



**UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO**  
**ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO**  
**Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil**

**PRISCILA VILEMEN DA SILVA LIMA**

**INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DE TEMPERATURA NA  
IMPLEMENTAÇÃO DE UM TELHADO VERDE EM UMA OBRA DE  
RETROFIT**

Recife, PE  
2024



**UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO**  
**ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO**  
**Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil**

**PRISCILA VILEMEN DA SILVA LIMA**

**INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DE TEMPERATURA NA  
IMPLEMENTAÇÃO DE UM TELHADO VERDE EM UMA OBRA DE  
RETROFIT**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, da Escola Politécnica de Pernambuco da Universidade de Pernambuco para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Construção Civil

Orientador: Prof. Dr. Felipe Mendes da Cruz

Recife, PE  
2024

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
Universidade de Pernambuco

Lima, Priscila Vilemen da Silva  
L732i Influência da variação de temperatura na  
implementação de um telhado verde em uma obra de retrofit. /  
Priscila Vilemen da Silva Lima. – Recife: UPE, Escola  
Politécnica, 2024.

128 f. il.  
Inclui apêndices.

Orientador: Prof. Dr. Felipe Mendes da Cruz

Dissertação (Mestrado – Construção Civil)  
Universidade de Pernambuco, Escola Politécnica de  
Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia  
Civil, 2024.

1. Telhado Verde. 2. Orçamento. 3.  
Sustentabilidade. 4. Temperatura. 5. Absorção Térmica. I.  
Construção Civil – Dissertação. II. Cruz, Felipe Mendes da  
(orient.). III. Universidade de Pernambuco, Escola  
Politécnica, Mestrado em Construção Civil. IV. Título.

CDD: 690.028 – 23. ed.  
Eliane Leitão –

CRB4/827

**PRISCILA VILEMEN DA SILVA LIMA**

**INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DE TEMPERATURA NA  
IMPLEMENTAÇÃO DE UM TELHADO VERDE EM UMA OBRA  
DE RETROFIT**

**BANCA EXAMINADORA:**

**Orientador**

Documento assinado digitalmente  
 **FELIPE MENDES DA CRUZ**  
Data: 22/08/2024 19:05:31-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. Felipe Mendes da Cruz  
Universidade de Pernambuco

**Examinadores**

Documento assinado digitalmente  
 **ELIANA CRISTINA BARRETO MONTEIRO**  
Data: 23/08/2024 13:55:55-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Profa. Dra. Eliana Cristina Barreto Monteiro  
Universidade de Pernambuco

Documento assinado digitalmente  
 **KLEBER GONCALVES BEZERRA ALVES**  
Data: 22/08/2024 13:29:35-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Proa. Dr. Kleber Gonçalves Bezerra Monteiro  
Universidade Federal de Pernambuco

Recife-PE  
2024

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos a todos que contribuíram para a realização deste trabalho. Primeiramente, agradeço a Deus, fonte de sabedoria e força, por me guiar e sustentar ao longo desta jornada.

À minha família, que sempre me apoiou incondicionalmente ao longo da minha jornada acadêmica. Em especial, aos meus pais, José Vilemen da Silva e Eronalda S. de Almeida, por seu amor, paciência e encorajamento contínuo. Sem vocês, este sonho não teria se tornado realidade.

Ao meu parceiro de vida, Nathan Bezerra de Lima, pela compreensão, suporte e por acreditar em mim, mesmo nos momentos mais desafiadores. Sua presença foi fundamental para que eu conseguisse superar os obstáculos e manter o foco. A minha filha Vitoria Vilemen de Lima que foi minha fonte de motivação.

Ao empresário, Diogenes Ferreira da Luz, que fez possibilitou a viabilidade desta pesquisa, fornecendo recursos e seu apoio logístico. A realização do trabalho no empreendimento de sua propriedade foi crucial para o desenvolvimento e sucesso deste estudo.

Aos meus amigos e colegas, que compartilharam comigo os desafios e as alegrias desta trajetória, agradeço por todas as trocas de conhecimento, apoio e companheirismo. Agradeço também pelas palavras de incentivo nos momentos difíceis e pelas celebrações nas conquistas.

Aos meus professores e orientadores, especialmente ao meu orientador, professor Dr. Felipe Mendes da Cruz, cuja orientação e sabedoria foram essenciais para a conclusão deste trabalho. Agradeço a paciência, pelas críticas construtivas e por todo o conhecimento compartilhado. Sua orientação foi crucial para o desenvolvimento deste trabalho.

