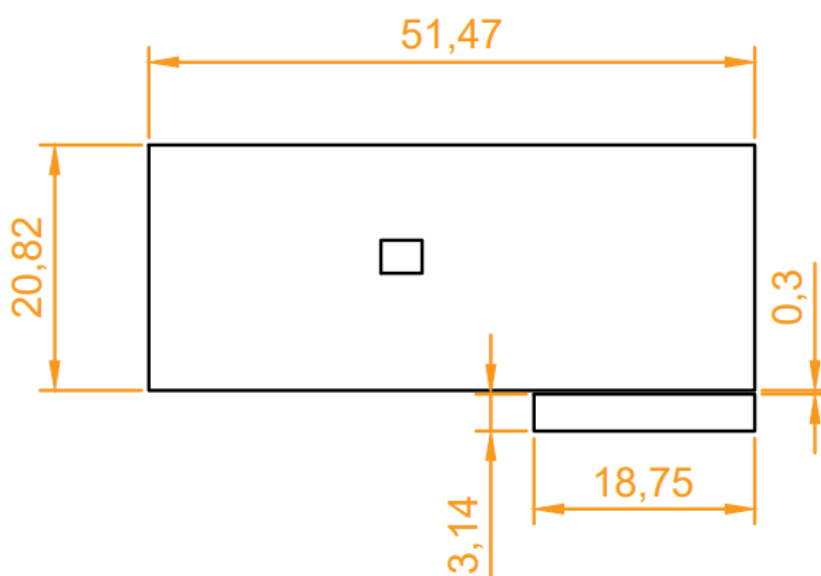
$$\frac{I \cdot A}{60} \quad (3)$$

Onde:

I = intensidade pluviométrica (mm h^{-1}).

Para o cálculo da área de contribuição (A) e da vazão de projeto (Q), foram consideradas as dimensões pré-existent da cobertura do Bloco 5 e uma inclinação de 5% (Figura 21).

Figura 21 – Cobertura do Bloco 5 cotada



Fonte: Autora.

Foram calculados valores de área de contribuição igual a $562,59 \text{ m}^2$ para uma água do telhado.

4.3.2.3 Dimensionamento dos condutores horizontais

As calhas são os elementos que recebem a água pluvial proveniente da cobertura e a conduz para seu destino. O cálculo do dimensionamento das calhas foi realizado conforme a NBR 10844 (ABNT, 1989), com base na equação de Manning-Strickler, apresentada na Equação 4.

$$K * \left(\frac{S}{n}\right) * R_h^{\frac{2}{3}} * i^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

Onde:

Q = vazão de projeto (L min⁻¹);

S = área da seção molhada (m²);

R_h = raio hidráulico (m);

i = declividade da calha (m m⁻¹);

n = coeficiente de rugosidade;

e K = 60000.

Na prática, o dimensionamento das calhas considera o coeficiente de rugosidade do material selecionado e a declividade, apresentados, respectivamente, nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2 – Coeficientes de rugosidade

Material	n
plástico, fibrocimento, aço, metais não-ferrosos	0,011
ferro fundido, concreto alisado, alvenaria revestida	0,012
cerâmica, concreto não-alisado	0,013
alvenaria de tijolos não-revestida	0,015

Fonte: NBR 10844 (ABNT, 1989).

Tabela 3 – Diâmetro interno de calhas semicirculares em função da vazão de projeto para algumas declividades determinadas

Tabela 3 - Capacidades de calhas semicirculares com coeficientes de rugosidade $n = 0,011$ (Vazão em L/min)

Diâmetro interno (mm)	Declividades		
	0,5%	1%	2%
100	130	183	256
125	236	333	466
150	384	541	757
200	829	1.167	1.634

Fonte: NRB 10844 (ABNT, 1989).

Definindo o material utilizado como aço galvanizado ($n = 0,011$) e a declividade máxima de 5%, verificou-se pela Equação de Manning-Strickler, que o diâmetro interno das calhas semicirculares é satisfatório, a partir de 170 mm.

4.3.2.4 Dimensionamento dos condutores verticais

Os condutores verticais são os elementos que recebem a água coletada pelas calhas e a conduzem para a parte inferior do edifício. O dimensionamento dos condutores verticais foi realizado, considerando os ábacos apresentados na norma NBR 10844 (ABNT, 1989), admitindo-se que o diâmetro interno de 200 mm é satisfatório para o projeto.

