

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**HELOISA BALBINOTTI MOLINETE**

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO TELHADO VERDE, DO TIPO EXTENSIVO, NO  
CONFORTO TÉRMICO E NA RETENÇÃO DE ÁGUA PLUVIAL EM UMA  
EDIFICAÇÃO, DETERMINADO PELO USO DE UM PROTÓTIPO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PATO BRANCO**

**2021**

**HELOISA BALBINOTTI MOLINETE**

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO TELHADO VERDE, DO TIPO EXTENSIVO, NO  
CONFORTO TÉRMICO E NA RETENÇÃO DE ÁGUA PLUVIAL EM UMA  
EDIFICAÇÃO, DETERMINADO PELO USO DE UM PROTÓTIPO**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado como requisito parcial para a  
conclusão do Curso de Engenharia Civil da  
Universidade Tecnológica Federal do  
Paraná, *campus* Pato Branco.

Orientador: Prof. Dr. José Ilo Pereira Filho

**PATO BRANCO**

**2021**

**TERMO DE APROVAÇÃO**
**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO - TCC**
**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO TELHADO VERDE, DO TIPO EXTENSIVO, NO CONFORTO TÉRMICO E NA RETENÇÃO DE ÁGUA PLUVIAL EM UMA EDIFICAÇÃO, DETERMINADO PELO USO DE UM PROTÓTIPO**

Por

HELOISA BALBINOTTI MOLINETE

Monografia apresentada 19 de agosto de 2021, às 13h00min, no Campus PATO BRANCO da UTFPR, como requisito parcial, para conclusão do Curso de ENGENHARIA CIVIL da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Pato Branco. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação e conferidas, bem como achadas conforme, as alterações indicadas pela Banca Examinadora, o trabalho de conclusão de curso foi considerado APROVADO.

Banca examinadora:

Prof. Dr. FABIANO OSTAPIV	Membro
Prof. Dr. PAULO CEZAR VITORIO JUNIOR	Membro
Prof. Dr. JOSÉ ILO PEREIRA FILHO	Orientador
Profª. Drª. ELIZÂNGELA MARCELO SILIPRANDI	Professor(a) responsável TCCII



Documento assinado eletronicamente por (Document electronically signed by) **PAULO CEZAR VITORIO JUNIOR, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em (at) 23/08/2021, às 08:56, conforme horário oficial de Brasília (according to official Brasilia-Brazil time), com fundamento no (with legal based on) art. 4º, § 3º, do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por (Document electronically signed by) **JOSE ILO PEREIRA FILHO, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em (at) 23/08/2021, às 10:22, conforme horário oficial de Brasília (according to official Brasilia-Brazil time), com fundamento no (with legal based on) art. 4º, § 3º, do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por (Document electronically signed by) **FABIANO OSTAPIV, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em (at) 24/08/2021, às 18:26, conforme horário oficial de Brasília (according to official Brasilia-Brazil time), com fundamento no (with legal based on) art. 4º, § 3º, do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por (Document electronically signed by) **ELIZANGELA MARCELO SILIPRANDI, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em (at) 25/08/2021, às 07:21, conforme horário oficial de Brasília (according to official Brasilia-Brazil time), com fundamento no (with legal based on) art. 4º, § 3º, do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site (The authenticity of this document can be checked on the website) [https://sei.utfpr.edu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.utfpr.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador (informing the verification code) **2183953** e o código CRC (and the CRC code) **A415770C**.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente, à Deus pelo dom da vida e pela oportunidade de viver esse momento.

Aos meus pais, Celso e Maristela, por me apoiarem em todos momentos de minha vida, e em especial por me incentivarem sempre me dedicar ao máximo em tudo que me proponho a fazer.

À minha irmã, Letícia, que é minha companheira em mais esse momento da minha vida.

Ao meu esposo, Tiago, por todo apoio e compreensão em tantos momentos de dificuldade.

Ao meu orientador, Prof. Dr. José Ilo Pereira Filho, por todo auxílio, pelo conhecimento transmitido e pela sua compreensão durante toda realização deste trabalho.

Ao meu pai e meu esposo, por toda ajuda na montagem da estrutura.

À UTFPR Pato Branco, por ceder e emprestar alguns dos materiais e equipamentos utilizados.

À toda equipe de terceirizados da instituição, por toda ajuda com os materiais.

À Claudia Regina Bernardi Baldin, pelo auxílio com os instrumentos de medição.

Aos membros da banca, os professores Paulo Cezar Vitorio Junior e Fabiano Ostapiv, pelas contribuições que enriqueceram este trabalho.

A todos colegas e amigos que de alguma forma contribuíram, quero deixar meus sinceros agradecimentos.

*“Semear ideias ecológicas e plantar sustentabilidade é ter a garantia de colhermos um futuro fértil e consciente.”*  
Sivaldo Filho

## RESUMO

MOLINETE, Heloisa Balbinotti. Avaliação da Influência do Telhado Verde, do Tipo Extensivo, no Conforto Térmico e na Retenção de Água Pluvial em uma Edificação, Determinado pelo Uso de um Protótipo, 2021, 49 pgs. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Departamento Acadêmico de Construção Civil – UTFPR, Pato Branco, 2021.

Estudos de diferentes tecnologias, como os telhados verdes, são de grande importância para fomentar alternativas viáveis que minimizar as altas temperaturas do interior das edificações, além de favorecer a comunidade reduzindo ilhas de calor e a possibilidade de inundações. Dessa forma, buscou-se neste trabalho avaliar a influência de um telhado verde no conforto térmico, por meio do uso de um protótipo. As medições de temperatura foram realizadas com um *datalogger* e um medidor de estresse térmico. Após a obtenção dos dados, definiu-se um dia típico de verão e um dia típico de inverno, conforme NBR 15575 (ABNT, 2013), para o cálculo e análise do atraso e amplitude térmica e da temperatura radiante média. Os dados da captação e escoamento de água pluvial não foram obtidos, devido ao baixo volume de chuvas no local de estudo, conforme apresentado pelo Monitor de Secas (ANA, 2021), entretanto outros trabalhos foram apresentados, nos quais resultados positivos foram obtidos neste quesito. O protótipo apresentou resultados satisfatórios para todos os parâmetros de análise térmica, indicando que o telhado verde pode favorecer o conforto térmico em uma edificação.

Palavras-chave: Telhado verde. Conforto térmico. Atraso térmico. Amplitude térmica. Temperatura radiante média.

## **ABSTRACT**

MOLINETE, Heloisa Balbinotti. Evaluation of the Green Roof Influence, of the Extensive Type, in the Thermal Comfort and the Retention of Rainwater in a Building, Determined by the Use of a Prototype, 2021, 49 pgs. Civil Engineering Undergraduate Thesis (Bachelor's Degree) – Department of Building Construction, Federal Technological University of Paraná – UTFPR, Pato Branco, 2021.

Researches on different technologies, such as green roofs, are of great importance to promote viable alternatives that minimize high temperatures inside buildings, in addition benefits the community by reducing heat islands and the possibility of flooding. Thus, this study pursued to evaluate the influence of a green roof on thermal comfort, through the use of a prototype. Temperature measurements were performed with a datalogger and a thermal stress meter. After obtaining the data, a typical summer day and a typical winter day were defined, according to NBR 15575 (ABNT, 2013), for the calculation and analysis of the delay and thermal amplitude and the average radiant temperature. Data on the collection and runoff of rainwater were not obtained, due to the low volume of rainfall at the study place, as presented by the Drought Monitor (ANA, 2021), however other studies were presented, in which positive results were obtained in this regard. The prototype presented satisfactory results for all thermal parameters, indicating that the green roof can favor thermal comfort in a building.

Key words: Green roof. Thermal comfort. Thermal delay. Thermal range. Average radiant temperature.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ilustração de parte da edificação que abriga os jardins suspensos da Babilônia com a Torre de Babel ao fundo (autor desconhecido).....	13
Figura 2: Jardim suspenso no Palazzo Piccolomini, em Pienza, Itália.....	14
Figura 3: Foto da Torre de Guinigi com sete carvalhos, em Lucca, Itália.....	14
Figura 4: Sinuosidade do terraço-jardim e do jardim do térreo vistos do alto do Edifício Gustavo Capanema na cidade do Rio de Janeiro.....	16
Figura 5: Projeto paisagístico de Burle Marx para a laje superior do Banco Safra, em São Paulo Foto Juliana Monferdini.....	16
Figura 6: Tipos de telhado verde.....	19
Figura 7: Sistema Modular.....	21
Figura 8: Sistema FLAT.....	21
Figura 9: Esquemático Sistema Alveolar Leve.....	11
Figura 10: Esquemático Sistema Alveolar Grelhado.....	11
Figura 11: Esquemático Sistema Laminar Médio.....	12
Figura 12: Esquemático Sistema Laminar Alto.....	13
Figura 13: Detalhe Esquemático Sistema Laminar Alto.....	13
Figura 14: Tabela de critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão.....	17
Figura 15: Tabela de critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno.....	17
Figura 16: Mapa das zonas bioclimáticas brasileiras.....	18
Figura 17: Localização aproximada do telhado verde.....	23
Figura 18: Ilustração de telhado verde bicicletário.....	23
Figura 19: Nivelção do terreno e locação das sapatas.....	24
Figura 20: Concretagem das sapatas.....	24
Figura 21: Estrutura do telhado.....	25
Figura 22: Camada de drenagem.....	26
Figura 23: Camada de substrato.....	26
Figura 24: Camada de vegetação.....	26
Figura 25: Telhado verde finalizado.....	27
Figura 26: Detalhamento das camadas do telhado verde.....	27
Figura 27: Detalhamento da estrutura metálica com medidas em centímetros.....	28



Figura 28: Detalhamento da estrutura com medidas em centímetros.....	28
Figura 29: Monitor de estresse térmico da marca Questemp® 34 .....	29
Figura 30: Datalogger AK 174 .....	31
Figura 31: Suporte para Datalogger acoplado ao telhado .....	32
Figura 32: Suporte para medição de temperatura externa .....	32
Figura 33: Variação de temperatura .....	35
Figura 34: Variação de temperatura no dia típico de verão.....	36
Figura 35: Variação de temperatura no dia típico de inverno .....	37
Figura 36: Imagem termográfica da superfície abaixo do telhado.....	41
Figura 37: Imagem termográfica da superfície acima do telhado (vegetação).....	41
Figura 38: Comparativo do Sul do Brasil de Março a Junho no "Monitor de Secas" .	42

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Classificação Geral das Coberturas Verdes .....	18
Tabela 2 Critérios estabelecidos pela NBR 15575-1 .....	16
Tabela 3 Conversão dos valores de inclinação de porcentagem em graus e vice-versa .....	25
Tabela 4 Temperaturas típicas de Pato Branco e Curitiba .....	33
Tabela 5 Dados do atraso térmico .....	38
Tabela 6 Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão conforme NBR 15575 (ABNT, 2013) .....	39
Tabela 7 Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão conforme NBR 15575 (ABNT, 2013) .....	39

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
1.1 OBJETIVOS.....	11
1.1.1 Objetivo geral .....	11
1.1.2 Objetivos específicos .....	11
1.2 JUSTIFICATIVA.....	11
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>13</b>
2.1 CONTEXTO HISTÓRICO .....	13
2.2 DEFINIÇÃO DE TELHADO VERDE .....	17
2.2.1 Tipos de telhado verde.....	17
2.2.1.1 Intensivo.....	18
2.2.1.2 Semi-intensivo .....	18
2.2.1.3 Extensivo .....	19
2.2.2 Camadas componentes de um telhado verde.....	19
2.2.3 Sistemas de aplicação e construção.....	20
2.3 INFLUÊNCIA DO TELHADO NA EDIFICAÇÃO E NO MEIO AMBIENTE URBANO.....	13
2.4 TEMPO DE ESCOAMENTO DA ÁGUA PLUVIAL .....	14
2.5 DESEMPENHO E CONFORTO TÉRMICO DA EDIFICAÇÃO .....	15
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	<b>22</b>
3.1 COMPOSIÇÃO DO TELHADO .....	22
3.2 PARÂMETROS ANALISADOS .....	28
3.2.1 Temperatura radiante média .....	28
3.2.2 Atraso e amplitude térmica.....	31
3.2.3 Avaliação da captação e escoamento de água pluvial pelo telhado verde ..	33
<b>4. RESULTADOS</b> .....	<b>35</b>
4.1 ATRASO E AMPLITUDE TÉRMICA .....	35
4.2 TEMPERATURA RADIANTE MÉDIA .....	39
4.3 CAPTAÇÃO E ESCOAMENTO DA ÁGUA PLUVIAL PELO TELHADO VERDE	
42	
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>44</b>
5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	45
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>46</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Devido à grande expansão do meio urbano, e por consequência, o agravamento de fenômenos da natureza, como enchentes e ilhas de calor, se faz necessário, cada vez mais, o estudo de alternativas sustentáveis nas mais diversas áreas de desenvolvimento, em especial, a construção civil.

Por isso, é fundamental pensar em soluções que possam conciliar o bem estar do ser humano nas edificações com menor impacto negativo possível. De modo geral, as pessoas têm melhores condições de vida e de saúde quando seu organismo pode funcionar sem ser submetido à fadiga ou estresse, inclusive térmico. A Arquitetura, como uma de suas funções, deve oferecer condições compatíveis ao conforto térmico humano no interior dos edifícios, sejam quais forem as condições climáticas externas (FROTA e SCHIFFER, 1995).

Como uma das alternativas para mitigar os impactos prejudiciais no meio ambiente, é possível citar os telhados verdes, também chamados de telhados vivos ou eco telhados. Segundo De Andrade e Roriz (2009), as chamadas coberturas verdes podem constituir alternativas viáveis para minimizar as altas temperaturas do interior das edificações, provocadas pela radiação solar excessiva, além de auxiliar as cidades a controlar inundações (absorvendo uma parte da água pluvial), melhorar a qualidade do ar, prolongar a durabilidade da cobertura e reduzir custos de energia.

Além de funcionar como regulador térmico, o telhado verde dependendo da forma que for projetado, pode também ser utilizado na captação da água das chuvas. Essa função é altamente influenciada pelas condições climáticas e o regime de chuvas, sendo que uma vez que o telhado estiver saturado, seu comportamento se assemelhará ao de um telhado convencional (JOBIM, 2013). Ainda assim, conforme Kolb (2003), os telhados verdes extensivos têm capacidade de reduzir o escoamento superficial em 50% do total das precipitações anuais e um sistema intensivo em 70%.

Segundo Rola et al. (2003), o telhado verde é uma tecnologia de aplicação de vegetação sobre superfícies construídas que resgata os princípios de “enverdecimento” de áreas edificadas formado por quatro camadas principais de igual importância, a saber: a vegetação, o substrato, a drenagem e a impermeabilização.