Por fim agradeço também aos meus colegas de pesquisa, pelos debates enriquecedores e pelo apoio mútuo. Juntos, enfrentamos os desafios da pesquisa e crescemos como profissionais e como pessoas.

A todos, meu mais sincero muito obrigado!

## EPÍGRAFE

**“PESSOAS QUE NÃO  
SUSTENTAM ÁRVORES, EM  
BREVE, VIVERÃO EM UM  
MUNDO QUE NÃO SUSTENTA  
PESSOAS” (BRYCE).**

## RESUMO

A crescente preocupação com o meio ambiente destaca a relevância da sustentabilidade, tornando os telhados verdes ferramentas cruciais. Nesse contexto, esta dissertação visa a implementação de telhados verdes em empreendimentos já existentes, explorando sua importância no setor da construção civil, que utiliza recursos finitos e potencialmente prejudiciais ao meio ambiente. Alinhado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU), este estudo investiga a implantação de um telhado verde extensivo, reconhecido por sua eficácia na atenuação da temperatura, com base em publicações relevantes na área. Na metodologia da pesquisa, realizou-se uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), que permitiu filtrar informações relevantes, destacando os benefícios do telhado verde, especialmente em relação ao conforto térmico. Além disso, um estudo comparativo entre três tipos de cobertas foi realizado na edificação: coberta em telha de fibrocimento (1), em laje de concreto convencional (2), e cobertura de telhado verde (3). Este estudo permitiu analisar os registros de temperatura de cada tipo de cobertura, com auxílio da câmera termográfica, com isso possibilitando analisar seu impacto no conforto térmico. Os resultados demonstraram que o telhado verde proporcionou um significativo conforto térmico, com uma redução média de temperatura de aproximadamente 17,31°C em relação a coberta de telha de fibrocimento e 13,46°C em relação a coberta de laje de concreto convencional. Por fim, foi realizado um orçamento global para a execução do *retrofit* na edificação, incluindo itens como recuperação e reforço estrutural devido a nova sobrecarga adicionada na estrutura existente de aproximadamente de 0,672 tf/m<sup>2</sup> imposta pelas 06 camadas do telhado verde que foram implementadas e 0,3 tf/m<sup>2</sup> de carga acidental totalizando uma carga permanente de 0,972 tf/m<sup>2</sup>. Vale destacar que este estudo abre novas perspectivas de pesquisa sobre o tema, como telhado verde ser uma solução para o problema da diminuição drástica de áreas permeáveis nos grandes centros urbanos, que agravam problemas como enchentes, elevação de temperatura, ilhas de calor e efeito estufa. Em conclusão, a implementação de telhados verde contribui para o avanço das práticas sustentáveis na construção civil e para o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas.

**Palavras-chave:** Telhado verde; orçamento; sustentabilidade; temperatura; absorção térmica.

## ABSTRACT

A growing concern for the environment underscores the relevance of sustainability, making green roofs crucial tools. In this context, this dissertation aims to implement green roofs in existing buildings, exploring their importance in the construction sector, which uses finite and potentially harmful resources. Aligned with the United Nations (UN) Sustainable Development Goals (SDGs), this study investigates the implementation of an extensive green roof, recognized for its effectiveness in temperature mitigation, based on relevant publications in the field. In the research methodology, a Systematic Literature Review (SLR) was conducted, allowing for the filtration of relevant information and highlighting the benefits of green roofs, particularly regarding thermal comfort. Additionally, a comparative study was conducted among three types of roofing in the building: fibrocement tile roof (1), conventional concrete slab roof (2), and green roof (3). This study enabled the analysis of temperature records for each type of roofing using a thermal camera, allowing the evaluation of its impact on thermal comfort. The results demonstrated that the green roof provided significant thermal comfort, with an average temperature reduction of approximately  $17.31^{\circ}\text{C}$  compared to the fibrocement tile roof and  $13.46^{\circ}\text{C}$  compared to the conventional concrete slab roof. Finally, a global budget was prepared for the retrofit execution in the building, including items such as structural recovery and reinforcement due to the new load added to the existing structure of approximately  $0.672\text{ tf/m}^2$  imposed by the six layers of the green roof and  $0.3\text{ tf/m}^2$  of accidental load, totaling a permanent load of  $0.972\text{ tf/m}^2$ . It is worth noting that this study opens new research perspectives on the topic, such as green roofs being a solution to the problem of the drastic reduction of permeable areas in large urban centers, which exacerbate issues such as flooding, temperature rise, heat islands, and the greenhouse effect. In conclusion, the implementation of green roofs contributes to the advancement of sustainable practices in civil construction and to the achievement of the United Nations Sustainable Development Goals.