4.3.2.5 Dimensionamento do reservatório

O reservatório é o elemento construtivo que receberá a água da chuva coletada pelos condutores horizontais e verticais e a armazenará para ser utilizada para fins não potáveis posteriormente. O dimensionamento do reservatório foi realizado considerando as metodologias sugeridas pela norma NBR 15527 - Aproveitamento de água de chuva de coberturas para fins não potáveis (ABNT, 2019).

Para o cálculo do volume do reservatório (V), esta norma indica o método de *Rippl*, aplicado a partir das seguintes equações:

$$V = C \times \text{precipitação da chuva} \times A \quad (5)$$

$$V = D_t - Q_t \quad (6)$$

$$\sum S_t \quad (7)$$

Onde:

S_t : volume de água no reservatório em um tempo t ;

D_t : demanda de água em um tempo t ;

Q_t : volume de chuva aproveitável em um tempo t ;

e C : coeficiente de escoamento superficial.

A demanda de água (D_t), neste caso, é definida pela exigência da vegetação do telhado. Considerando o uso de bromélias, que não demandam de irrigação, e adotando um coeficiente de escoamento superficial, que considera a absorção de água pelo substrato, a demanda de água é nula e toda água escoada será reservada.

O coeficiente de escoamento superficial varia de acordo com a estrutura do telhado e sua inclinação, variando de 0,8 a 1,0 em telhados convencionais. Porém, para telhados verdes, essa variação pode ser ainda maior, dependendo também de sua vegetação e substrato. (KOLB, 2003).

A Tabela 4 apresenta a variação do coeficiente de escoamento superficial em telhados verdes, em função da inclinação e espessura do substrato.

Tabela 4 – Coeficiente de escoamento superficial em telhados verdes

Espessura ℓ (cm)	Coeficiente de escoamento superficial para telhado verde	
	Inclinação até 15°	Inclinação acima de 15°
$\ell \geq 50$	0,1	-
$25 \leq \ell < 50$	0,2	-
$15 \leq \ell < 25$	0,3	-
$10 \leq \ell < 15$	0,4	0,5
$6 \leq \ell < 10$	0,5	0,6
$4 \leq \ell < 6$	0,6	0,7
$2 \leq \ell < 4$	0,7	0,8

Fonte: Jobim (2013).

Portanto, levando em consideração uma camada de matéria orgânica de 3 cm de espessura; período (t) de um mês; o valor de C de 0,65; A de 1125,19 m² (para as duas águas do telhado); Q_t de 142 mm ano⁻¹ (índice pluviométrico anual médio) e D de 0 mm (demanda de água pela vegetação), obteve-se: $S_t = V = 104.159,38$ L.

Alguns autores estipulam uma porcentagem de água utilizada em torneiras externas e descargas de vasos sanitários para a realização do dimensionamento do reservatório. Porém, por se tratar de um prédio com grande circulação de pessoas, esta mensuração torna-se mais difícil de ser realizada. Portanto, o dimensionamento do reservatório foi realizado considerando a capacidade total de armazenamento de água, sem contar com estes descontos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste tópico serão apresentados os projetos de telhado verde e de captação de águas pluviais para a cobertura do Bloco 5 da FEG-UNESP. Também será apresentado o detalhamento dos projetos, os custos de cada um, com materiais e mão-de-obra, o custo total, e os benefícios esperados com a implantação da cobertura verde.

5.1 PROJETO DE TELHADO VERDE

O telhado verde foi projetado de modo a proporcionar um equilíbrio entre o acréscimo de carga sobre a cobertura e um menor investimento financeiro. Existem outras maneiras de se instalar uma cobertura verde, até mais práticas e com um acréscimo menor de carga, porém considerando a viabilidade econômica do projeto e um menor custo com reformas estruturais prévias, optou-se por modelos que representassem melhor custo-benefício.

O tipo de telhado verde escolhido para ser instalado na cobertura do Bloco 5 da FEG-UNESP foi o extensivo, pois trata-se de um modelo mais simples e com menos acréscimo de carga, o que representa menores custos com reformas estruturais e, também, com manutenções a longo prazo. Este tipo de cobertura verde é indicada para áreas em que não ocorre circulação de pessoas.