Esse trabalho busca responder os seguintes questionamentos, a utilização do telhado verde efetivamente melhora o conforto térmico? E o telhado verde possibilita

a captação e armazenamento eficiente de água pluvial no sentido de reduzir o escoamento superficial de água no espaço urbano?

O trabalho foi dividido em três etapas. Sendo a primeira a definição de objetivos, justificativa e referencial teórico, que apresenta os tipos de telhados, suas camadas constituintes, influência no conforto térmico de uma residência e sua capacidade de retenção de água pluvial. Em seguida a metodologia, na qual são determinados os procedimentos e materiais utilizados e por último, a coleta de dados e avaliação dos resultados.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

Avaliação da influência do telhado verde no conforto térmico e retenção de água pluvial em uma edificação.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Determinar o atraso térmico do telhado verde;
- Avaliar a amplitude térmica do telhado verde;
- Determinar a temperatura radiante média no telhado verde;
- Avaliar a retenção de água pluvial pelo telhado verde.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Este estudo buscou analisar a influência do telhado verde no conforto térmico, por meio da avaliação da amplitude térmica, do atraso térmico e da temperatura radiante média em um telhado verde construído como protótipo. Tais indicadores não são comumente apresentados nos artigos científicos da área, por isso identificar e relatar esses fatores é oportuno e relevante, até mesmo para servir de subsídio para demais trabalhos.

Também foi avaliada a capacidade de retenção de água pluvial, para quantificar o volume de água que é retido e poderia ser reaproveitado, e o volume que escoava para o sistema de drenagem da cidade.

A pesquisa em questão está vinculada à Universidade Tecnológica Federal do Paraná, a qual forneceu o local para construção e equipamentos necessários para as medições, tornando o trabalho viável.

É fundamental que esse tipo de tema seja abordado em estudos realizados no sudoeste do Paraná para contribuir com dados que possam subsidiar propostas de políticas públicas com maior cunho sustentável e tecnológico, conscientizar e levar mais informações para a população da importância de se prever e de se procurar alternativas que ajudem a mitigar os problemas que a grande urbanização provoca, instigar empreendedores a investir em negócios e empresas do ramo, além da contribuição teórica que esse tipo de estudo trará por obter dados e análises do comportamento do telhado verde nessa região.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 CONTEXTO HISTÓRICO

Os primeiros registros de edificações com coberturas verdes datam de 2500 anos antes da era cristã em antigos templos escalonados que facilitavam a aplicação de vegetação em vários níveis, na antiga Mesopotâmia (OSMUNDON, 1999 apud ROLA, 2008).

Segundo Rola (2008), o exemplo mais conhecido e também mais espetacular, são os Jardins Suspensos da Babilônia, que é considerado uma das sete maravilhas do mundo antigo, ilustrado na Figura 1.

Conforme Krystek (1998), os jardins, provavelmente, foram construídos durante a reconstrução da Babilônia, por ordem do Rei Nabucodonosor II para agradar a Rainha Amytis, que tinha saudade das paisagens montanhosas e verdejantes de sua terra natal, a antiga Pérsia.



Figura 1: Ilustração de parte da edificação que abriga os jardins suspensos da Babilônia com a Torre de Babel ao fundo (autor desconhecido).

Fonte: ROLA (2008).

Já na Idade Média, é possível citar o Palazzo Piccolomini, em Pienza, na Itália, com um jardim intensivo, ainda preservado desde o século 15, cuja localização em

plano inclinado permitiu a construção de andares mais baixos e a elevação da área destinada ao jardim, tudo construído com pedras maciças, conforme Figura 2.



**Figura 2: Jardim suspenso no Palazzo Piccolomini, em Pienza, Itália**  
Fonte: Toscana Inside (2012).

Ainda na Itália, a Torre de Guinigis (1384), apresenta um jardim suspenso a uma altura de 36 metros do nível da cidade, o qual é suportado por uma estrutura de tijolos cerâmicos de 61 centímetros de espessura e irrigado por um sistema subterrâneo, conforme apresentada pela Figura 3 (OSMUNDSON, 1999 apud ROLA, 2008).



**Figura 3: Foto da Torre de Guinigis com sete carvalhos, em Lucca, Itália.**  
Fonte: ROLA (2008).



Rola (2008) descreve também exemplos dos anos de 1600 a 1875, a residência do cardeal Johan Van Lamberg em Passau, Alemanha e o Palácio de Kremlin, em Moscou na Rússia, em 1773.

Na virada do Século XIX para o Século XX até a Segunda Guerra Mundial, nos Estados Unidos da América são muitos os jardins em terraços, como o Cassino Teatro Rudolph Aronson, o Teatro Americano da cidade de Nova Iorque, o Oscar Hammerstein Olympia Music Hall, o Hammerstein Republic Theater, além de restaurantes e hotéis, como o Domenico Restaurante e o Hotel Astor em Nova Iorque (OSMUNDSON, 1999 apud ROLA, 2008).

Nos anos 60, a Alemanha foi pioneira em pesquisas científicas que tinham como objetivo a conservação das águas e energia através desse sistema construtivo. Com investimento do governo no setor, nos anos 70, materiais mais específicos foram surgindo, e então, nos anos 80, houve um aumento nas construções de 15 a 20% ao ano, culminando em dez milhões de metros quadrados de telhados verdes em 1996 (PECK, 1999).

No Brasil, o primeiro projeto de telhado verde foi no Rio de Janeiro, em 1936, no prédio idealizado para ser o Ministério da Educação (MEC), atualmente é chamado de Edifício Gustavo Capanema, oficialmente inaugurado em 1946, a Figura 4 retrata o desenho deste telhado.

Em 1988, o Banco Safra em São Paulo, retratado na Figura 5, e em 1992, os jardins do Vale do Anhangabaú, também em São Paulo, foram projetados pelos arquitetos Rosa Grená Kliass e Jamil Kfourri (TOMAZ, 2005).



**Figura 4: Sinuosidade do terraço-jardim e do jardim do térreo vistos do alto do Edifício Gustavo Capanema na cidade do Rio de Janeiro**  
Fonte: The Design File apud MultiRio (2018).



**Figura 5: Projeto paisagístico de Burle Marx para a laje superior do Banco Safra, em São Paulo**  
Foto Juliana Monferdini.  
Fonte: Vitruvius (2014).

Atualmente, pode-se considerar que a construção de coberturas verdes/terraços jardins é um ramo em expansão, especialmente por pelo maior reconhecimento da população em buscar alternativas sustentáveis, em diversos segmentos, além de seus benefícios e estética.

## 2.2 DEFINIÇÃO DE TELHADO VERDE

Um telhado ou cobertura verde se caracteriza por um conjunto que consiste em camadas de impermeabilização, de drenagem, filtrante, de substrato e por último, de vegetação.

Silva (2011) acrescenta que, as coberturas verdes são sistemas construtivos que podem ser instalados em lajes ou sobre telhados convencionais proporcionando conforto térmico e acústico nos ambientes internos e têm sua cobertura vegetal feita com grama ou plantas.

Os telhados verdes trazem inúmeras vantagens, não só para a edificação na qual foi instalado, mas também na comunidade que está inserido. Além de melhorar o conforto térmico e isolamento acústico, também podem ser utilizados no reuso da água pluvial e na filtragem da água utilizada na edificação para posterior reutilização.

Ademais, novas áreas verdes no espaço urbano auxiliam na redução de gás carbônico devido ao sequestro do gás carbônico da atmosfera reduzindo a poluição e o efeito estufa, e como benefícios indiretos, contribuem com a estética da região.

Ainda, em locais onde essa tecnologia é mais difundida, já existem políticas públicas que incentivam a instalação desses telhados permitindo que o crescimento dos municípios seja alinhado com a preservação do meio. Como exemplo, é possível citar em Recife (PE), onde foi aprovada a lei nº18.112/15, que exige aos projetos de edificações habitacionais multifamiliares com mais de quatro pavimentos e não-habitacionais com mais de 400m<sup>2</sup> de área de coberta, a implantação de telhado verde para sua aprovação.

Também são conhecidos exemplos internacionais em países como Canadá, Estados Unidos da América, Alemanha, Holanda, entre outros. (SETTA, 2017).

### 2.2.1 Tipos de telhado verde

Os telhados verdes são divididos em três tipos: extensivo, intensivo e semi-intensivo. A principal diferença entre eles é a quantidade e densidade da arborização que é nele acomodada, e, portanto, seus cuidados.

Na Tabela 1, são apresentadas as principais características de cada tipo de telhado.

**Tabela 1 Classificação Geral das Coberturas Verdes**

	<b>Extensivo</b>	<b>Semi-intensivo</b>	<b>Intensivo</b>
<b>Manutenção</b>	Baixa	Periodicamente	Alta
<b>Irrigação</b>	Não	Periodicamente	Regulamente
<b>Vegetação</b>	Rasteira, como musgos, suculentas, ervas e gramíneas	Grama de ervas e arbustos	Gramados ou perenes, arbustos e árvores
<b>Substrato</b>	60 - 200 mm	120 - 250 mm	150 - 400 mm
<b>Peso</b>	60 - 150 kg/m <sup>2</sup>	120 - 200 kg/m <sup>2</sup>	180 - 500 kg/m <sup>2</sup>
<b>Custo</b>	Baixo	Médio	Alto
<b>Uso</b>	Proteção ecológica	Design projetado	Jardim com permanência

Fonte: Adaptado. Gatto (2012).

#### 2.2.1.1 Intensivo

Os telhados verdes intensivos funcionam como jardins suspensos (D'ELIA, 2009). Portanto, podem abrigar maior quantidade e densidade de plantação, também podem permitir visitação, por isso requerem maior cuidado, como sistema de infiltração e drenagem.

Para Silva (2011), os telhados verdes do tipo intensivo por comportarem plantas de nível médio a grande, precisam de uma estrutura que comportem maior capacidade de carga, pois necessitam uma camada de solo que varia entre 15 a 40 centímetros e a carga prevista varia entre 180 kg/m<sup>2</sup> a 500 kg/m<sup>2</sup>.

#### 2.2.1.2 Semi-intensivo

Esse tipo de telhado é o intermediário entre intensivo e extensivo, por isso se caracteriza como uma mistura dos dois tipos.

Conforme explicado por Gatto (2012), esse tipo permite uma variação de espessura das camadas, de acordo com o que será plantado, sendo, portanto, uma alternativa de implantação, na qual a sobrecarga é controlada somente em trechos que tenham resistência e/ou necessitem reforços, o que amplia as possibilidades, sob o ponto de vista estrutural,  tica paisagística e maior combinação de vegetação e designs possíveis.

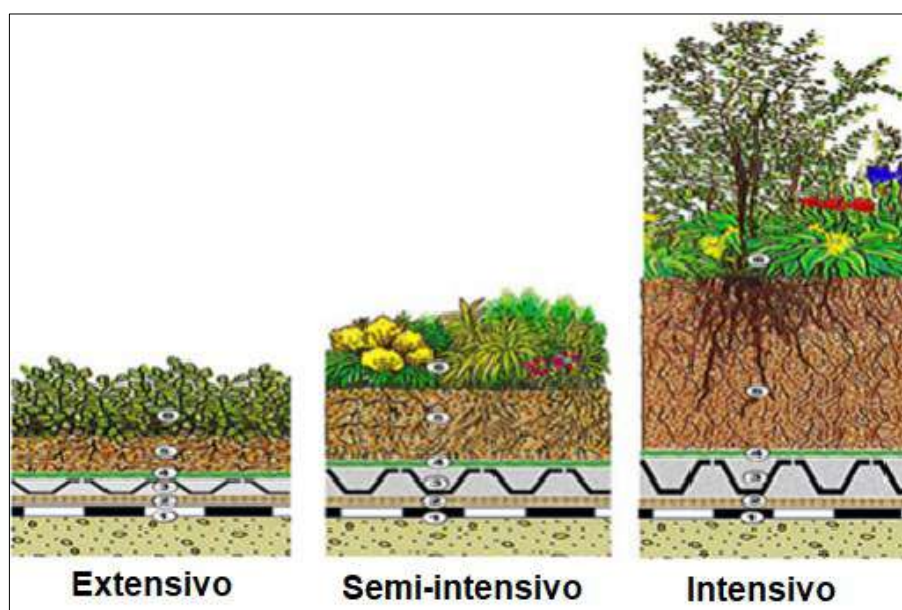
### 2.2.1.3 Extensivo

As coberturas verdes do tipo extensivo se caracterizam por utilizar vegetação rasteira, por isso dispensam camadas espessas de substrato e manutenções periódicas. Também, possuem baixo peso estrutural e custo relativamente baixo (MINKE, 2004).

Uma cobertura com musgos, suculentas, hera ou grama e diferentes composições, pode sobreviver sem cuidados e são resistentes a seca e geadas, são plantas de grande poder de regeneração, por isso são escolhidas plantas silvestres (MINKE, 2004).

De acordo com a IGRA (International Green Roof Association), a camada de substrato tem em torno de 10 centímetros ou menos e sobrecarga total da cobertura pode variar de 60 kg a 150 kg/m<sup>2</sup> (D'ELIA, 2009).

A Figura 6 ilustra cada tipo de telhado verde facilitando a compreensão e comparação.



**Figura 6: Tipos de telhado verde**  
Fonte: Adaptado. Green Roof Technology (2020).

### 2.2.2 Camadas componentes de um telhado verde

Um sistema completo do telhado verde é composto por várias camadas, as quais podem ser detalhadas, segundo Rola (2008):

1. Camada de suporte: é a camada que suporta toda a carga do sistema, o qual atinge seu peso máximo, quando saturado. No Brasil, na tipologia construtiva é geralmente a laje de concreto, que é capaz de suportar um sobrepeso, em média, de até 400 kg/m<sup>2</sup>.
2. Camada de impermeabilização: deve proteger a camada de suporte da umidade proveniente do meio externo, assegurando a estanqueidade. Deve apresentar características físicas e químicas, como alta resistência à perfuração, para evitar o transpasse de raízes, e um componente antiraiz.
3. Camada de drenagem: tem como função recolher as precipitações e irrigações excedentes em toda a superfície do telhado e as conduzir para os deságues, evitando o afogamento das raízes. Deve ser um material leve, de preferência poroso e com corpúsculos de diâmetro não menor que 10 mm.
4. Camada de proteção e filtrante: é responsável por impedir a passagem de partículas do substrato para a camada de drenagem, evitando a obstrução da drenagem. O material mais utilizado é o geotêxtil, que é composto de fibra sintética que se assemelha a um feltro. O material utilizado deve ter as seguintes características: resistência à ruptura e à compressão, ser imputrescível, não proporcionar reações químicas com os materiais que terá contato, ter boa permeabilidade hídrica, permitir o crescimento de raízes e ser resistente à ação de microrganismos.
5. Camada de substrato: o substrato é uma mistura balanceada de solo com elementos orgânicos e inorgânicos necessários ao desenvolvimento e suporte da vegetação. A composição do substrato e a altura da camada dependerão do tipo de vegetação e sua densidade.
6. Camada de Vegetação: é a camada que consiste na cobertura vegetal propriamente dita, a qual deve ser escolhida analisando a altura da camada de substrato, regime de chuvas e clima da região.