**Keywords:** Green roof; budget; sustainability; temperature; thermal absorption.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, Agenda ONU 2030.....	25
Figura 2 – Tipos de gramas .....	42
Figura 3 – Fluxograma do PRISMA.....	45
Figura 4 – Representação gráfica em 3D da edificação com ênfase na cobertura.....	48
Figura 5 – Fluxograma de atividades. ....	49
Figura 6 – Planta de situação da edificação.....	50
Figura 7 – Planta baixa da cobertura da edificação. ....	51
Figura 8 – Vista 3D da cobertura antes e após a aplicação do telhado verde. ....	52
Figura 9 – Camadas do telhado verde. ....	56
Figura 10 – Espessura da camada de regularização. ....	57
Figura 11 – a) Rolo do tecido permeável com 2,30 x 100m b) Aplicação do tecido permeável Bidim sobre a camada drenante.....	59
Figura 12 – Concentração dos elementos químicos que compõe a argila expandida.....	60
Figura 13 – Grama esmeralda.....	62
Figura 14 – Interface do software Orçafascio .....	64
Figura 15 – Dados do orçamento.....	65
Figura 16 – Representação gráfica da curva ABC .....	65
Figura 17 – (a) Armadura exposta em viga de concreto: (b) Recobrimento insuficiente em elemento estrutural de concreto armado. ....	69
Figura 18 – (a) Apoio de laje em elemento de vedação não estrutural (b) remoção inadequada do elemento estrutural viga no subsolo da edificação. ....	69
Figura 19 – (a) Presença de umidade em laje. (b) Deformação excessiva de viga e ausência de encunhamento no pavimento térreo por ausência de encunhamento. ....	70
Figura 20 – (a) viga com armadura exposta e apoio de laje inadequado (b) furo em viga em região inadequada .....	70
Figura 21 – Blocos de concreto inseridos em apoio a laje de painel treliçado.....	71
Figura 22 – Furo horizontal em elemento estrutural de concreto armado.....	71
Figura 23 – Coberta com telha de fibrocimento .....	72
Figura 24 – Coberta após remoção das telhas de fibrocimento. ....	73
Figura 25 – Reforço estrutural da laje existente(a), detalhe construtivo dos painéis treliçados sobre elemento estrutural de concreto armado (b).....	73
Figura 26 – Moldagem de corpo de prova do concreto no reforço estrutural. ....	74

Figura 27 – Aditivo impermeabilizante (a), aditivo sendo misturado na dosagem (b). .....	75
Figura 28 – Realização do ensaio de consistência do concreto (a), corpos de prova moldados em estado fresco (b).....	76
Figura 29 – Corpos de prova rompidos por teste de resistência mecânica à compressão .....	76
Figura 30 – Laje em painel treliçado com lajota para construção em EPS. ....	78
Figura 31 – Detalhamento do corte A-A do painel treliçado reforçado. ....	79
Figura 32 – Representação gráfica da área de sobrecarga do telhado verde. ....	80
Figura 33 – Representação em percentual da carga permanente. ....	81
Figura 34 – Desnível da cobertura. ....	81
Figura 35 – 1ª Camada com placas de EPS (1.000 x 330 x 65 mm). ....	82
Figura 36 – Preenchimento de desnível com placas de EPS (a), malha de reforço (b).....	83
Figura 37 – Execução da regularização do piso com devidos caimentos sobre malha de reforço (a), (b) e (c). ....	83
Figura 38 – Sistema de captação de águas pluviais.....	84
Figura 39 – Junta de dilatação do contrapiso em processo de cura (a) / Junta de dilatação do contrapiso (b).....	85
Figura 40 – Contrapiso da laje, com os caimentos adequados para funcionamento do sistema de drenagem, executado .....	86
Figura 41 – Execução da aplicação da camada de prime. ....	87
Figura 42 – Aplicação de manta asfáltica Anti Raiz .....	87
Figura 43 – Teste de estanqueidade do sistema de impermeabilização. ....	88
Figura 44 – Proteção mecânica aplicado sobre o sistema de impermeabilização, com instalação de bloco de concreto celular no layout de passeio da cobertura. ....	88
Figura 45 – Layout da área de passeio em bloco de concreto celular. ....	89
Figura 46 – Aplicação de argila expandida .....	89
Figura 47 – Representação da granulometria da argila expandida do tipo 3222 e do tipo 2215 .....	90
Figura 48 – Manta geotêxtil Bidim 100m x 2,30m, aplicado sobre a camada da argila expandida.....	91
Figura 49 – Registros da aplicação da camada do substrato. ....	92
Figura 50 – Registros da grama esmeralda aplicada. ....	93
Figura 51 – Sistema de irrigação da camada vegetal.....	93