A partir da escolha da espécie vegetal que recobrirá o telhado, é possível então determinar os demais elementos que o constituirão. A vegetação escolhida foi a bromélia do tipo *neoregelia cruenta*, o substrato será composto por 12 cm de areia lavada e 3 cm de matéria orgânica, seguindo a metodologia descrita por Bruno (2016) e Carvalho (2017) e os materiais selecionados para a camada drenante, filtrante e impermeabilizante são, respectivamente, geotêxtil, argila expandida e manta asfáltica.

A bromélia foi selecionada por ser uma espécie vegetal de porte pequeno, própria para o clima e para o índice pluviométrico da região e, principalmente, por possuir raízes rasas, o que diminui a sobrecarga decorrente da camada de substrato. Apesar de não ser a escolha mais econômica para o projeto, foi a opção que apresentou melhor custo-benefício, considerando que, na maioria dos casos, essa espécie dispensa fertilização, poda e irrigação (CARVALHO, 2017).

5.1.1 Custos com matéria prima e orçamento da obra

De acordo com as dimensões da planta de cobertura do prédio, foi realizada uma cotação das principais matérias-primas utilizadas no projeto e, para fins de cálculo, foi considerado um percentual de perda de 10%.

Os preços considerados para o orçamento da obra representam a média dos valores encontrados durante a cotação e serviram como referência para este projeto, podendo oscilar de acordo com os preços vigentes no mercado no momento da execução do telhado verde.

Os valores da areia média lavada e argila expandida foram fornecidos pela loja Leroy Merlin. O preço do geotêxtil bidim foi fornecido pela loja MadeiraMadeira. Os valores da matéria orgânica foram obtidos pela Loja Petz e o das mudas de bromélia foram obtidos no Mercado Livre.

O Quadro 1 apresenta o orçamento dos principais materiais utilizados na construção do telhado verde.

Quadro 1 – Orçamento simplificado dos principais materiais utilizados na construção do telhado verde.

Material	Unidade	Necessidade (uni)	Custo (un)	Custo (total)
Manta asfáltica	10 m ²	116	R\$ 353,90	R\$ 41.052,40
Argila Expandida	50 L	1160	R\$ 25,90	R\$ 30.044,00
Geotêxtil	230 m ²	5	R\$ 814,20	R\$ 4.071,00
Areia média lavada	1 m ³	140	R\$ 204,90	R\$ 28.686,00
Matéria orgânica	20 kg	2	R\$ 24,99	R\$ 49,98
Bromélia	1 uni	3700	R\$ 9,99	R\$ 36.963,00
TOTAL =				R\$ 140.866,38

Fonte: Autora.

5.2 PROJETO DE CAPTAÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS

Com o objetivo de tornar a obra ainda mais sustentável, foi projetado um sistema de captação de água pluviais simples, porém com alta capacidade para armazenamento. Todo o dimensionamento foi realizado com base nas normas vigentes e os materiais escolhidos para compor este projeto foram condutores de PVC.

5.2.1 Custos com matéria prima e orçamento da obra

O dimensionamento dos condutores horizontais, verticais e do reservatório foram realizados por meio das equações apresentadas anteriormente. De acordo com as dimensões da planta de cobertura do prédio, foi realizada uma cotação das principais matérias-primas utilizadas no projeto. Para fins de cálculo foi utilizado um percentual de perda de 10%. Os preços considerados para o orçamento da obra representam a média dos valores obtidos na cotação e serviram de referência para o projeto, mas podem oscilar, de acordo com os preços vigentes no mercado no momento da execução do telhado verde. Os preços dos componentes do telhado foram fornecidos pelo site Mercado Livre e são apresentados em detalhe no Quadro 2.

Quadro 2 – Orçamento simplificado dos principais materiais utilizados na construção do sistema de captação de águas pluviais.

Material	Quantidade/ unidade	Necessidade (unidade)	Custo (unidade)	Custo (total)
Calha semicircular PVC 170mm	3 m	48	R\$ 262,52	R\$ 12.600,96
Conexão - Emenda	1 uni	44	R\$ 57,96	R\$ 2.550,24
Suporte de calha (abraçadeira)	10 uni	13	R\$ 220,16	R\$ 2.862,08
Conexão - Curva	1 uni	5	R\$ 39,90	R\$ 199,50
Condutor vertical	6 m	6	R\$ 489,90	R\$ 2.939,40
		TOTAL =		R\$ 21.152,18

Fonte: Autora.