### 2.2.3 Sistemas de aplicação e construção

Além do formato convencional, no qual o conjunto do telhado verde é aplicado diretamente sobre a base, que deve estar devidamente impermeabilizada e protegida,

outros sistemas foram desenvolvidos por empresas especializadas, com intuito de facilitar a instalação, comercialização e maior padronização dos projetos.

Esses sistemas são diferentes tipos de módulos, podendo ser alveolar ou laminar.

No Brasil, destacam-se duas empresas do ramo, a Ecotelhado, com sede em São Paulo (SP) e em Porto Alegre (RS), que oferece sistema módulo alveolar e sistema laminar, e o Instituto Cidade Jardim, com sede em Itu (SP), que oferece o sistema modular e o alveolar “FLAT”.

No Instituto Cidade Jardim, o sistema modular consiste em uma peça que contém todas as camadas de telhado verde, permitindo a montagem e desmontagem do sistema mesmo após a vegetação cultivada. Preferencialmente para telhados extensivos, pois seu substrato tem profundidade máxima de 5 cm. Já o sistema alveolar “FLAT”, permite a circulação e permanência de pessoas e a profundidade do substrato é variável, podendo ou não se caracterizar como um sistema intensivo.

A seguir, as Figuras 7 e 8 esquematizam os sistemas, nos quais é possível verificar a diferença entre os módulos.



**Figura 7: Sistema Modular**  
Fonte: Instituto Cidade Jardim (2020).

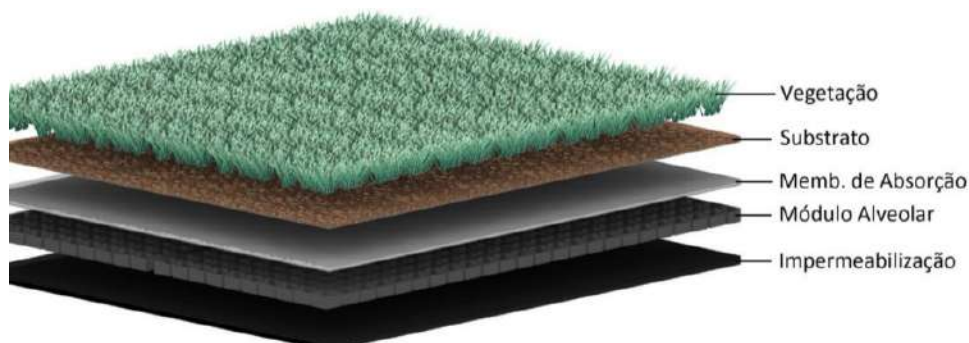


**Figura 8: Sistema FLAT**  
Fonte: Instituto Cidade Jardim (2020).

Já na empresa Ecotelhado, são oferecidos maior variedade de modelos.

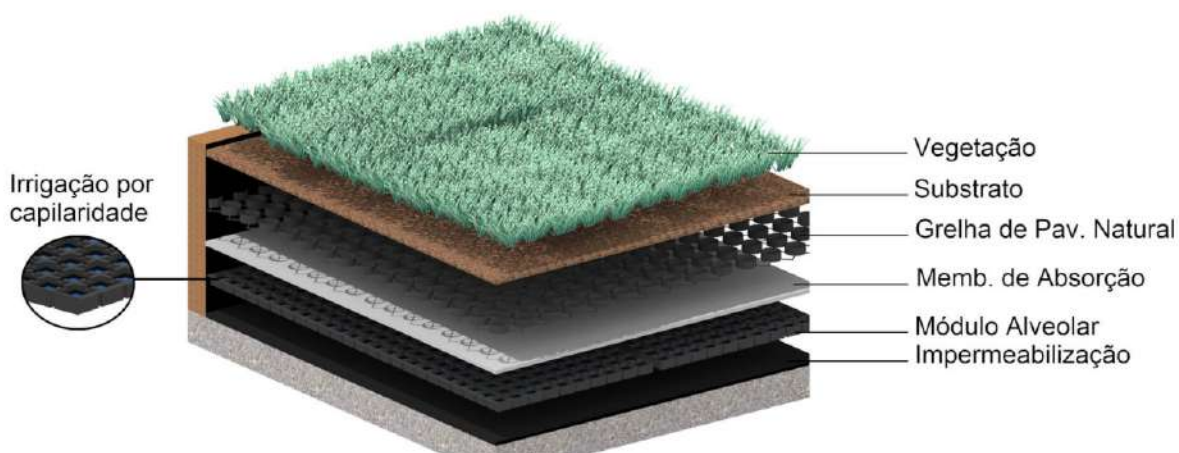
O Sistema Modular Alveolar Leve é um conjunto de elementos composto pelo módulo plástico alveolar, a membrana de absorção, a camada de substrato recomendada de 3,6 cm, a camada de gel para retenção de umidade e a camada de vegetação. O sistema tem baixo peso e deve ser utilizado em telhados com pouca ou

nenhuma inclinação, de até 10° ou 20%, e com baixa circulação de pessoas, portanto caracteriza-se como telhado do tipo extensivo. O esquemático está ilustrado na Figura 9.



**Figura 9: Esquemático Sistema Alveolar Leve**  
**Fonte: Manual e Especificações - Sistema Modular Alveolar Leve Ecotelhado (2020).**

O Sistema Alveolar Grelhado é um conjunto composto pelo módulo plástico alveolar, a membrana de absorção, a grelha de pavimento natural que dá suporte e retém o substrato e ainda proporciona alta capacidade de drenagem da água, a camada de substrato, uma camada de gel para retenção da umidade, e a camada de vegetação, conforme ilustrado na Figura 10. Esse sistema permite inclinação no telhado de até 20° ou 30%.

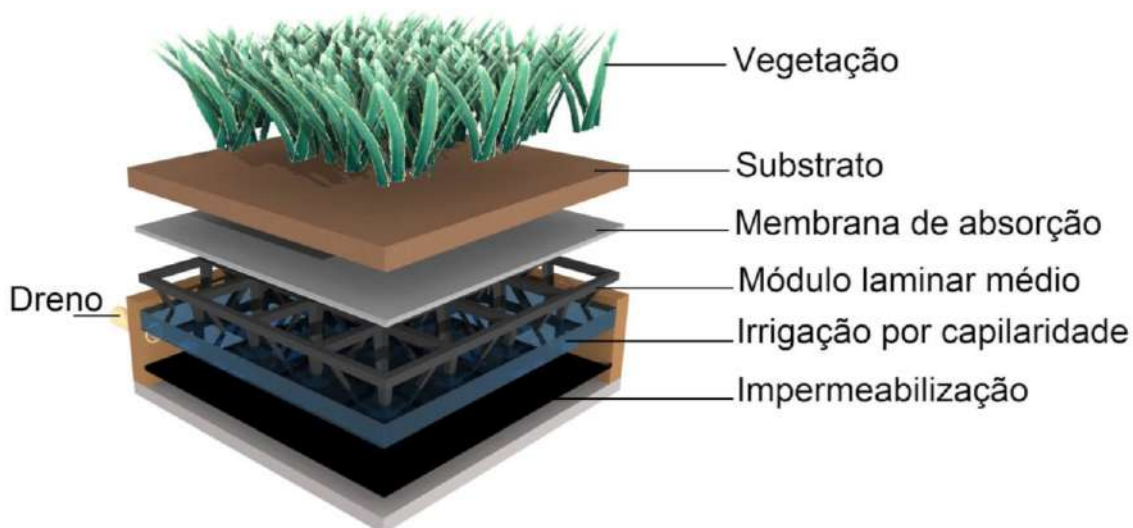


**Figura 10: Esquemático Sistema Alveolar Grelhado**  
**Fonte: Ecotelhado - Sistema Modular Alveolar Grelhado (2020).**

O Sistema Laminar Médio é um conjunto de elementos composto pelo módulo piso, a membrana de absorção, a membrana anti raízes, a camada de substrato e a camada de vegetação, ilustrado na Figura 11. É um sistema hidropônico e ideal para ser instalado em cobertura de prédios ou em lajes planas de residências. A laje se torna uma cisterna de captação de água da chuva e também pode fazer tratamento



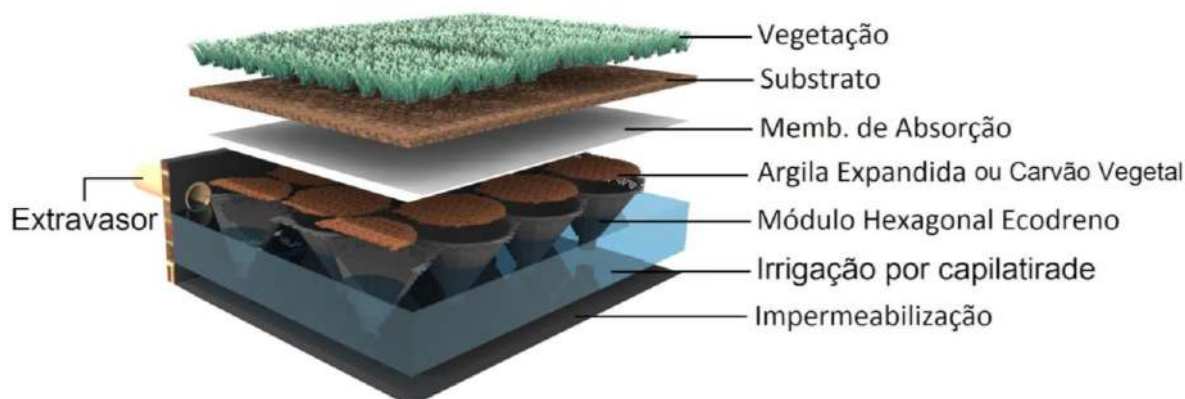
de efluentes para reutilização. Para instalação desse sistema, o local deve suportar o peso de 110 kg/m<sup>2</sup>.



**Figura 11: Esquemático Sistema Laminar Médio**  
**Fonte: Ecotelhado - Sistema Modular Alveolar Grelhado (2020).**

O Sistema Laminar Alto é um conjunto de elementos composto pelo módulo ecodreno, a membrana de absorção, a membrana anti raízes, a camada de substrato, a camada de argila expandida e a camada de vegetação. Pode ser utilizado sobre terraços ou lajes planas. Em virtude do módulo ecodreno, a vegetação possui menor necessidade de irrigação superficial ou, em algumas regiões, até mesmo substitui ou suplementa a irrigação da vegetação e o empreendimento pode se beneficiar com o reservatório de detenção, em alguns casos dispensando o uso de cisterna enterrada no térreo, além disso, potencializa os benefícios de retenção de água da chuva e o conforto térmico da construção.

As Figuras 12 e 13 ilustram a montagem e o funcionamento do sistema.



**Figura 12: Esquemático Sistema Laminar Alto**  
**Fonte: Manual e Especificações - Sistema Laminar Alto (2020).**



**Figura 13: Detalhe Esquemático Sistema Laminar Alto**  
**Fonte: Manual e Especificações - Sistema Laminar Alto (2020).**

### 2.3 INFLUÊNCIA DO TELHADO NA EDIFICAÇÃO E NO MEIO AMBIENTE URBANO

O crescente cenário de urbanização mostra que é inevitável a redução da infiltração da água pluvial no solo devido ao aumento de áreas impermeabilizadas. Em consequência, o escoamento superficial é intensificado, resultando no aumento da frequência e da magnitude dos picos do hidrograma de escoamento, levando à ocorrência de enchentes e inundações (SANTOS, 2013).

Segundo Palla et al. (2008), a cobertura de vegetação nos telhados reduz significativamente o pico de escoamento responsável pelas enchentes em áreas urbanas, bem como um efeito de retardo no escoamento superficial. Também, a evapotranspiração influencia a capacidade de retenção dos solos nos períodos mais quentes do ano, promovendo uma redução mais acentuada da umidade do solo,

aumentando a capacidade de retenção de água e reduzindo, conseqüentemente, o coeficiente de escoamento superficial.

Como Freitas e Dias (2004) explicam, o excesso de construções civis verticalizadas, grande quantidade de asfaltamento nos centros urbanos, falta de áreas verdes em ambiente urbano, poluição causada por indústrias, habitantes e grande movimentação de automóveis nos grandes centros causam o fenômeno conhecido como ilhas de calor (DOS SANTOS e RODRIGUES, 2015).

A ilha de calor está relacionada à estocagem de calor durante o dia, ocasionada pela utilização de materiais no meio urbano que apresentam maior condutividade térmica e capacidade calorífica, ou seja, o espaço construído pelo homem gera calor antropogênico, como resultado ocorre menor evaporação e evapotranspiração, reduzindo a umidade, diminuindo o fluxo de calor latente e aumentando o de calor sensível (CATUZZO, 2013).

Em sua tese, Catuzzo (2013) concluiu que o telhado verde apresenta menor aquecimento, decorrente da vegetação que absorve e reflete parte da radiação solar que chega a superfície por meio de ondas curtas. A vegetação propicia um atraso no aquecimento da temperatura do ar, mantendo a umidade maior, diferentemente do telhado de concreto que aquece rapidamente e horas antes que o telhado verde.

Pledge e Scholz-Barth (2005) ressaltam que existem dois caminhos para mitigar a ilha de calor urbana, sendo: o aumento da vegetação e o aumento da superfície de reflectância. Segundo os autores, um telhado impermeabilizado pode aquecer 71 °C em um dia de verão e os telhados verdes raramente excedem 27 °C (CATUZZO, 2013).

Dessa forma, o telhado verde além de absorver e emitir parte da radiação solar, também contribui para o aumento da quantidade de umidade em decorrência da evaporação, evapotranspiração e redução do aquecimento, ou seja, influencia no balanço da radiação, sendo, portanto, uma estrutura essencial para áreas onde ocorrem eventos como formação de ilha de calor, enchentes, entre outros, potencializados por ações antrópicas (CATUZZO, 2013).

## 2.4 TEMPO DE ESCOAMENTO DA ÁGUA PLUVIAL

As cheias urbanas podem ocorrer por vários fatores como erros de projeto, falta de estimativa do crescimento da cidade, falta de manutenção e entupimento da rede de drenagem. Um dos motivos para os problemas de alagamentos e inundações é a obsolescência do sistema, ou seja, quando a cidade cresce, a rede de drenagem inicialmente construída passa a não mais comportar o aumento das vazões de pico (WINTER, 2018).