Figura 52 – (a) telha de fibrocimento – 244 x 110 (e=6mm), (b) telha de fibrocimento 244 x 50 (e=4mm), (c) laje de concreto e (d) camada vegetal. ....	95
Figura 53 – Termografia infravermelha da cobertura de laje de concreto.....	96
Figura 54 – Desenho esquemático para diferenciar as áreas de aferições de temperatura da telha de fibrocimento - Parte I – superior / Parte II – inferior. ....	97
Figura 55 – a) telha de fibrocimento 244 x 50cm (e=4mm), b) telha de fibrocimento 244x 110cm (e=6mm). ....	97
Figura 56 – Termografia infravermelha da telha de fibrocimento de 244x110 cm (e=6mm) - Parte I.....	98
Figura 57 – Termografia infravermelha da telha de fibrocimento de 244x110 cm (e=6 mm) - Parte II. ....	99
Figura 58 – Termografia infravermelha da telha de fibrocimento de 244 x50 cm (e=4mm) – Parte I.....	100
Figura 59 – Termografia infravermelha da telha de fibrocimento de 244 x50 cm (e=4mm) – Parte II. ....	101
Figura 60 – Termografia infravermelha da camada vegetal.....	102
Figura 61 – Visualização gráfica da cobertura com forma geométrica ondular. ....	104
Figura 62 – Incidência de luz solar na fachada: 12:00 horas.....	105
Figura 63 – Simulação virtual do percurso solar sobre a edificação. ....	105
Figura 64 – Posicionamento geográfico da edificação.....	106
Figura 65 – Registros da fachada Norte. ....	106
Figura 66 – Termografia infravermelha da fachada Norte.....	107
Figura 67 – Porcentagem de itens nas categorias A, B e C. ....	111
Figura 68 – Curva ABC de Serviços. ....	111

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Características dos tipos de grama.....	42
Quadro 2 – Descrição dos elementos dos critérios da pesquisa. ....	46
Quadro 3 – Critérios de seleção da pesquisa. ....	46
Quadro 4 – Critérios de inclusão e exclusão. ....	46
Quadro 5 – Tipos de cobertas. ....	48
Quadro 6 – Dimensões e pesos das telhas de fibrocimento.....	53
Quadro 7 – Especificações da telha de fibrocimento. ....	54
Quadro 8 – Camadas aplicadas na implementação do telhado verde.....	55
Quadro 9 – Propriedades e características da manta anti raiz .....	57
Quadro 10 – Propriedades física da argila expandida .....	59
Quadro 11 – Especificação técnica da câmera termográfica – Modelo FLIR E60. ....	63
Quadro 12 – Curva ABC .....	65
Quadro 13 – Dosagem do concreto do reforço estrutural.....	74
Quadro 14 – Resistência à compressão dos corpos de prova. ....	77
Quadro 15 – Resistência (MPa) dos corpos de prova.....	77
Quadro 16 – Pontos positivos na utilização das placas de EPS.....	78
Quadro 17 – Espessura das camadas do telhado verde, 41,4 cm x carga (tf/m <sup>2</sup> ) .....	80
Quadro 18 – Dosagem do concreto do piso regularizante com aditivo impermeabilizante. ....	84
Quadro 19 – Especificação dos tipos de argila expandida utilizada.....	90
Quadro 20 – Benefícios da argila expandida.....	90
Quadro 21 – Proporção do substrato da camada vegetal.....	92
Quadro 22 – Quadro comparativo de temperatura. ....	103
Quadro 23 – Quadro de aferições de temperatura da fachada Norte (°C). ....	108
Quadro 24 – Planilha orçamentária resumida.....	109
Quadro 25 – Percentual da Curva ABC do orçamento.....	110

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira De Normas Técnicas

a.C. – Antes de Cristo.