Não foi adotado um orçamento para o reservatório, tendo em vista que para valores tão elevados de capacidade, é necessária a construção de uma estrutura própria para a realização do armazenamento da água.

5.3 BENEFÍCIOS ESPERADOS

Apesar dos altos custos envolvidos nos projetos de telhado verde e de captação de águas pluviais, a realização desta obra pode resultar em diversos benefícios às instalações do Bloco 5 da FEG/ UNESP. Além dos benefícios, como a proteção da estrutura, diminuição da necessidade de manutenções estruturais, melhoria dos isolamentos térmico e acústico, entre outros, a implantação de um telhado verde, com sistema de captação de águas pluviais também poder gerar benefícios financeiros, uma vez que a água coletada poderá ser redirecionada posteriormente aos vasos sanitários dos banheiros, para limpeza das áreas externas, irrigação das espécies vegetais presentes no Campus e demais necessidades.

A cobertura verde foi planejada para ser autossuficiente, não necessitando de sistema de irrigação e demandando apenas do mínimo de manutenção, tendo em vista que a bromélia é uma espécie vegetal adaptada ao clima local e muito resistente a altas temperaturas e longos períodos de estiagem, porém serão necessárias vistorias constantes para garantir o perfeito funcionamento das calhas e dos condutores verticais instalados. Com a instalação de uma cobertura verde e a arborização local, algumas impurezas, como folhas, flores e detritos de animais, podem cair no sistema de condutores do sistema de captação de águas pluviais, por isso, a limpeza deve ser mantida constantemente.

Apesar da necessidade de vistorias constantes e, eventualmente, manutenções, estas demandas não precisam de uma mão de obra especializada, podendo ser realizada pelos funcionários do campus, ao contrário do processo de implantação do projeto que necessita da contratação de profissionais especializados.

5.3.1 Economia de recursos hídricos

Devido a pandemia de COVID-19, que resultou na paralização das atividades da FEG – UNESP em 2020 e 2021, o ano utilizado como referência para os cálculos realizados foi o de 2019. De acordo com o site da FEG-UNESP, o total acumulado em despesas de água e esgoto no ano de 2019 foi de R\$ 65.876,06, que corresponde à despesa média de R\$ 5.489,67 mensal, como o demonstrado nos Quadros 3 e 4.

Quadro 3 – Despesas com água e esgoto da FEG/UNESP em 2019

FEG - UNESP: DESPESAS COM ÁGUA E ESGOTO EM 2019					
JANEIRO	FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO
R\$ 9.969,27	R\$ 962,02	R\$ 962,02	R\$ 1.145,02	R\$ 5.273,16	R\$ 18.970,14
JULHO	AGOSTO	SETEMBRO	OUTUBRO	NOVEMBRO	DEZEMBRO
R\$ 2.196,04	R\$ 3.792,35	R\$ 932,42	R\$ 1.330,31	R\$ 1.504,31	R\$ 18.839,00

Fonte: Autora.

Quadro 4 – Despesas acumuladas com água e esgoto da FEG/UNESP em 2019

FEG - UNESP: TOTAL ACUMULADO EM DESPESAS COM ÁGUA E ESGOTO EM 2019					
JANEIRO	FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO
R\$ 9.969,27	R\$ 10.931,29	R\$ 11.893,31	R\$ 13.038,33	R\$ 18.311,49	R\$ 37.281,63
JULHO	AGOSTO	SETEMBRO	OUTUBRO	NOVEMBRO	DEZEMBRO
R\$ 39.477,67	R\$ 43.270,02	R\$ 44.202,44	R\$ 45.532,75	R\$ 47.037,06	R\$ 65.876,06

Fonte: Autora.

De acordo com a Companhia de Serviços de Água, Esgoto e Resíduos de Guaratinguetá (SAEG), a tarifa para abastecimento de água para a categoria comercial e pública é de R\$12,48 por m³, para consumo superior a 50 m³. Já para o esgoto, a tarifa é de R\$9,98 para consumo a 50m³. Os valores das tarifas praticadas pela SAEG são apresentados nos Quadros 5 e 6.