Conforme explica Vieira et al. (2015), nas coberturas convencionais, a maior parte da água que incide sobre o telhado escorre diretamente para o sistema público de águas pluviais, ocasionando assim, altas vazões momentâneas que muitas vezes geram inundações urbanas.

A configuração do telhado verde faz com que ele atue no retardamento do volume de água escoado, já que um volume maior de água infiltra-se, e parte é evaporada, e, portanto, o volume que escoar para o sistema de drenagem torna-se inferior.

Segundo MacMillan (2004), em estudo desenvolvido na Universidade de York (Estados Unidos), a capacidade de retenção da água da chuva pelo telhado verde é diretamente afetada pelo grau de saturação do solo, que varia de acordo com a sua composição, e com as condições climáticas do local.

Os dados obtidos por Kohler et al. (2001), demonstram quão significativo é o volume de água retido pelos telhados verdes e também a diferença do volume retido nos telhados de clima temperado (Berlim, Alemanha) e dos climas tropicais (Rio de Janeiro, Brasil). Enquanto em Berlim a porcentagem de água retida varia de 50-75% da precipitação anual total, no Rio de Janeiro, essa porcentagem é de 65%, devido principalmente à alta taxa de evapotranspiração (FERREIRA e MORUZZI, 2007).

Como descrito por Tomaz (2003), as águas captadas e armazenadas podem ser utilizadas nas descargas de banheiros, na lavagem de pisos, na irrigação de jardins e até para lavagem de roupas.

## 2.5 DESEMPENHO E CONFORTO TÉRMICO DA EDIFICAÇÃO

Desempenho pode ser definido como o comportamento em uso. No caso de uma edificação pode ser entendido como as condições mínimas de habitabilidade (como conforto térmico e acústico, higiene, segurança, entre outras) necessárias para

que um ou mais indivíduos possam utilizar a edificação durante um período de tempo (POSSAN e DEMOLINER, 2013).

Segundo a NBR 15575-1 (ABNT, 2013), internacionalmente é comum estabelecer o desempenho por meio da definição de requisitos (qualitativos), critérios (quantitativos ou premissas) e métodos de avaliação, os quais sempre permitem a mensuração clara do seu cumprimento.

Os critérios adotados pela NBR 15575-1 são especificações quantitativas dos requisitos de desempenho (qualitativos), expressos em termos de quantidades mensuráveis, a fim de que possam ser objetivamente determinados, a Tabela 2 apresenta os critérios estabelecidos pela NBR 15575-1:

**Tabela 2 Critérios estabelecidos pela NBR 15575-1**

Desempenho estrutural
Segurança contra incêndio
Segurança no uso e na operação
Estanquidade
Desempenho térmico
Desempenho acústico
Desempenho lumínico
Durabilidade e manutenibilidade
Saúde, higiene e qualidade do ar
Funcionalidade e acessibilidade
Conforto tátil e antropodinâmico
Adequação ambiental

**Fonte: NBR 15575-1 (ABNT, 2013).**

No que tange aos elementos construtivos de uma edificação, os que estão diretamente ligados ao desempenho térmico são as paredes e a cobertura, denominados envolventes ou parte do envoltório da edificação.

O procedimento normativo proposto por esta norma é específico para edificações convencionais, mas alguns tópicos serão descritos para análise do protótipo deste estudo.

Para análise do desempenho térmico em uma edificação, medido por meio de protótipos, a norma estabelece que deve-se verificar o atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos para o verão e para o inverno.

Segundo a NBR 15575-1, o requisito de desempenho no verão é apresentar condições térmicas no interior do edifício habitacional melhores ou iguais à sombra do ambiente externo, considerando-se critérios de valores máximos de temperatura.

O valor máximo diário da temperatura do ar interior de recintos de permanência prolongada, como salas e dormitórios, sem a presença de fontes internas de calor (ocupantes, lâmpadas, outros equipamentos em geral), deve ser sempre menor ou igual ao valor máximo diário da temperatura do ar exterior.

E o nível de desempenho M, atende ao critério de valores máximos de temperatura, conforme descrito pela Figura 14.

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
M	$T_{i,máx.} \leq T_{e,máx.}$	$T_{i,máx.} \leq T_{e,máx.}$
<small>T<sub>i,máx.</sub> é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius.            T<sub>e,máx.</sub> é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius.            NOTA Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.</small>		

**Figura 14: Tabela de critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão**  
**Fonte: NBR 15575-1 (ABNT, 2013).**

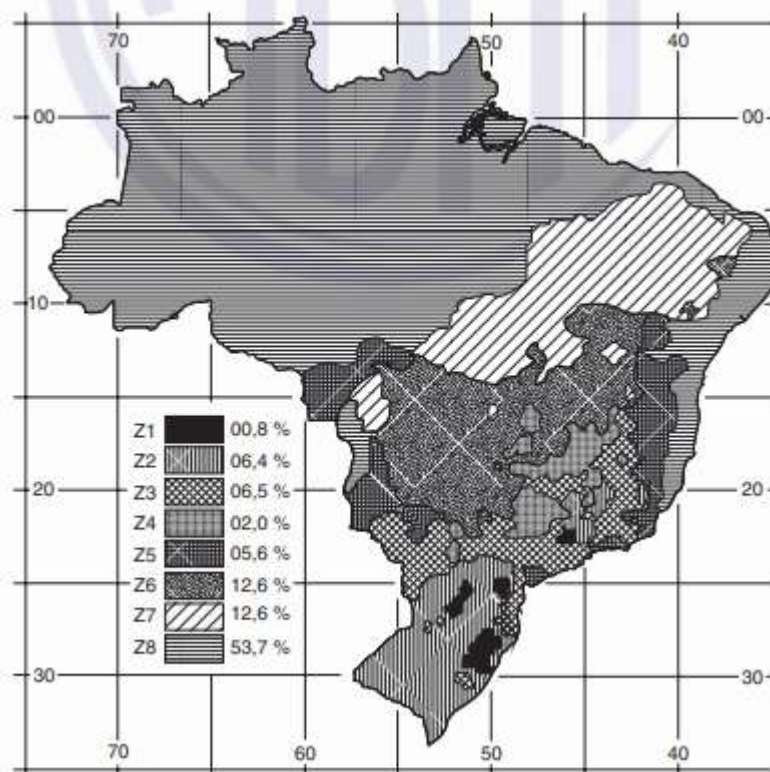
Para o dia típico de inverno, considera-se que o valor máximo diário da temperatura do ar interior de recintos de permanência prolongada deve ser sempre maior ou igual à temperatura mínima externa acrescida de 3 °C, conforme descrito pela Figura 15.

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas bioclimáticas 1 a 5	Zonas bioclimáticas 6, 7 e 8
M	$T_{i,mín.} \geq (T_{e,mín.} + 3 \text{ °C})$	Nestas zonas, este critério não pode ser verificado
<small>T<sub>i,mín.</sub> é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;            T<sub>e,mín.</sub> é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius.            NOTA Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.</small>		

**Figura 15: Tabela de critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno**  
**Fonte: NBR 15575-1 (ABNT, 2013).**

A NBR 15757-1 (ABNT, 2013) também disponibiliza o mapa das zonas bioclimáticas brasileiras, ilustrado na Figura 16, no qual é possível verificar que o

sudoeste do Paraná, especificamente o município de Pato Branco, onde este protótipo está localizado, encontra-se na Zona 2.



**Figura 16: Mapa das zonas bioclimáticas brasileiras**  
**Fonte: NBR 15575-1 (ABNT, 2013).**

O dia tomado para análise deve corresponder a um dia típico de projeto de verão, precedido por pelo menos um dia com características semelhantes. Recomenda-se, como regra geral, trabalhar com uma sequência de três dias e analisar os dados do terceiro dia. Para efeito da avaliação por medição, o dia típico é caracterizado unicamente pelos valores da temperatura do ar exterior medidos no local.

Os valores da temperatura do ar exterior dos dias típicos de verão e inverno de diversas localidades também são apresentados na NBR 15575-1 (ABNT, 2013), para as cidades que não estão listadas nestas tabelas, a norma recomenda escolher outra cidade com mesma zona e altitude similar.

Já a NBR 15575 – 5 (ABNT, 2013) apresenta os requisitos e critérios para verificação dos níveis mínimos de desempenho térmico de coberturas.

Esta norma exige que a cobertura cumpra o requisito de isolamento térmica da cobertura, ou seja, deve apresentar transmitância térmica e absorvância à radiação

solar que proporcionem um desempenho térmico apropriado para cada zona bioclimática.

Por sua vez, as exigências humanas de conforto térmico estão relacionadas com o funcionamento de seu organismo, cujo mecanismo, complexo, pode ser comparado a uma máquina térmica que produz calor segundo sua atividade (FROTA e SCHIFFER, 1995).

E o conforto ambiental está diretamente ligado à sensação de bem estar devido a fatores ambientais, como a temperatura, nível de ruídos e a umidade relativa, além da funcionalidade dos locais (BARTHOLOMEI, 2003).

Também segundo Frota e Schiffer (1995),

Se as condições térmicas ambientais causam sensação de frio ou de calor, é porque nosso organismo está perdendo mais calor ou menos calor que o necessário para a manutenção da homeotermia, a qual passa a ser conseguida com um esforço adicional que sempre representa sobrecarga, com queda do rendimento no trabalho, até o limite, sob condições de rigor excepcionais, perda total de capacidade para realização de trabalho e/ou problemas de saúde.

Uma edificação projetada para o clima no qual está inserida torna-se confortável, além de economizar energia. A avaliação do desempenho térmico de uma edificação engloba a resposta global do projeto arquitetônico proposto em relação às trocas térmicas entre o ambiente construído e o ambiente externo (SIQUEIRA, 2005).

Por isso, quanto maior o conhecimento sobre comportamento humano em relação ao conforto térmico e como associar essa demanda ao desempenho térmico dos materiais utilizados e as características das edificações, melhores serão as formas de projetar e conceber espaços e construções que atendam de forma satisfatória essa necessidade do homem.

Dessa forma, é possível citar várias evidências de que o telhado verde é um sistema que oferece melhor desempenho e maior conforto térmico.

Conforme estudo desenvolvido por Moraes (2004), foi verificado que dentre os raios solares incididos sobre uma cobertura verde, 27% são refletidos, 60% são absorvidos pelas plantas e 13% são transmitidos para o solo que compõem o sistema. Com isso, o pesquisador demonstrou que no desempenho térmico de verão a cobertura verde reduziu em 20% o fluxo de calor devido aos materiais componentes do sistema, sobretudo as plantas por meio de características biológicas como a fotossíntese e a evapotranspiração.



Já Minke (2004), considera que a característica isolante é o maior atrativo da cobertura verde. Rebollar (2017) explica que o sistema auxilia na melhoria das propriedades do isolamento de um edifício, atuando na redução de temperatura no verão e aumento da temperatura no inverno, através do acréscimo de massa térmica, estabilizando as temperaturas durante todo o ano, auxiliando também na redução de consumo de energia elétrica na habitação.

De acordo com Ferreira, Oliveira e Leme (2008),

O isolamento térmico é consequência de dois fatores: a absorção da radiação das plantas durante o processo de fotossíntese, que pode captar grande parte da energia e a espessura da cobertura verde que funciona como uma grande manta isolante. Estes fatores também contribuem para reduzir as variações térmicas, estabilizando a temperatura entre as diferentes horas do dia, já que absorve energia durante as horas de insolação e mantêm a temperatura interna durante a noite. O mesmo acontece durante as diferentes estações do ano quando os tetos verdes esquentam no inverno a medida em que armazenam o calor nos ambientes internos, e no verão auxiliam a manter fresco este mesmo ambiente interno, uma vez que protegem da insolação direta estes ambientes. Esta característica faz com que o uso de cobertura verde seja recomendado tanto em regiões de clima frio quanto de clima quente.

Para analisar o conforto térmico do protótipo em estudo serão realizadas medições para a análise do atraso térmico, amplitude térmica e temperatura radiante média.

O atraso térmico pode fazer com que o pico de temperatura interna máximo ocorra num período posterior, normalmente o noturno, quando a temperatura externa já está reduzindo, contribuindo para o conforto térmico do local.

Lamberts, Dutra e Pereira (1997) afirmam que, no caso de uma localidade onde as temperaturas oscilam entre valores altos durante o dia e baixos à noite, pode-se utilizar a massa térmica dos fechamentos para acumular calor durante o dia, retê-lo e, mais tarde (à noite), devolvê-lo ao interior. Haverá uma diminuição da amplitude da temperatura interna, a qual oscilará de forma amortecida. O pico de temperatura acontecerá algumas horas após o fechamento estar submetido ao pico da temperatura externa (atraso térmico).

A ABNT NBR 15220-3, que dispõe sobre o desempenho térmico de edificações, indica que a cobertura na zona bioclimática 2 deve ser do tipo “leve isolada”, adotando estratégias de condicionamento térmico passivo como ventilação

cruzada no verão e no inverno, aquecimento solar da edificação e vedações internas pesadas, favorecendo a inércia térmica.

Ainda, ressalta-se que a redução da amplitude térmica de uma edificação, especialmente em cômodos de longa permanência, melhora a sensação de conforto térmico.

Já a temperatura radiante média, segundo Lamberts (2000), é uma das variáveis ambientais que compõem o conforto térmico, juntamente com a umidade relativa, temperatura e velocidade do ar, além das variáveis humanas.

A temperatura radiante média é a temperatura uniforme de um ambiente imaginário no qual a troca de calor por radiação é igual ao ambiente real não uniforme (LAMBERTS, 2000).

O efeito da radiação solar pode ser analisado utilizando a temperatura radiante média, que é a temperatura média das superfícies de um ambiente que participa das trocas térmicas com o corpo. Nota-se que a temperatura das superfícies depende da quantidade de radiação incidente e das características físicas e térmicas do material da superfície. Assim, o efeito da radiação difusa e da radiação solar no ambiente urbano pode ser quantificado. Para análise do conforto térmico, utiliza-se a temperatura radiante média como uma das variáveis climáticas (ROSSI, 2012).

### 3. METODOLOGIA

Neste trabalho, avaliou-se a influência do telhado verde no conforto térmico e sua retenção de água em uma edificação, por meio de medições periódicas feitas em um protótipo, que possibilitaram a análise do comportamento do telhado nas condições climáticas da região.

Estes resultados mostraram o comportamento do telhado verde e assim, por meio do comportamento deste modelo, torna-se possível estabelecer relações com demais edificações.

Dessa forma, com o intuito de delimitar este estudo, é possível fazer algumas classificações.