ADAP – Adaptado

AF – Água Fria

$Al_2O_3$  – Óxido de alumínio (III)

ART – Anotação de Responsabilidade Técnica

BDC – Bloco de Concreto Demolido

B.D.I – Benefícios e Despesas Indiretas

BIM – Building Information Modeling

CA – Concreto Armado

Ca – Calcio

CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

CaO – Oxido de cálcio

Ca (OH)<sub>2</sub> – Hidróxido de cálcio

COMPESA – Companhia Pernambucana de Saneamento

CO<sub>2</sub> – Dióxido de carbono

CHP – Custos Horários Produtivos

CP Z 32 - RS – Cimento Portland composto com pozolana – Resistente a Sulfato

CREA -PE – Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Pernambuco

CS – Silicatos de Cálcio

CSH – Silicatos de Cálcio Hidratados

C<sub>3</sub>S – Silicato tricálcico

C<sub>2</sub>S – Silicato dicálcico

EPS – Poliestireno Expandido

fck – Resistência Característica do Concreto à Compressão

Fe – Ferro

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – Óxido de ferro

FGM – Materiais com Gradiente Funcional

FRX – Microscópio de fluorescência

ICU – Ilha de Calor Urbano

IFC – Corporação Financeira Internacional (*Industry Foundation Classes*)

ISO – Organização Internacional para Padronização

JJCC – Centro de Convenções Jacob K. Javits

K<sub>2</sub>O – Óxido de potássio

L – Leste

MgO – Óxido de magnésio

N – Norte

NBR – Norma Brasileira

O – Oeste

O – Oxigênio

ODS – Objetivo de Desenvolvimento Sustentável

ONU – Organização das Nações Unidas

PE – Pernambuco

PFA – *Plastic Fine aggregate*

POLI – Escola Politécnica de Pernambuco

PRISMA – Principais Itens para Relatar Revisões Sistemáticas e Meta-análises

PVC – Policloreto de polivinila

RSL – Revisão Sistemática da Literatura

S – Sul

SCO – Sistema de Custo de Obra

Si – Silício

SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil

SiO<sub>2</sub> – Dióxido de Silício

SO<sub>4</sub> – Óxido de sulfato

UFSCar – Universidade Federal de São Carlos

UHII – Intensidade de Ilha de Calor Urbana

UHI – Efeito de Ilha de Calor Urbana

## LISTA DE SIMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Descrição</b>
A	– Ampere
°C	– Grau Celsius
Dn	– Diâmetro nominal
Cm	– Unidade de medida (centímetros)
mm	– Unidade de medida (milímetros)
MPa	– Mega Pascal
Kg/m <sup>3</sup>	– Quilograma por metro cúbico
Kgf/cm <sup>2</sup>	– Quilograma-força por centímetro quadrado
g/m <sup>3</sup>	– Grama por decímetro cúbico
W/(m.k)	– Watt por metro-kelvin
σ	– Desvio Padrão
%	– Percentual

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	21
1.1 Justificativa.....	24
1.2 Objetivos.....	26
1.2.1 Objetivo geral .....	26
1.2.2 Objetivos específicos.....	26
1.3 Estrutura do Trabalho .....	27
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	28
2.1 Implantação de telhados verdes nas edificações.....	28
2.2 Desempenho térmico das edificações com implementação de telhado verde.....	30
2.2.1 Temperatura de materiais de construção civil em edificações .....	32
2.2.2 Termografia infravermelha aplicada ao desempenho térmico de edificações.....	35
2.3 Coberta em laje de concreto e telhas de fibrocimento.....	37
2.4 Telhado verde .....	38
2.4.1 Impermeabilização Anti Raiz .....	38
2.4.2 Argila expandida.....	39
2.4.3 Camada geotêxtil .....	40
2.4.4 Camada vegetal.....	41
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	44
3.1 Descrição da edificação onde foi implementado o telhado verde. ....	50
3.2 Descrição da cobertura da edificação e transição para o telhado verde .....	50
3.2.1 Modelagem da edificação com software com conceito BIM .....	51
3.2.2 Laje de concreto.....	53
3.2.3 Telha de fibrocimento.....	53
3.3 Telhado verde .....	54