Quadro 5 – Tarifas de abastecimento de água para categoria comercial e pública no município de Guaratinguetá em 2019

TARIFAS SAEG - CATEGORIA COMERCIAL OU PÚBLICA			
De 0 a 10 m³ (valor único)	De 11 a 20 m³ (por m³)	De 21 a 50 m³ (por m³)	Acima de 50 m³ (por m³)
R\$ 39,89	R\$ 4,57	R\$ 7,47	R\$ 12,48

Fonte: Autora.

Quadro 6 – Tarifas de esgoto para categoria comercial e pública no município de Guaratinguetá em 2019

TARIFAS SAEG - CATEGORIA COMERCIAL OU PÚBLICA			
De 0 a 10 m³ (valor único)	De 11 a 20 m³ (por m³)	De 21 a 50 m³ (por m³)	Acima de 50 m³ (por m³)
R\$ 31,91	R\$ 3,65	R\$ 5,97	R\$ 9,98

Fonte: Autora.

O consumo médio mensal de água da FEG/UNESP, com tarifa de água igual a 297 m³, corresponde a um custo de R\$ 2.775,37, como pode ser observado no Quadro 7.

Quadro 7 – Estimativa do consumo médio mensal de água da FEG/UNESP em 2019

Metragem	Água	Esgoto
10 m ³	R\$ 39,89	R\$ 31,91
de 11 a 20 m ³	R\$ 45,67	R\$ 36,53
de 21 a 50 m ³	R\$ 224,01	R\$ 179,13
acima de 50 m ³	R\$ 2.465,80	R\$ 2.465,80
TOTAL (297 m ³) =	R\$ 2.775,37	R\$ 2.713,37
ÁGUA E ESGOTO =	R\$ 5.488,74	

Fonte: Autora.

Portanto, considerando uma média mensal de armazenamento de 105.000 L (105 m³), com a adoção do sistema de captação, armazenamento e consumo de águas pluviais, poderá

ocorrer uma diminuição de 142 m³ na tarifa de água e esgoto, como pode ser observado no Quadro 8.

Quadro 8 – Custo médio mensal de água após a instalação do sistema de captação de água pluviais

Metragem	Água	Esgoto
10 m ³	R\$ 39,89	R\$ 31,91
de 11 a 20 m ³	R\$ 45,67	R\$ 36,53
de 21 a 50 m ³	R\$ 224,01	R\$ 179,13
acima de 50 m ³	R\$ 1.417,59	R\$ 1.417,59
TOTAL (142 m ³) =	R\$ 1.727,16	R\$ 1.665,16
ÁGUA E ESGOTO =	R\$ 3.392,31	

Fonte: Autora.

A economia média por mês, caso seja utilizado todo o volume armazenado, será de R\$ 2.096,43 e, portanto, ao longo de um ano a economia pode ser da ordem de R\$ 25.157,15.

5.4 CUSTOS FINAIS DE PROJETO E TEMPO DE RETORNO

Os projetos de telhado verde e de sistema de captação de águas pluviais configuram, em conjunto, um alto custo de investimento, porém com um médio tempo de retorno. Somando-se os dois, o investimento, apenas com matéria prima, será de aproximadamente R\$ 162.018,56, como pode ser observado no Quadro 9.

Quadro 9 – Estimativa do consumo médio mensal de água após a instalação do sistema de captação de água pluviais

PROJETO	CUSTO	CUSTO PERCENTUAL
TELHADO VERDE	R\$ 140.866,38	87%
CAPTAÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS	R\$ 21.152,18	13%
TOTAL =	R\$ 162.018,56	100%

Fonte: Autora.

Como foi possível concluir, haverá uma economia com recursos hídricos de cerca de R\$ 25.157,15 por ano, logo o tempo de retorno do valor investido será de 6,4 anos.

Trata-se de uma obra que com uma vida útil longa, caso as manutenções periódicas sejam feitas de maneira correta. Os elementos mais caros do projeto possuem uma vida útil

de até 30 anos, portanto, tomando-se as devidas precauções, não há previsão de custos agregados durante o tempo de retorno da obra.

Neste trabalho de graduação não foram calculados os valores de investimento em mão de obra para a construção do reservatório de água, mas levando em consideração a grande diferença de vida útil e tempo de retorno, é possível estimar que, mesmo com grandes custos de mão de obra, ainda assim a obra se mantém vantajosa financeiramente.