Nesta pesquisa, propôs-se aprimorar o conhecimento sobre o assunto, levantar questões para o processo de investigação, e ainda pode servir como base para outros estudos com outras abordagens, por isso, conforme Menezes et. al.(2019), é classificada como exploratória.

Ainda, foram realizadas manipulação de variáveis relacionadas ao objeto de estudo, e com isso, pretende-se explicar causas e resultados (MENEZES et. al., 2019), classificando-a também, como uma pesquisa experimental, além disso, como trouxe da literatura, conceitos e sistemáticas, se caracteriza também, como uma pesquisa bibliográfica.

Por fim, quanto à abordagem, é possível classificá-la como quantitativa, pois conforme Menezes et. al. (2019), nesse tipo de pesquisa, as variáveis devem estar determinadas e sua mensuração já deve prevista no método, finalizada com uma análise quase sempre mediada por algum critério matemático.

#### 3.1 COMPOSIÇÃO DO TELHADO

O telhado verde foi construído reaproveitando treliça e colunas de aço disponibilizadas pela Universidade, as quais foram soldadas e instaladas em um espaço livre localizado atrás do Bloco J do Câmpus Pato Branco da UTFPR, localizada na Via do Conhecimento, s/n - KM 01 - Fraron, Pato Branco, Paraná, conforme apontado na Figura 17. A estrutura, além de servir como objeto de estudo, pretende-

se futuramente adaptá-la para servir como bicicletário, conforme ilustração da Figura 18.



**Figura 17: Localização aproximada do telhado verde**  
Fonte: Google Maps (2020).



**Figura 18: Ilustração de telhado verde bicicletário**  
Fonte: Green Roofed Cycle Shelters (2020).

Inicialmente, o terreno foi nivelado e as sapatas foram locadas e concretadas posicionando as placas metálicas para soldagem da estrutura, conforme as Figuras 19 e 20.



**Figura 19: Nivelção do terreno e locação das sapatas**  
Fonte: Autoria própria (2021).



**Figura 20: Concretagem das sapatas**  
Fonte: Autoria própria (2021).

O protótipo montado é do tipo extensivo e suas camadas estão descritas a seguir.

Para a camada de suporte, a estrutura foi soldada de forma que obtenha pelo menos 3 graus de inclinação, segundo Minke (2009), a construção do telhado deve ter uma inclinação mínima de 5%, pois assim não é necessário nenhum mecanismo drenagem especial, facilitando o escoamento da água, mas ao mesmo tempo,

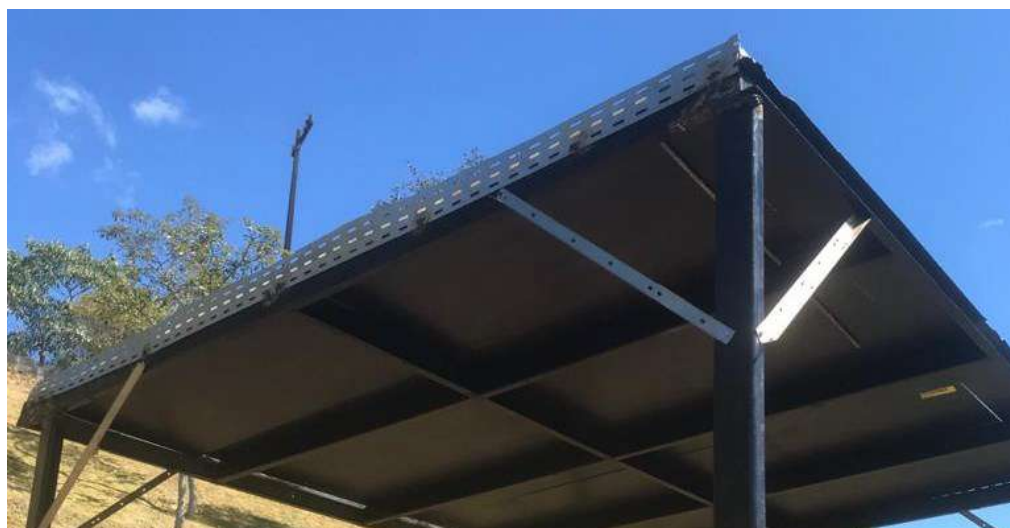
suficiente para que a composição não ceda, entretanto, para assegurar que não ocorram desmoronamentos, foram instaladas na parte mais baixa e nas laterais, bordas de retenção. Acima dessa estrutura, uma chapa tratada de compensado foi fixada para servir como base, conforme Figura 21.

Abaixo a Tabela 3, mostra a relação porcentagem e graus para inclinação.

**Tabela 3 Conversão dos valores de inclinação de porcentagem em graus e vice-versa**

<b>Conversão dos valores de inclinação de % em graus e vice-versa</b>			
<b>%</b>	<b>graus</b>	<b>graus</b>	<b>%</b>
<b>5</b>	2,9	3	5,2
<b>10</b>	5,7	5	8,8
<b>15</b>	8,5	10	17,6
<b>20</b>	11,3	15	26,8
<b>30</b>	16,7	20	36,4

**Fonte: Adaptado. Minke, (2009).**



**Figura 21: Estrutura do telhado**  
**Fonte: Autoria própria (2021).**

Para camada de impermeabilização, foi utilizada uma lona plástica dupla face.

Em seguida, para camada de drenagem foi utilizado 2 a 4 centímetros de argila expandida distribuída sobre o telhado, demonstrada na Figura 22.



**Figura 22: Camada de drenagem**  
**Fonte: Autoria própria (2021).**

Para formar a camada de proteção e filtrante, foi utilizada a manta geotêxtil tipo Bidim.

Minke (2009) sugere que para o cultivo de gramíneas, a camada de substrato não deve ter, em excesso, solo argiloso e matéria orgânica. Esta camada tem altura de 8 a 10 centímetros distribuídos pelo telhado.

Para formar a camada de vegetação foi plantada grama nativa da região, retirada de um local próximo ao protótipo. As Figura 23 e 24 demonstram as camadas de substrato e vegetação logo após o plantio.



**Figura 23: Camada de substrato**  
**Fonte: Autoria própria (2021).**



**Figura 24: Camada de vegetação**  
**Fonte: Autoria própria (2021).**

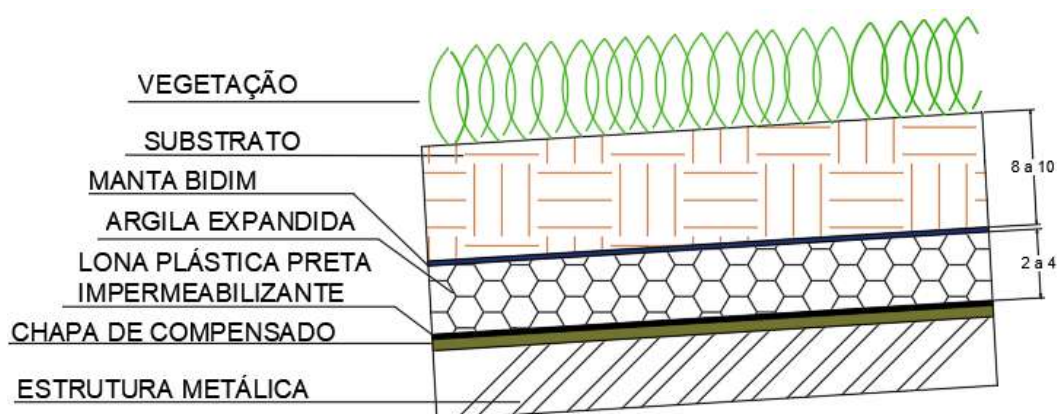
Para facilitar seu crescimento, foi feita a irrigação nas primeiras três semanas e após 90 dias, outras espécies nativas também cresceram em meio a grama, conforme Figura 25.



**Figura 25: Telhado verde finalizado**  
Fonte: Autoria própria (2021).

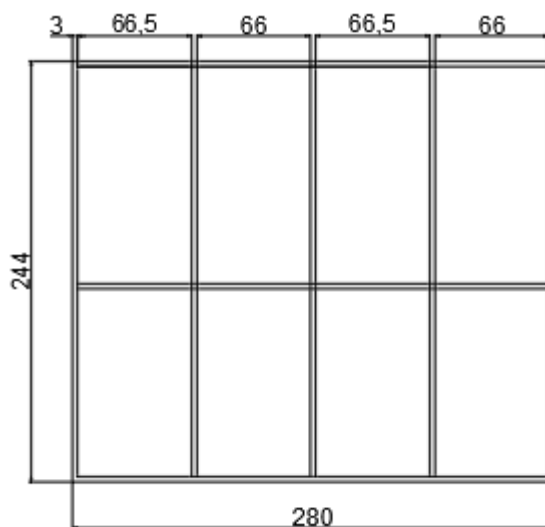
Também devem ser previstos drenos nos cantos da parte mais baixa para conduzir o volume de água pluvial escoado do telhado para um reservatório de armazenamento.

Para melhor entendimento da composição e construção do telhado, as Figuras 26, 27 e 28, ilustram o detalhamento do telhado verde.

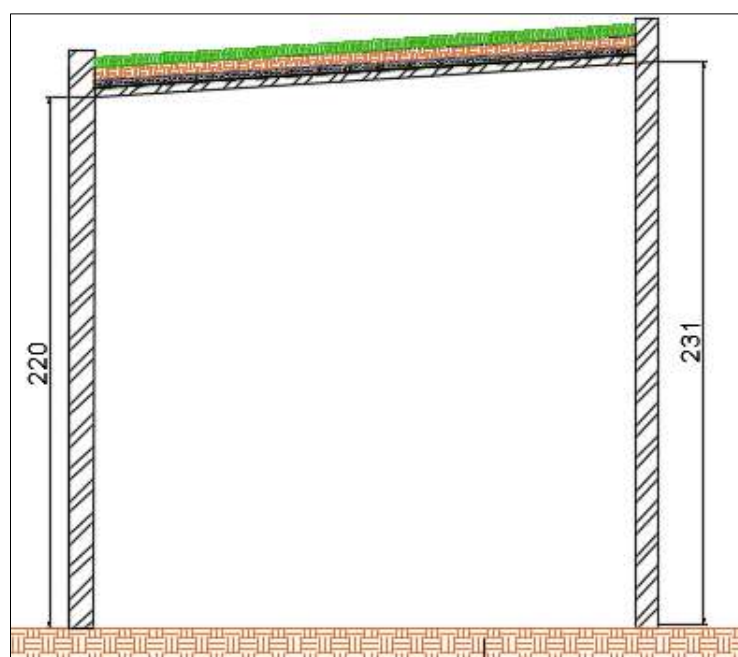


**Figura 26: Detalhamento das camadas do telhado verde**  
Fonte: Elaborado pela autora (2020).





**Figura 27: Detalhamento da estrutura metálica com medidas em centímetros**  
Fonte: Elaborado pela autora (2020).



**Figura 28: Detalhamento da estrutura com medidas em centímetros**  
Fonte: Elaborado pela autora (2020).

## 3.2 PARÂMETROS ANALISADOS

### 3.2.1 Temperatura radiante média

A temperatura radiante média é obtida por meio de um termômetro de globo e equações específicas.

Como explica Ruas (1999), o princípio do cálculo da temperatura radiante média é de que estando o globo em equilíbrio térmico com o ambiente, então o calor trocado por radiação entre o globo e as superfícies circundantes é igual ao calor trocado por convecção entre o globo e o ar. Como a espessura do globo é pequena, a temperatura do ar confinado nele é aproximadamente igual à temperatura da superfície do globo. Conhecendo-se a temperatura superficial do globo é possível determinar a temperatura radiante.

As medições de temperatura foram realizadas por meio de um monitor de estresse térmico da marca Questemp® 34. O instrumento, demonstrado na Figura 29, faz o registro e, através de *software* próprio, realiza o processamento dos dados, com escalas de leituras para temperaturas de  $-5^{\circ}\text{C}$  a  $+100^{\circ}\text{C}$  e precisão de  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ . O termômetro de globo consiste numa esfera negra de 5 centímetros de diâmetro, cuja indicação da temperatura é correlacionada com a temperatura fornecida por um globo negro padrão de quinze centímetros de diâmetro. Já a velocidade do ar foi medida, em m/s, por um anemômetro.



Figura 29: Monitor de estresse térmico da marca Questemp® 34  
Fonte: Autoria própria (2021).

As medições foram realizadas abaixo do telhado com o medidor posicionado a uma altura de 1,10 metros, e também fora da cobertura, ao ar livre, a uma altura de 75 centímetros.

Após a obtenção dos dados, calculou-se o coeficiente de troca de calor por convecção ( $h_{cg}$ ), o qual é utilizado para definir a equação a ser adotada no cálculo da temperatura radiante média, definida pelo tipo de convecção, a qual pode ser natural ou forçada. Ruas (1999) indica as Equações 1 e 2 para o cálculo dos coeficientes de troca de calor por convecção natural e forçada, respectivamente.

$$\text{Natural} \quad h_c = 1,4 \cdot \left( \frac{|t_g - t_a|}{d} \right)^{0,25} \quad (1)$$

$$\text{Forçada} \quad h_c = 6,3 \cdot \frac{v^{0,6}}{d^{0,4}} \quad (2)$$

Onde:

$h_c$ , o coeficiente de troca de calor por convecção do globo ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ );

$|t_g - t_a|$ , a diferença de temperatura do globo e do ar ( $^\circ C$ );

$d$ , o diâmetro do globo (m);

$v$ , a velocidade do ar (m/s)

Ruas (1999) explica que quando a velocidade do ar é maior que zero, o cálculo da temperatura radiante média só pode ser realizado após entender a participação da velocidade do ar na troca por convecção, por isso determina-se o coeficiente de troca de calor por convecção do globo ( $h_c$ ) para a convecção natural e para a forçada. A equação da temperatura radiante média é escolhida conforme coeficiente de maior valor.

As equações da temperatura radiante média, por convecção natural e forçada, respetivamente, também fornecidas por Ruas (1999), estão apresentadas nas Equações 3 e 4.

$$t_r = \left[ (t_g + 273)^4 + 0,4 \cdot 10^8 \cdot |t_g - t_a|^{0,25} \cdot (t_g - t_a) \right]^{0,25} - 273 \quad (3)$$

$$t_r = \left[ (t_g + 273)^4 + 1,1 \cdot \frac{10^8 \cdot v^{0,6}}{\varepsilon \cdot d^{0,4}} \cdot (t_g - t_a) \right]^{0,25} - 273 \quad (4)$$

Onde:

$t_g$  é a temperatura de termômetro de globo ( $^{\circ}\text{C}$ );

$t_a$  é a temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ );

$v$  é a velocidade do ar (m/s);

$d$ , o diâmetro do globo (m);

$\varepsilon$  é a emissividade do globo, padronizada em 0,95 (adimensional).