3.3.1 Camadas do telhado verde.....	54
3.3.1.1 Camada de regularização.....	56
3.3.1.2 Sistema de impermeabilização – Anti Raiz.....	57
3.3.1.3 Camada de proteção mecânica do sistema de impermeabilização. ....	58
3.3.1.4 Sistema de drenagem.....	58
3.3.1.4.1 Tecido permeável - geotêxtil.....	58
3.3.1.4.2 Argila expandida.....	59
3.3.1.5 Camada vegetal.....	60
3.3.1.5.1 Substrato.....	61
3.3.1.5.2 Grama.....	61
3.4 Termografia infravermelha.....	62
3.5 Orçamento.....	63
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>66</b>
4.1 Manifestações patológicas encontradas na edificação.....	67
4.2 Reforço estrutural.....	72
4.2.1 Controle tecnológico do concreto da camada de proteção mecânica do sistema de impermeabilização.....	75
4.2.2 Desempenho dos concretos utilizados.....	76
4.3 Piso regularizante.....	81
4.3.1 Primeira camada de EPS - Poliestireno Expandido.....	82
4.3.2 Camada regularizadora (contrapiso).....	84
4.4 Sistema de impermeabilização – Anti raiz.....	86
4.4.1 – Proteção mecânica do sistema de impermeabilização anti raiz.....	88
4.5 – Sistema de drenagem.....	89
4.5.1 - Camada de argila expandida.....	89
4.5.2 – Camada geotêxtil Bidim.....	90
4.6 – Camada vegetal.....	91

4.6.1 – Substrato .....	91
4.6.2 – Grama .....	92
4.7 Termografia infravermelha de materiais da cobertura.....	94
4.8 Capacidade de absorção térmica dos materiais utilizados nas cobertas .....	94
4.8.1 Capacidade de absorção térmica da laje de concreto .....	95
4.8.2 Capacidade de absorção térmica da telha de fibrocimento.....	96
4.8.3 Capacidade de absorção térmica da camada vegetal .....	102
4.9 Fachada da edificação.....	104
4.10 Orçamento .....	108
4.10.1 Análise do custo da implantação do telhado verde.....	108
4.10.2 Curva ABC do orçamento da obra .....	109
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>113</b>
5.1 Conclusões.....	113
5.2 Perspectivas de trabalhos futuros .....	114
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>115</b>
<b>APÊNDICES.....</b>	<b>123</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A utilização de telhados verdes, podem parecer inovação atualmente na arquitetura de várias civilizações há séculos. No entanto, essas tecnologias vêm sendo empregado desde as civilizações antigas, conforme Osmundson (1999), com histórico datado de aproximadamente 2.500 a. C. Há indícios de que essa tecnologia teve sua origem na Mesopotâmia, e além de sua beleza, já eram utilizados para melhorar o conforto térmico da edificação. No entanto, de acordo com Cavalcante (2012), o uso de telhado verde nas edificações só começou a se intensificar após a revolução industrial, quando as políticas públicas de propósito ambiental ganharam mais espaço na sociedade, por conta da alta quantidade de materiais de concreto nos centros urbanos, que geravam ilhas de calor, intensificando o aquecimento local, prejudicando a saúde e bem-estar da população, assim como interferindo drasticamente no meio ambiente.

Os efeitos das mudanças climáticas no ambiente construído nas cidades representam um importante desafio de pesquisa científica atualmente, bem como do setor de produção de construção civil. Hoje, tecnologias empregando telhados verdes em cobertas de edificações já existentes ou novos empreendimentos representam uma solução viável e bastante eficiente para aumentar a resiliência energética e urbana em face das alterações climáticas que o mundo vem sofrendo. Também podem ter um impacto positivo no conforto térmico interior das edificações, aplicando conceito de eficiência energética, bem como inserir vários benefícios ambientais como a diminuição dos efeitos das ilhas de calor em zonas urbanas, a melhoria da gestão do escoamento de águas pluviais e a redução da poluição do ar de acordo com Cirrincione, et al. (2021).