6 CONCLUSÕES

Para a implantação do telhado verde será necessária a realização de uma análise estrutural prévia para a verificação da viabilidade técnica. Provavelmente, haverá a necessidade de execução de um reforço estrutural, além do tratamento das patologias observadas durante a vistoria feita em 2020 para dar início a este projeto. Este procedimento será importante para garantir a segurança do projeto devido à sobrecarga que ele acrescentará na estrutura.

O modelo de telhado verde selecionado para ser instalado é o tradicional extensivo, devido ao menor acréscimo de sobrecarga e custos envolvidos no projeto. Para a etapa de impermeabilização foi selecionada a manta asfáltica, seguida de uma fina camada de argila expandida, como camada de drenagem. Para a camada de filtração foi selecionado o geotêxtil bidim, enquanto, para o substrato, determinou-se a utilização de uma camada mais grossa de areia (12 cm) e uma mais fina de (3 cm) de matéria orgânica.

A espécie vegetal selecionada para compor o telhado verde foi a bromélia, por ser resistente a longos períodos de estiagem e a altas temperaturas, por ser uma planta de pequeno porte e muito comum na região, não exigido podas ou fertilizações constantes. A bromélia torna o projeto de telhado verde mais autossustentável e, também, aumenta o valor arquitetônico do edifício, pois esta é uma espécie vegetal que apresenta flores de diversas cores e formatos, muito apreciadas esteticamente.

A proposta de sistema captação de águas pluviais foi realizado em atendimento às normas NBR 10844 (ABNT, 1989) e NBR 15527 (ABNT, 2019), considerando a pluviosidade média do município de Guaratinguetá, de 1709 mm ano⁻¹, resultando num excedente de águas pluviais de 105.000 L reservados para fins não potáveis, como a limpeza do Bloco 5, utilização em vasos sanitários, entre outros.

As propostas são de alto custo, sendo cerca de 87% correspondente ao telhado verde e 13% ao sistema de captação de águas pluviais, mas apresentam médio tempo de retorno do investimento, de 6,4 anos sem considerar os custos de mão de obra, custos com manutenção e economia de recursos hídricos, com forte impacto econômico positivo na fatura de água e esgoto.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10844:** instalações prediais de águas pluviais. Rio de Janeiro: ABNT, 1989.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15527:** manta asfáltica para impermeabilização. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9952:** instalações prediais de águas pluviais. Rio de Janeiro: ABNT, 1989.
- AGRIURBANA. **Argila Expandida 2215:** miúda. Maringá: Agriurbana, [2021]. Disponível em: <https://www.agriurbana.com.br/produto/argila-expandida-miuda-2215/>. Acesso em: 10 out. 2021.
- ARCHI EXPO. **Kit para telhado verde - HYDROPACK.** [Batavia, NY: Virtual Expo Group, 2021]. Disponível em: <https://www.archiexpo.com/pt/prod/le-prieure-vegetal-id/product-72351-1277853.html>. Acesso em: 10 out. 2021.
- ARQUITETURA & CONSTRUÇÃO. **Telhado verde:** como montar o seu usando sistemas prontos. São Paulo: Abril Mídi, 2017. Disponível em: <https://arquiteturaeconstrucao.abril.com.br/sustentabilidade/como-montar-o-seu-telhado-verde-usando-sistemas-prontos/>. Acesso em: 11 ago. 2020.
- BASEV ENGENHARIA. **Telhado verde.** Joaçaba: Base V Engenharia, 2017. Disponível em: <https://basev.com.br/telhado-verde/>. Acesso em: 06 ago. 2020.
- BRUNO, M. **Projeto da bancada experimental de telhado verde para estudo de retenção e retardo de águas pluviais.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10016748.pdf>. Acesso em: 10 out. 2021.
- CARVALHO, G. M. **Proposta técnica e econômica da implantação de um sistema de telhado verde.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <http://www.repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10020976.pdf>. Acesso em: 10 out. 2021.
- CLIMATE. **Clima:** Guaratinguetá. [São Paulo: Climate-Data.org, 2020]. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/location/3088>. Acesso em: 11 ago. 2020.
- CORRENT, L.; LEHMANN, P. Telhado verde: da Babilônia aos tempos atuais. **Revista Científica Semana Acadêmica**, Fortaleza, n. 107, 2017. Disponível em: <https://semanaacademica.org.br/artigo/telhado-verde-da-babilonia-aos-dias-atuais>. Acesso em: 10 jul. 2020.