### 3.2.2 Atraso e amplitude térmica

Como explica Liz (2016), o atraso térmico se caracteriza pelo intervalo de tempo entre a hora da temperatura máxima na superfície de contato e a hora da temperatura máxima do ambiente externo.

Já a amplitude térmica é a diferença entre a temperatura máxima e a mínima registradas num determinado período de tempo.

As medidas de temperatura e umidade relativa do ar foram coletadas por meio de um *datalogger* de temperatura e umidade à prova d'água – AK 174 – da AKSO, como mostra a Figura 30. O desvio-padrão dos dados é de  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  de temperatura e  $\pm 3\%$  para a Umidade Relativa (UR). As medições vão de  $-30$  a  $85^{\circ}\text{C}$ , 0 a 100%UR, com precisão de  $0,1^{\circ}\text{C}$  e  $0,1\%$ UR, respectivamente. As medições foram realizadas durante dez dias com intervalo de 30 minutos.



**Figura 30: Datalogger AK 174**  
**Fonte: Autoria própria (2021).**

Um dos equipamentos foi acoplado abaixo da estrutura do telhado, conforme a Figura 31. E o outro foi posicionado a 1,20 m do chão, em local próximo a estrutura do telhado, através de um protótipo confeccionado seguindo o modelo proposto por Fialho (2009), mostrado na Figura 32. Se o *datalogger* recebesse incidência direta de

raios solares, os valores seriam muito superiores que a realidade, portanto utilizando o protótipo é obtida maior precisão.



**Figura 31: Suporte para Datalogger acoplado ao telhado**  
Fonte: Aatoria própria (2021).



**Figura 32: Suporte para medição de temperatura externa**  
Fonte: Aatoria própria (2021).

As tabelas que a NBR 15575 (ABNT, 2013) apresentam, com dados de dias típicos de verão e inverno das cidades brasileiras, as temperaturas de pelo menos uma cidade de cada estado do Brasil, porém nenhuma cidade é próxima da região de estudo, com altitude semelhante e dentro da mesma região bioclimática. Devido a isso, foram utilizados como parâmetros de temperatura dados coletados do Boletim Climático no site do Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná (SIMEPAR). Para a determinação da temperatura dos dias típicos de Pato Branco, foi

adotado o valor máximo de temperatura nos Boletins Climáticos dos verões de 2019 e 2020 para o dia típico de verão; e o valor mínimo de temperatura nos Boletins Climáticos dos invernos de 2019 e 2020 para o dia típico de inverno.

Visto que Curitiba é a única cidade do Paraná que possui seus dados climáticos apresentados na NBR 15575 (ABNT, 2013) utiliza-se a Tabela 4, para efeitos de comparação, as temperaturas típicas para verão e inverno, sendo os dados de Curitiba apresentados pela NBR 15575 (ABNT, 2013) e os de Pato Branco coletados no site do SIMEPAR.

**Tabela 4 Temperaturas típicas de Pato Branco e Curitiba**

	Temperatura máxima diária - verão (°C)	Amplitude diária de temperatura - verão (°C)	Temperatura mínima diária - inverno (°C)	Amplitude diária de temperatura - inverno (°C)
<b>Curitiba</b>	31,4	10,2	0,7	11,6
<b>Pato Branco</b>	29	10,8	10	11,2

Fonte: Autoria própria (2021).

Após a coleta destes dados, o cálculo do atraso térmico foi feito por meio da Equação 5:

$$\varphi = t_{T \text{ sup } máx} - t_{T \text{ ext } máx} \quad (5)$$

Onde:

$\varphi$  = atraso térmico

$t_{T \text{ sup } máx}$  = hora em que ocorre a temperatura máxima na superfície interna de contato (h)

$t_{T \text{ ext } máx}$  = hora em que ocorre a temperatura máxima no ambiente externo (h)

E o cálculo da amplitude térmica foi feito por meio da Equação 6:

$$\Delta T = T_{máx} - T_{mín} \quad (6)$$

Onde:

$\Delta T$  = amplitude térmica

$T_{máx}$  = temperatura máxima

$T_{mín}$  = temperatura mínima

### 3.2.3 Avaliação da captação e escoamento de água pluvial pelo telhado verde

Realiza-se a medição do volume de água pluvial drenado e escoado por meio da destinação da água escoada pelo telhado até os drenos que a conduzem ao reservatório de armazenamento de volume conhecido.

O volume de água precipitado no telhado deve ser obtido através da altura pluviométrica de cada evento chuvoso, cujos valores devem ser extraídos por meio de um pluviômetro instalado no protótipo, e da área de captação.

O volume captado pelo telhado verde é obtido pela Equação 7 abaixo.

$$V = P * AC$$

Onde: V é o volume de água precipitado (L);

P é a altura pluviométrica (mm);

AC é a área de captação do telhado (m<sup>2</sup>).

O excedente, armazenado no reservatório, é resultado da precipitação total incidente menos a quantidade de água que ficou retida no telhado verde.

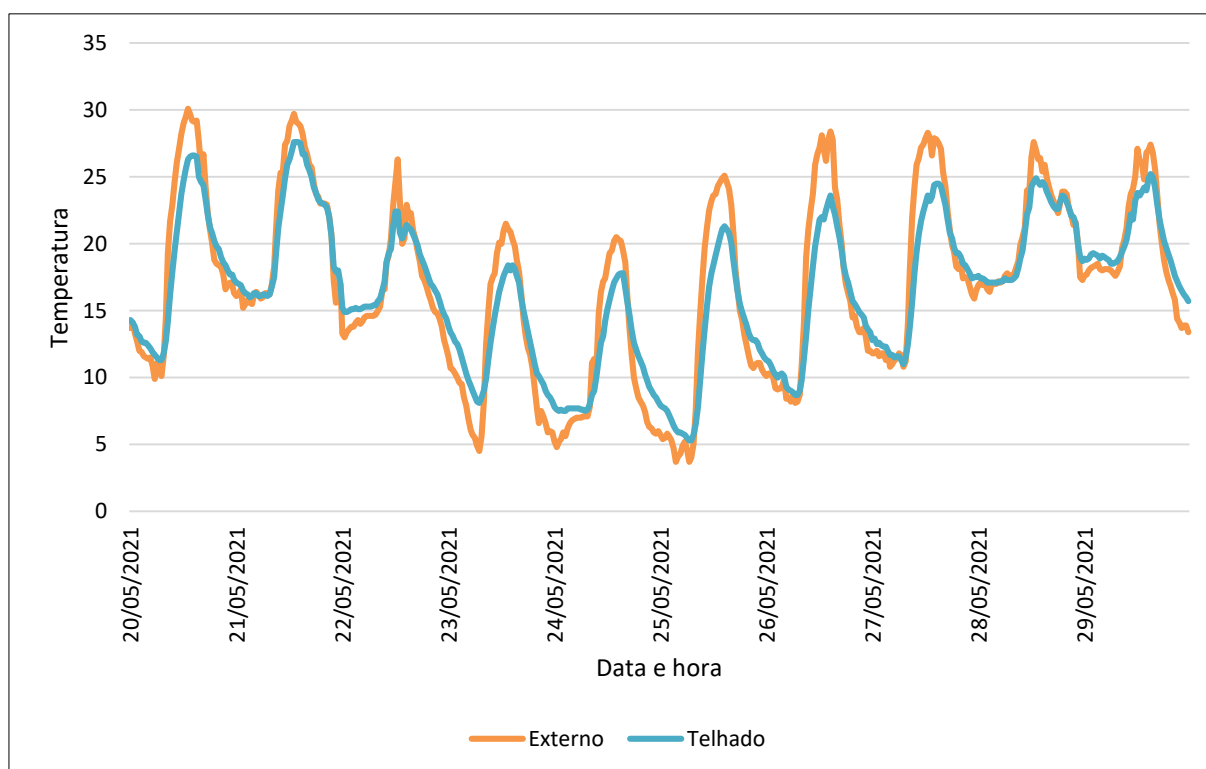
A coleta de dados deve ser realizada após cada evento chuvoso.

## 4. RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos a partir da metodologia aplicada. Realizam-se análises acerca das variações de temperatura em cada local e dia de estudo.

### 4.1 ATRASO E AMPLITUDE TÉRMICA

As medições de temperatura foram realizadas entre os dias 20 e 29 de maio de 2021, os dados obtidos estão apresentados no gráfico da Figura 33.

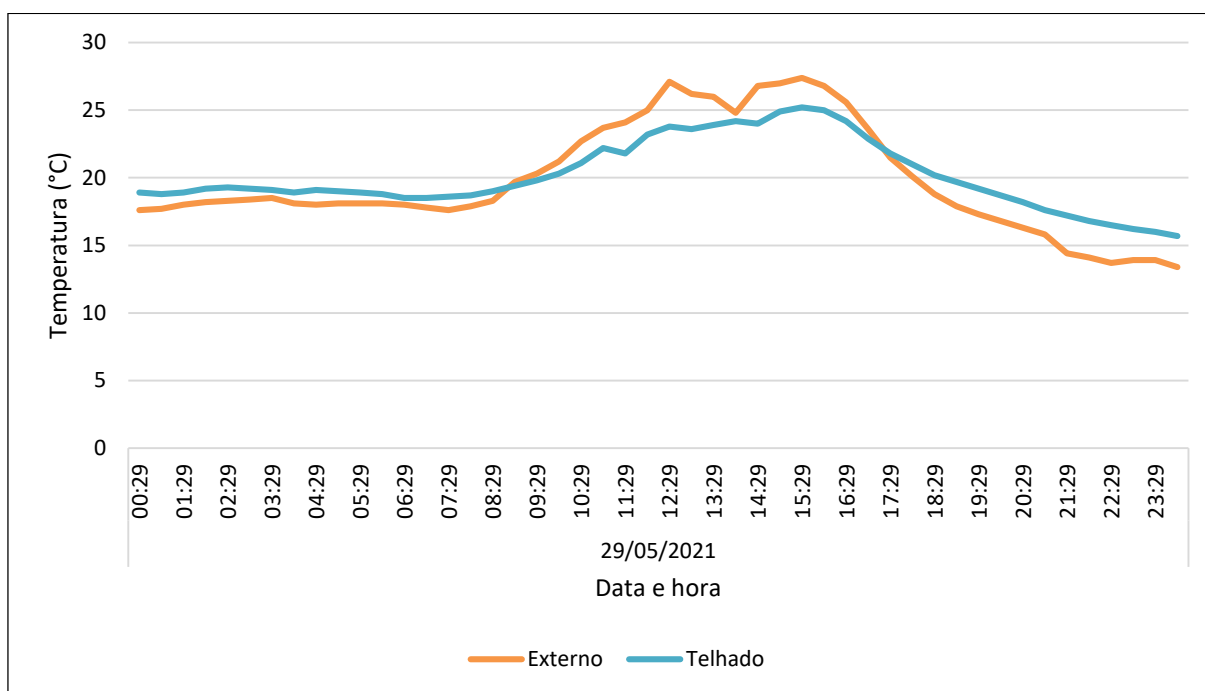


**Figura 33: Variação de temperatura**  
Fonte: Autoria própria (2021).

Após a coleta de dados, foi necessário identificar quais dias se caracterizavam como típico de verão e típico de inverno. Conforme NBR 15575 (ABNT, 2013), o dia típico de verão, identificou-se o dia 29 de maio e para o inverno, o dia 24 de maio, visto que ambos foram precedidos por dias de características semelhantes como recomendado.



As Figuras 34 e 35 apresentam as medições coletadas nestes dias.



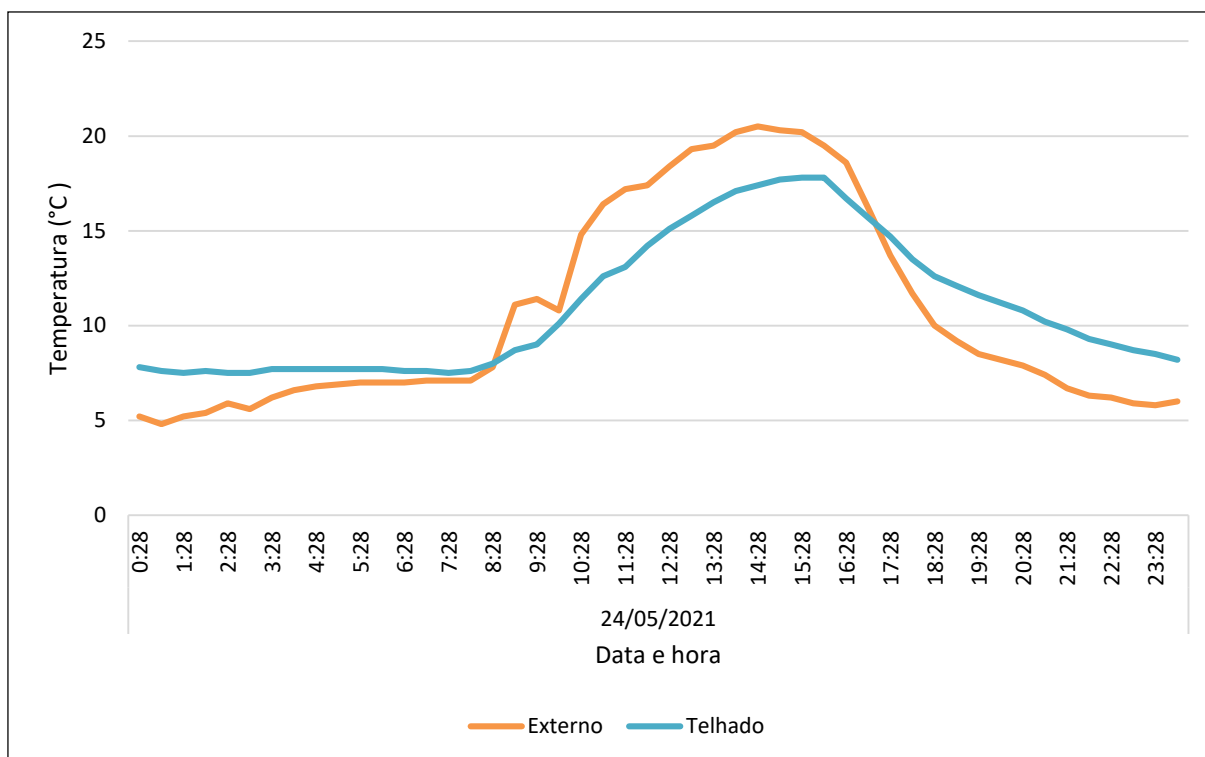
**Figura 34: Variação de temperatura no dia típico de verão**  
**Fonte: Autoria própria (2021).**

No dia típico de verão, é possível verificar que nas primeiras oito horas do dia, quando as temperaturas são mais amenas, as medidas do telhado e as externas são muito similares, sendo a maior diferença de apenas 1,3°C.

A partir do momento em que a temperatura começa a subir e ultrapassa 20°C, das 9h às 17h30min, é nítida a disparidade entre as curvas. Entretanto, após às 17h30min, quando as temperaturas começam a cair, os valores medidos no telhado não têm uma redução tão acentuada quanto ao externo.

Após realizar a análise dos dados, foi calculada a amplitude térmica entre o dispositivo acoplado ao telhado e o dispositivo externo.

Para o dia típico de verão, a amplitude de temperatura externa foi de 14°C, enquanto abaixo do telhado foi de apenas 9,5°C, demonstrando uma diminuição na amplitude de 4,5°C.



**Figura 35: Variação de temperatura no dia típico de inverno**  
**Fonte: Autoria própria (2021).**

Em relação ao dia típico de inverno, percebe-se a temperatura medida no telhado teve uma menor variação, mantendo-se mais quente que o exterior nos momentos que a temperatura externa atingiu a mínima. A menor temperatura do dia foi medida entre 00h e 01h, atingindo 4,8 °C, enquanto abaixo do telhado na mesma hora, foi medido 7,8°C, totalizando 3°C de diferença.

A partir das 8h30min quando as temperaturas começam a subir, percebe-se que a curva do dispositivo externo apresenta uma elevação abrupta, enquanto a curva do telhado exibe um crescimento constante.

Por volta das 16h30min, assim que as temperaturas começam a diminuir, novamente percebe-se uma variação severa no gráfico evidenciando uma drástica queda de temperatura. Em apenas uma hora, das 16h30min às 17h30min, o meio externo perdeu 4,5°C, ao mesmo tempo que abaixo do telhado, a redução foi de apenas 2°C.

Após o anoitecer, o meio externo apresentou grande queda da temperatura, enquanto o telhado verde permitiu um resfriamento menor e mais moderado, mantendo-se mais quente até a última medição do dia, chegando a atingir 3°C de diferença.

Após realizar a análise dos dados, também foi calculada a amplitude térmica entre o dispositivo acoplado ao telhado e o dispositivo externo no dia típico de inverno. A amplitude externa foi de 15,7°C e abaixo do telhado apenas 10,3 °C, totalizando 5,4°C de diferença.

Ressalta-se que ambos sensores não estavam expostos à incidência do sol e também estavam protegidos do vento, fatores que influenciam diretamente na amplitude e ainda, abaixo do telhado verde, nas condições de verão e de inverno, a amplitude foi menor que o meio externo, mas destaca-se que a menor variação aconteceu no dia típico de verão.

Ainda, foram calculados os valores do atraso térmico no protótipo para o verão e para o inverno, conforme demonstrado na Tabela 5.

**Tabela 5 Dados do atraso térmico**

<b>Dia Típico</b>	$t_{T\ ext\ máx}$	<b>°C</b>	$t_{T\ sup\ máx}$	<b>°C</b>	$\varphi$ (min)	$\varphi$ (h)
<b>Verão</b>	15:08	27,4	15:29	25,2	21	0,35
<b>Inverno</b>	00:37	4,8	01:28	7,5	51	0,85

**Fonte: Autoria própria (2021).**

É necessário destacar que em apenas dez de medições, as temperaturas aferidas variaram de 3,7 a 30,1°C, demonstrando que esse local apresenta condições de inverno nas quais é desejável que a edificação, a fim evitar o desconforto pelo frio, facilite a “retenção” calor no seu interior e ainda, no verão, minimize a sobrecarga térmica para evitar o desconforto do aquecimento indesejado.

Dessa forma, ressalta-se a inércia térmica, que segundo Dornelles (2004), ocasiona dois efeitos importantes a respeito dos fluxos de calor entre o meio exterior e o ambiente interno: redução das amplitudes (amortecimento) das temperaturas internas e defasagem (atraso) das mesmas em relação às temperaturas externas.

No quesito atraso térmico, o protótipo apresentou melhor desempenho no dia típico de inverno, justifica-se também pela sua característica de isolante térmico, permitindo que nos momentos mais frios do dia, tivesse a capacidade de reter o calor ao longo de suas camadas. Tendo em vista que o local de estudo experimenta dias com temperaturas muito baixas, esse aspecto do telhado verde torna-se muito importante.

Martins (2018) explica que possuir menor inércia térmica pode ser positivo para uma região com clima predominantemente quente em grande parte do ano, ou para fachadas que recebem insolação direta, sendo que a baixa inércia térmica

favorece a perda de calor da envoltória para o meio, reduzindo a transmitância de calor para o ambiente interno por períodos mais longos.

O uso de um material de alta ou baixa inércia térmica na envoltória de uma edificação dependerá da estratégia necessária para favorecer o conforto térmico, considerando o clima e as condições do entorno em que está inserida. Materiais com elevada inércia térmica podem transformar-se em acumuladores de calor, provocando desconforto térmico em períodos de altas temperaturas (AKUTSU, 2009).

A NBR 15220- 3 (ABNT, 2005) indica que, conforme as diretrizes construtivas para a zona bioclimática 2, o atraso térmico admissível para coberturas deve ser menor que 3,3 horas, portanto os valores obtidos são satisfatórios.

O parâmetro para análise de desempenho da NBR 15575 (ABNT, 2013) é que o interior do edifício habitacional apresente condições melhores ou iguais às do ambiente externo, à sombra, para o dia típico de projeto. Apesar do protótipo em estudo não se enquadrar como um edifício habitacional, tendo em vista o número de variáveis que podem influenciar os resultados, esta análise foi realizada para fins de comparação, conforme Tabelas 6 e 7.

**Tabela 6 Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão conforme NBR 15575 (ABNT, 2013)**

Verão		
Nível de desempenho	Critério Zonas 1 a 7	Análise segundo a NBR 15.575
M	$T_{i,max} \leq T_{e, max}$	$25,2 \leq 27,4$

Fonte: Autoria própria (2021).

**Tabela 7 Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão conforme NBR 15575 (ABNT, 2013)**

Inverno		
Nível de desempenho	Critério Zonas 1 a 7	Análise segundo a NBR 15.575
M	$T_{i,min} \geq (T_{e, min} + 3^{\circ}\text{C})$	$7,5 \geq 7,8$

Fonte: Autoria própria (2021).

Verifica-se que no dia típico de verão, o protótipo atinge o desempenho mínimo, e no inverno não atinge por apenas 0,3 °C, porém devido ao número de variáveis envolvidas, pode-se concluir que em ambas condições, o desempenho é satisfatório.

## 4.2 TEMPERATURA RADIANTE MÉDIA

As medições com monitor de estresse térmico foram realizadas abaixo e fora da cobertura (ar livre).

Após a obtenção dos dados, os coeficientes de troca de calor por convecção natural e forçada foram calculados. Como a velocidade do ar não se alterou nos momentos da medição, o coeficiente por convecção forçada foi o mesmo abaixo e fora da cobertura do telhado, calculado em  $20,9 \text{ W/m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$ , enquanto os coeficientes por convecção natural, abaixo do telhado foi de  $3,3 \text{ W/m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$  e fora da cobertura de  $4,0 \text{ W/m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$ .

Dessa forma, como o coeficiente por convecção forçada foi maior, adotou-se a Equação 4 para cálculo da temperatura radiante média por convecção forçada, o que era esperado, visto que a convecção forçada é um método de transferência de calor em que o movimento do fluido é influenciado por meios externos, o que acontece no protótipo já que não possui elementos de vedação.

Ao aplicar a Equação 4, a temperatura radiante média obtida abaixo do telhado foi de  $29,6^{\circ}\text{C}$  e fora da cobertura foi de  $37,0^{\circ}\text{C}$ , totalizando  $7,4^{\circ}\text{C}$  de diferença, demonstrando que o telhado verde, por meio de sua vegetação, irradia e reflete parte da radiação do sol minimizando, portanto, a temperatura radiante, apesar da possível influência da radiação externa na medição pela falta de elementos verticais de vedação.

Ainda, com o intuito, de aprofundar a análise da capacidade térmica do protótipo, foram captadas imagens termográficas.

A termografia infravermelha é a técnica capaz de fazer a leitura da intensidade da radiação infravermelha sobre um corpo ou local, uma vez que todo corpo que possui uma temperatura acima do zero absoluto emite luz infravermelha, e mesmo não sendo vista, é sentida na forma de calor. Quanto maior a temperatura localizada em um ponto, mais radiação infravermelha é emitida pelo mesmo. Como não é possível enxergar essa radiação a olho nu, o auxílio de tecnologias específicas é necessário (CHAIR, 2007).

As imagens foram obtidas pela câmera termográfica, FLIR – Modelo E6390. Os parâmetros utilizados foram emissividade de 0,95, temperatura refletida de  $20^{\circ}\text{C}$  e distância de medição de 1 metro.

As Figuras 36 e 37 apresentam as imagens captadas na superfície abaixo do telhado e também acima do telhado (vegetação), respectivamente.

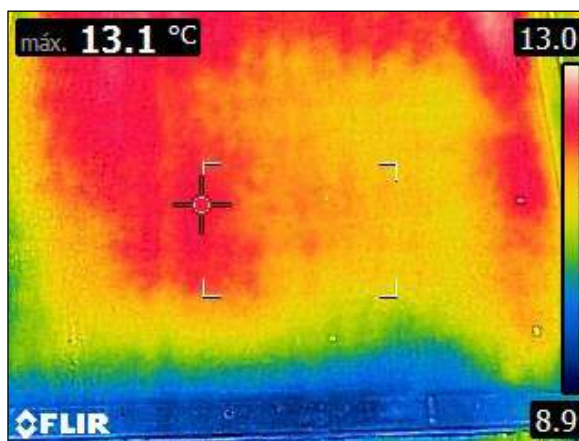


Figura 36: Imagem termográfica da superfície abaixo do telhado  
Fonte: Autoria própria (2021).

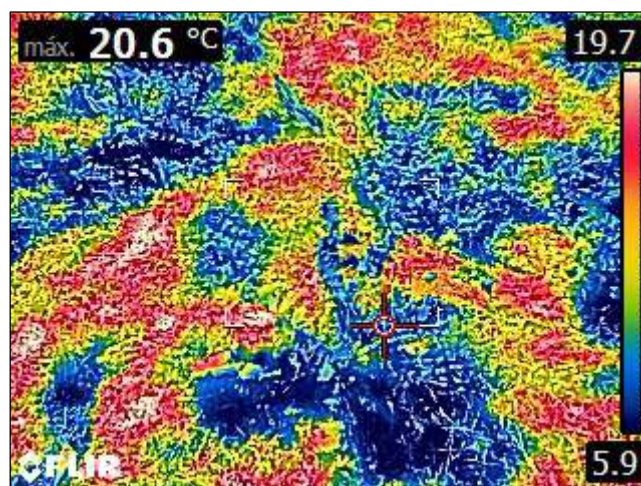


Figura 37: Imagem termográfica da superfície acima do telhado (vegetação)  
Fonte: Autoria própria (2021).

É possível notar que, na Figura 32, acima do telhado na vegetação, a temperatura varia de 5,9 a 20,6°C, com uma distribuição descontínua em toda a superfície. No dia anterior da medição, ocorreu um evento de chuva em torno de 15mm, portanto sugere-se que nos locais com coloração azul, com menor temperatura, ainda havia água armazenada.

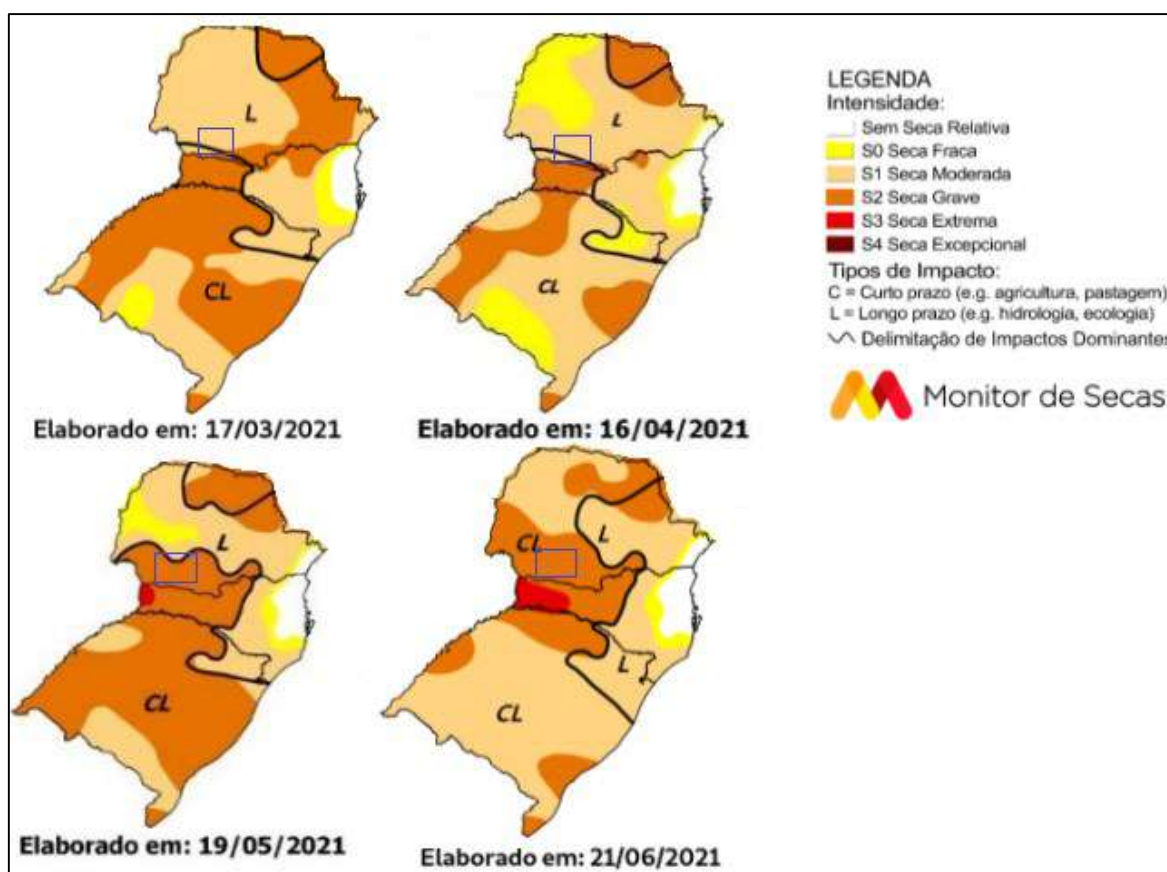
Enquanto na Figura 31, abaixo do telhado, a variação foi de 8,9 a 13°C, ressalta-se que o espaço mais frio, em azul, é aonde se localiza a estrutura metálica do protótipo.