EMTU – EMPRESA METROPOLITANA DE TRANSPORTES URBANOS DE SÃO PAULO. **Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte**. São Paulo: São Paulo Governo do Estado, 2020. Disponível em: <http://www.emtu.sp.gov.br/emtu/institucional/quem-somos/vale-do-paraiba-e-litoral-norte.fss>. Acesso em: 21 nov. 2020.

FERRAZ, I. L. **O desempenho térmico de um sistema de cobertura verde em comparação ao sistema tradicional de cobertura com telha cerâmica**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2012. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-07062013-144209/pt-br.php>. Acesso em: 25 out. 2020.

FERREIRA, C.A.; MORUZZI, R. B. **Considerações sobre a aplicação do telhado verde para captação da água da chuva em sistemas de aproveitamento para fins não potáveis**. Rio Claro, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP, 2007. Disponível em: https://igce.rc.unesp.br/Home/Departamentos47/planejamentoterritorialegeoprocessamento640/md_rodrigo_artigos_consideracoes.pdf. Acesso em: 21 nov. 2020.

GARRIDO NETO, P. S. **Telhados verdes associados a sistemas de aproveitamento de água da chuva**: projeto de dois protótipos para futuros estudos sobre esta técnica compensatória em drenagem urbana e prática sustentável na construção civil. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, 2012.

GONZAGA, G. B. M.; LIMA, J. V. F.; T. NETO, L.; ROLEMBERG, R. R.; SANTOS, L. R. L. Telhado verde: uma proposta sustentável para a construção civil. **Caderno de Graduação**: Ciências Exatas E Tecnológicas – UNIT, Alagoas, v. 4, n. 2, 2017. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/fitsexatas/article/view/5213>. Acesso em: 15 out. 2020.

GOOGLE EARTH. Disponível em: <https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>. Acesso em: 1 nov. 2021.

HISOURL. **Casa Sod**. [Londres: HiSoURL], 2018 Disponível em: <https://www.hisour.com/pt/sod-house-29722/>. Acesso em: 11 ago. 2020.

HISTÓRIA E ARQUITETURA. **O telhado de verde de Le Corbusier**. [Porto Alegre: Tema Espetacular], 2013. Disponível em: <http://historiaearquitetura.blogspot.com/2013/10/o-telhado-verde-de-le-corbusier.html>. Acesso em: 11 ago. 2020.

INFOESCOLA. **Bromélias**. [2020]. Disponível em: <https://www.infoescola.com/biologia/bromelias/>. Acesso em: 21 out. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Cidades**. [Rio de Janeiro: IBGE], 2017. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/guaratingueta/panorama>. Acesso em: 03 ago. 2020.

JOBIM, A. L. **Diferentes tipos de telhados verdes no controle quantitativo de águas pluviais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Santa Maria, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/7842/JOBIM,%20ALAN%20LAMBERTI.pdf?sequence=1#:~:text=Existem%20dois%20tipos%20principais%20de,seu%20lento%20e%20baixo%20crescimento>. Acesso em: 07 ago. 2020.

KOLB, W. Telhados de cobertura verde e manejo de águas pluviais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DE CHUVA, 4., 2013, Juazeiro. **Anais [...]**. Juazeiro, 2013. Disponível em: <https://www.docsity.com/pt/telhado-de-cobertura-verde-manejo-de-aguas/4739239/>. Acesso em: 23 nov. 2020.

LAROCHE, D.; MITCHELL, A. M.; PÉLOQUIN, S. **Les Toits Verts aujourd'hui: c'est construire Le Montréal de Demain**. Montréal, 2004. Disponível: <https://ocpm.qc.ca/sites/ocpm.qc.ca/files/pdf/41/8aa.pdf>. Acesso em: 20 out. 2020.

LEGADO CONSULTORIA. **Captação de água da chuva para uso residencial**. Rio de Janeiro: Legado Consultoria, 2018. Disponível em: <https://legadoconsultoriajr.com.br/blog-captacao-agua-chuva/>. Acesso em: 23 nov. 2020.

LEROY MERLIN. **Manta Geotêxtil 5m² Bidim Drenagem Jardim Lago Geotêxteis**. 2021. Disponível em: https://www.leroymerlin.com.br/manta-geotextil-5m2-bidim-drenagem-jardim-lago-geotexteis_1567567891. São Paulo, Leroy Merlin, [2021]. Acesso em: 25 out. 2021.