Destaca-se ainda que, acima do telhado, a temperatura máxima foi de 20,6°C, e a variação de temperatura foi de 14,7°C. Ao mesmo tempo que, abaixo do telhado, a variação foi de apenas 4,2°C e a temperatura máxima foi de 13,1°C.

Dessa forma, abaixo do telhado, a temperatura teve uma redução de 7,5°C em relação à superfície acima do telhado.

### 4.3 CAPTAÇÃO E ESCOAMENTO DA ÁGUA PLUVIAL PELO TELHADO VERDE

A análise da retenção de água pluvial por meio da captação e escoamento do telhado verde não foi realizada, devido ao baixo volume de chuvas no local do estudo, impossibilitando a obtenção satisfatória de dados, que refletissem a realidade. A agência Nacional de Águas (ANA), em conjunto com o Ministério da Integração Nacional (MI) e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), disponibiliza para consulta o “Monitor de Secas”. A Figura 38 apresenta um comparativo entre os meses de março a junho de 2021, nas quais o retângulo azul destaca o local aproximado do estudo. Percebe-se que em março e abril, o local enfrentava a “S1 Seca Moderada” e nos meses de maio e junho, a “S2 Seca Grave”.



**Figura 38: Comparativo do Sul do Brasil de Março a Junho no "Monitor de Secas"**  
 Fonte: Adaptado. Monitor de Secas (2021).

Entretanto, na literatura encontram-se várias evidências da capacidade de retenção apresentada por telhados verdes em outras localidades.

O estudo realizado por Voyde et. al. (2010) em Auckland, na Nova Zelândia, demonstrou que ao longo de 1 ano, a eficiência de retenção cumulativa do telhado

vivo foi de 66%. Dos 1.093 mm de chuva recebidos, apenas 367 mm foram despejados como escoamento, com base em 178 chuvas eventos. Ainda, o telhado verde demonstrou reduções no escoamento e reduções significativas nas taxas de pico de fluxo, independentemente da chuva características.

Stovin et. al. (2012) analisou um protótipo de 3 m<sup>2</sup> em Sheffield, na Inglaterra. Neste caso, vários eventos de chuva foram analisados. O desempenho de retenção foi maior quando todos os eventos de chuva foram considerados, com retenção média e mediana de 70% e 91% por evento e 61% e 62%, quando considerados todos os eventos com precipitação maior que 2 mm. A retenção cumulativa pela cobertura foi de 50,2%. Isso implica que os telhados verdes podem fazer uma contribuição significativa para a mitigação do escoamento da tempestade associada com eventos de chuva de alta frequência.

Ainda, Jobim et.al (2013) avaliou duas configurações de substrato, com ou sem argila expandida, em quatro tipos de sistemas modulares de telhado verde. Verificou-se que, em todos os sistemas, a adição de argila expandida ao substrato proporcionou uma melhor eficiência na capacidade de retenção das águas pluviais.

Dessa forma, com base nos estudos apresentados, conclui-se que a avaliação da captação e escoamento da água pluvial no protótipo em estudo também seria satisfatória.



## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve por objetivo avaliar a influência de um telhado verde, do tipo extensivo, no conforto térmico de uma edificação, por meio da análise do atraso e amplitude térmica e da temperatura radiante média em um protótipo.

Também, pretendia-se estudar a retenção de água pluvial pelo protótipo, porém, conforme justificado anteriormente, não foi possível realizar esta etapa.

Após a definição dos componentes e construção do protótipo, foram realizadas as medidas de temperatura necessárias para o cálculo e análise dos parâmetros.

Em comparação entre o telhado e o meio externo, houve redução da amplitude térmica nos dias típicos de verão e de inverno, sendo 4,5°C e 5,4°C, respectivamente. Destaca-se também que no dia típico de inverno, das 00h às 7h30min e das 17h30 às 23h28min, quando as temperaturas eram mais baixas, o telhado possibilitou a retenção do calor, evitando mudanças bruscas de temperatura. Tais resultados apresentam-se favoráveis ao isolamento térmico do protótipo.

Enquanto, o atraso térmico medido no telhado foi de 0,35 e 0,85 hora para o verão e inverno, respectivamente. Tendo em vista que a NBR 15220-3 (ABNT, 2005) indica que este atraso deve ser menor que 3,3 horas, considera-se tais valores satisfatórios.

Ainda, a temperatura radiante média abaixo do telhado foi reduzida em 7,4°C, sendo um dos fatores que também beneficia o conforto térmico do ambiente. Entretanto, ressalta-se que o protótipo construído não possui elementos de vedação vertical e por isso, a radiação externa pode ter influenciado na redução desse valor no momento da medição, e, portanto, a temperatura radiante média abaixo do telhado poderia ser ainda menor.

Dessa forma, verifica-se que o telhado verde proporciona melhor isolamento e redução das perdas de calor por radiação e assim, reduz a perda de calor no período de inverno, mas os níveis de sombreamento e evapotranspiração contribuem para a redução do ganho de calor no verão.

Assim, por meio dos resultados obtidos, é possível perceber que o telhado verde reduz a amplitude de temperatura e a temperatura radiante média, e, portanto, a atuação da radiação no aquecimento do ambiente, e também propicia um atraso

térmico satisfatório, portanto, conclui-se que o telhado verde, como componente construtivo, apresenta um bom desempenho em relação ao isolamento térmico, e por isso, pode contribuir de forma favorável ao conjunto de fatores que compõem o conforto térmico de uma edificação.

## 5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Durante a realização deste trabalho, observaram-se outros possíveis temas que podem ser desenvolvidos a fim de colaborar com o entendimento dos resultados já encontrados e coletar novas informações considerando outras variáveis, são eles:

- Avaliação da captação e escoamento da água pluvial pelo telhado verde, a qual não foi possível executar neste trabalho;
- Análise do ciclo de vida de um telhado verde, do tipo extensivo e/ou intensivo;
- Avaliação da qualidade da água captada em um telhado verde, utilizando carvão de bambu como camada de drenagem;
- Avaliação da influência de um telhado verde, do tipo intensivo, no conforto térmico;
- Análise comparativa da influência de um telhado verde intensivo e extensivo no conforto térmico de uma edificação com paredes, para diminuir a influência da radiação térmica do meio;
- Avaliação da influência de um telhado verde, do tipo extensivo, no conforto térmico em uma edificação com laje de concreto, variando espessura da laje;
- Avaliação da influência de um telhado verde, do tipo extensivo, variando a camada de vegetação, no conforto térmico em uma edificação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKUTSU, Maria et al. **O efeito da inércia térmica de paredes no desempenho térmico de edificações escolares**. XII ENCAC - Encontro Nacional de Conforto no ambiente Construído e VIII ELACAC - Encontro Latinoamericano de Conforto no Ambiente Construído, 2013.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. O Monitor de Secas. Disponível em: <http://monitordesecas.ana.gov.br/mapa>. Acesso em: 29 jul. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15575 - Partes 1-6: Desempenho de Edifícios Habitacionais**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações, parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro, 2005.

BARTHOLOMEI, Carolina Lotufo Bueno et al. **A Influência da vegetação no conforto térmico urbano e no ambiente construído**. 2003. 189f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

CATUZZO, Humberto. **Telhado Verde: impacto positivo na temperatura e umidade do ar. O Caso da Cidade de São Paulo**. 2013. 206 f. Tese (Doutorado) – Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, 2013.

CHAIR, C. R. Infrared Thermography - Definition. 2007. Disponível em: <http://mivim.gel.ulaval.ca/dynamique/index.php?idD=58&Lang1>. Acesso em: 28 jul. 2021.

DE ANDRADE, Nixon Cesar; RORIZ, Mauricio. **Comportamento térmico de cobertura verde utilizando a grama Brachiaria Humidicola na cidade de São Carlos, SP**. PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, v. 1, n. 4, p. 75-90, 2009.

D'ELIA, Renata. **Telhados verdes**. PINI Web – Técnica ed. 148, jul, 2009. Disponível em: <http://blog.institutocidadejardim.com.br/wp-content/uploads/2019/08/Telhados-verdes-revista-t%C3%A9chne-148.pdf>. Acesso em 19 mai. 2020.

DOS SANTOS, Ana Maria; RODRIGUES, Gilberto Aparecido. **Ilhas de Calor: Conceito, Problemas e Alternativas**. In: III SIMTEC – Simpósio de Tecnologia da FATEC Taquaritinga, 2015.

ECOTELHADO, Design Biofílico. **Ecotelhado**, 2020. Soluções em Sistemas para Arquitetura e Bioconstrução. Disponível em: < <https://ecotelhado.com/>>. Acesso em: 04 set. 2020.

FERREIRA, César Argentieri; MORUZZI, Rodrigo Braga. **Considerações sobre a aplicação do telhado verde para captação de água de chuva em sistemas de aproveitamento para fins não potáveis**. Encontro nacional, v. 4, p. 1027-1036, 2007.

FERREIRA, Manoela de Freitas Ferreira; DE OLIVEIRA, Alfredo Jefferson; LEME, Fernando Betim Paes. **Teto verde: O uso de coberturas vegetais em edificações**. São Paulo: USP, 2008.

FIALHO, Edson Soaresn. **Ilha de calor em cidade de pequeno porte: Caso de Viçosa, na Zona da Mata Mineira**. 2009. 248 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2009.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de conforto térmico**. Studio Nobel, 1995.

GATTO, Christiane Merhy. **Coberturas Verdes: A Importância da Estrutura e da Impermeabilização Utilizadas**. Juiz de Fora: Mestrado em Ambiente Construído. Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, 2012.

GREEN ROOF TECHNOLOGY. **Green Roof Systems**. Disponível em: <<http://www.greenrooftechnology.com/greenroof-system>>. Acesso em 15 out. 2020.

GREEN ROOF SHELTERS. **Green Roof Cycle Shelters**. Disponível em: <<https://greenroofshelters.co.uk/green-roof-shelters-container-family/>>. Acesso em 7 out. 2020.

INSTITUTO CIDADE JARDIM, Green roofs, urban farming. **Sistemas Cidade Jardim para Telhados Verdes**, 2019. Disponível em: <<https://institutocidadejardim.com.br/>>. Acesso em: 04 set. 2020.

JOBIM, Alan Lamberti et al. **Diferentes tipos de telhados verdes no controle quantitativo da água pluvial. 2013. 75f**. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

KOLB, Walter. **Telhados de cobertura verde e manejo de águas pluviais**. SIMPÓSIO CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DE CHUVA, v. 4, 2003.

KRYSTEK, Lee (1998). **The Hanging Gardens of Babylon**. UnMuseum. [On-Line]. Disponível em: <<http://www.unmuseum.org/hangg.htm>>. Acesso em: 26 ago. 2020.

LAMBERTS, Roberto et. al. **Desempenho térmico de edificações**. Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo: PW, 1997.

LIZ, Débora Gracielle Stiegemeier de et al. **Análise experimental do comportamento término do telhado verde extensivo para Florianópolis**. 2016.

MARTINS, Juliana Furtado Arrobas et al. **Análise do desempenho térmico de placas à base de óxido de magnésio aplicadas no sistema Light Steel Frame**. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Campinas, 2018.

MENEZES, Afonso Henrique Novaes et al. **Metodologia científica: teoria e aplicação na educação a distância**. Universidade Federal do Vale do São Francisco, Petrolina-PE, 2019.

MINKE, Gernot. **Techos verdes**. Editorial Fin del Siglo. Hiszpania, 2009.

MORAIS, Caroline Santana de et al. **Desempenho térmico de coberturas vegetais em edificações na cidade de São Carlos-SP**. 2004.

OLIVEIRA Eric Watson Netto de. **Telhados verdes para habitações de interesse social: retenção das águas pluviais e conforto térmico**. Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

PALLA, Anna et al. **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.

PECK, Steven W. et al. **Greenbacks from green roofs: forging a new industry in Canada**. Canada Mortgage & Housing Corporation, 1999.

POSSAN, Edna; DEMOLINER, Carlos Alberto. **Desempenho, durabilidade e vida útil das edificações: abordagem geral**. Revista técnico-científica, v. 1, n. 1, 2013.

REBOLLAR, Nora Alejandra Patricia et al. **Telhados verdes: uma abordagem multidisciplinar**. Editora Ledix. Florianópolis, 2017.

ROSSI, Francine Aidie. **Proposição de metodologia e de modelo preditivo para avaliação da sensação térmica em espaços abertos em Curitiba**. 2012.

RUAS, Á. César. **Conforto térmico nos ambientes de trabalho**. São Paulo: Fundacentro, 1999.

SANTOS, Pedro Tyaquicã da Silva et al. **Telhado verde: desempenho do sistema construtivo na redução do escoamento superficial**. Ambient. constr., Porto Alegre , v. 13, n. 1, p. 161-174, Mar. 2013

SETTA, Bruno Rocha Silva. **Telhados Verdes Como Políticas Públicas Ambientais Para O Município De Volta Redonda–RJ**. Revista LABVERDE, v. 8, n. 1, p. 13-35, 2017.

SILVA, Neusiane da Costa. **Telhado verde: sistema construtivo de maior eficiência e menor impacto ambiental**. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.

SIQUEIRA, Tulio Cesar Pessotto Alves et al. **Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações**. Rem: Rev. Esc. Minas, Ouro Preto, v. 58, n. 2, p. 133-138, 2005.

STOVIN, Virginia; VESUVIANO, Gianni; KASMIN, Hartini. **The hydrological performance of a green roof test bed under UK climatic conditions**. Journal of hydrology, v. 414, p. 148-161, 2012.

TOMAZ, Plínio. **Telhado verde**. 2005. Capítulo 10. Disponível em: <<https://www.agriversdes.com.br/biblioteca/wp-content/uploads/2019/06/Capitulo10-Telhadoverde.pdf>>. Acesso em 26 de ago. 2020.

TOSCANA, Inside. **Pienza**. 2012. Disponível em: <<https://www.toscanainside.com/discover-tuscany/small-villages/pienza/>>. Acesso em 23 de ago. 2021.

VIEIRA, Zacarias Caetano; DA SILVA JUNIOR, Carlos Gomes; RIBEIRO, Silvana Nóbrega. **Uso de telhados verdes em edificações de Aracaju para redução do escoamento superficial**. 2015.

VOYDE, Emily; FASSMAN, Elizabeth; SIMCOCK, Robyn. **Hydrology of an extensive living roof under sub-tropical climate conditions in Auckland, New Zealand**. Journal of hydrology, v. 394, n. 3-4, p. 384-395, 2010.

WINTER, Lucas Gabriel et al. **Elaboração de manchas de inundação na área central de Pato Branco considerando aspectos urbanísticos**. 2018. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.