MERCADO LIVRE. **Ebazar.com.br LTDA**. Osasco, 2021. Disponível em: <https://www.mercadolivre.com.br/>. Acesso em: 27 out. 2021.

REBOLLAR, N. A. P.; REBOLLAR, P. B. **Telhados verdes: uma abordagem multidisciplinar**. Florianópolis: LEDIX, 2017. p. 17-122.

SADDI, G. K.; MOURA, O. R. **Cobertura verdes: análise do impacto de sua implantação sobre a redução do escoamento superficial**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás (UFGO), Goiânia, 2010. Disponível em: https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/140/o/COBERTURAS_VERDES_-_ANALISE_DO_IMPACTO_DE_SUA_IMPLANTA%C3%87%C3%83O_SOBRE_A_REDUC%C3%87%C3%83O_DO_ESCOAMENTO_SUPERFICIAL.pdf. Acesso em: 21 set. 2020.

SAEG – COMPANHIA DE SERVIÇO DE ÁGUA, ESGOTO E RESÍDUOS DE GUARATINGUETÁ. **Tarifas**. [SAEG: Guaratinguetá], 2020. Disponível em: <https://saeg.net.br/tarifas/>. Acesso em: 01 nov. 2021.

SOLFA, G. O.; COSTA, D. Y.; APARECIDO, C. F. F. Avaliação de impermeabilizantes em telhados verdes. In: FÓRUM DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO UNIFUNEC, 11.,

2021, Santa Fé do Sul. **Anais [...]**. Santa Fé do Sul, 2021. Disponível em: <https://seer.unifunec.edu.br/index.php/forum/article/view/4865>. Acesso em: 10 out. 2021.

SANTOS, G. C.; SANTOS, N. C.; SOUSA, M. N. B.; COSTA A. S.; CASTRO, E. K. F.; PEREIRA, M. F.; FARIAS, R. Avaliação da temperatura do telhado de diferentes materiais de cobertura para construção do telhado de aviários móveis. **Revista Agroecossistemas: Núcleo de Meio Ambiente (NUMA)**, Pará, v. 9, n. 2, p. 308–315, 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufpa.br/index.php/agroecossistemas/article/view/5094>. Acesso em: 07 ago. 2021

SILVA, C. N. **Telhado verde: sistema a construtivo de maior eficiência e menor impacto ambiental**. 2011. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, 2011. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-9AEGBV/1/telhado_verde__sistema_construtivo_de_maior_efici_ncia_e_menor_impacto__ambiental.pdf. Acesso em: 07 set. 2021.

SILVA, M. P. **Análise de um protótipo de telhado verde como técnica compensatória em drenagem urbana**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10024357.pdf>. Acesso em: 10 out. 2021.

SUSTENTARQUI. **6 exemplos de telhados verdes em Chicago**. Rio de Janeiro: SUSTENTARQUI, 2015. Disponível em: <https://sustentarqui.com.br/6-exemplos-de-telhados-verdes-em-chicago/>. Acesso em: 06 ago. 2020.

TELHANORTE BLOG. **Como aplicar manta asfáltica no telhado**. São Paulo: Saint-Gobain Distribuição Brasil, [2020]. Disponível em: <https://blog.telhanorte.com.br/como-aplicar-manta-asfaltica-telhado/>. Acesso em: 10 out. 2021.

TELHANORTE BLOG. **Tipos de manta impermeabilizante**. São Paulo: Saint-Gobain Distribuição Brasil, [2020]. Disponível em: <https://blog.telhanorte.com.br/tipos-manta-impermeabilizante/>. Acesso em: 10 out. 2021.

SPCIDADES. **A força do Interior: Guaratinguetá**. [São Paulo], 2019. Disponível em: <http://spcidades.com.br/cidade.asp?codigo=358>. Acesso em: 11 ago. 2020.

VITRUVIUS. **Arquitetismo: entrevista com Eduardo Barros**. [São Paulo], 2007. Disponível em: <https://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitetismo/01.006/1349>. Acesso em: 11 ago. 2020.

YEMAL, J. A.; TEIXEIRA, N. O. V.; NÄÄS, I. A. Sustentabilidade na construção civil. *In: INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION*. 3., 2011, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo, 2011.