Este estudo evidencia a relevância da integração entre o meio ambiente e a urbanização. A pesquisa indica que a população residente em áreas urbanas enfrenta maior incidência de estresse térmico em comparação àquela que vive em áreas rurais, devido ao calor urbano gerado pelo fenômeno da ilha de calor, conforme observado por Wang, Li e Sodoudi (2022). A mitigação desse efeito é crucial para melhorar o conforto térmico humano nas cidades. Além disso, Ma'bdeh, Ali e Rabab'ah (2022) destacam que a implementação de telhados verdes em edifícios tem sido uma tecnologia eficaz para abordar os problemas associados à ilha de calor em ambientes urbanos.

Conforme destacado por Barriuso e Urbano (2021), a implementação de telhados e paredes verdes pode reduzir a temperatura do ar em áreas urbanas em até 11,3 °C, além de promover uma maior retenção de águas pluviais. Adicionalmente, segundo Borràs et al. (2022), telhados verdes em edificações proporcionam benefícios ambientais, econômicos e sociais significativos, incluindo o potencial para neutralização de carbono e redução no consumo de recursos energéticos.

Atualmente, notícias sobre crises climáticas e problemas hídricos, como inundações e enchentes, são cada vez mais comuns ao redor do mundo. Na Espanha, que enfrenta uma crise climática associada a esses desafios, torna-se crucial examinar minuciosamente o desempenho de telhados verdes autossustentáveis nas diversas zonas climáticas e de precipitação que compõem o território. Zhang e He (2021) ressaltam que os desafios ambientais nas grandes cidades estão incentivando os pesquisadores a explorarem estratégias viáveis para promover uma vida urbana resiliente, sustentável e saudável.

Neste projeto, foi planejado que a água da chuva, seja captada e utilizada para alimentação do sistema de irrigação do telhado verde, como também para dar descargas nos banheiros do empreendimento. De acordo com Nguyen *et al.*, (2022), o projeto urbano prevendo questões ligadas ao racionamento e preservação de fontes de água tem sido amplamente utilizado nas cidades para mitigar as consequências negativas da urbanização e das mudanças climáticas proveniente da intervenção humana. Desta forma, uma estratégia bastante utilizada consiste na implantação de telhados verdes em edificações. Esta prática construtiva tem oferecido várias possibilidades e ampla gama de serviços ecossistêmicos. Segundo Simões *et al.*, (2020), os telhados verdes estão sendo mais utilizados em coberturas para melhorar o balanço energético e o gerenciamento de águas pluviais dos edifícios.

A construção civil é uma das áreas que mais poluem o meio ambiente e representa um grande percentual de impacto no consumo energético e de água. Segundo Cirrincione *et al.*, (2020), o setor da construção desempenha um papel importante, sendo diretamente responsável por quase 40% tanto do consumo de energia, quanto da liberação de substâncias poluentes na atmosfera terrestre. De acordo com Da Rosa *et al.*, (2020), o planejamento urbano inadequado gera

impactos ambientais significativos em áreas urbanas, como inundações e o aumento de ilhas de calor urbanas.

Com base na literatura revisada ao longo desta pesquisa, é notável que os telhados verdes oferecem diversos benefícios significativos para a sociedade. Entre estes benefícios estão o conforto térmico proporcionado, a economia no consumo energético das edificações, a capacidade robusta de retenção de águas pluviais, e a promoção da diversidade urbana para mitigar os efeitos das mudanças climáticas nas áreas urbanas onde esses sistemas são implantados. Além disso, os telhados verdes contribuem para melhorar a saúde e o bem-estar das pessoas que vivem nas proximidades das edificações que adotam essa tecnologia.

A longo prazo, essas questões estão se tornando uma preocupação central nas políticas públicas, uma vez que o conforto térmico está diretamente ligado à saúde humana, e os impactos do aquecimento global são cada vez mais evidentes no cotidiano das populações ao redor do mundo. Nesse contexto, a implementação de telhados verdes em construções existentes, através de iniciativas de *retrofit*, surge como uma solução passiva e sustentável que pode contribuir significativamente para a mitigação do efeito de ilha de calor urbana, trazendo benefícios a curto, médio e longo prazo.

Diante das motivações mencionadas, esta pesquisa analisou um estudo de caso envolvendo a realização de *retrofit* em uma edificação comercial já existente, onde foi implantado um telhado verde, em parte da sua cobertura. Originalmente, a cobertura da edificação era composta por uma parte coberta com telhas de fibrocimento e outra parte com laje de concreto. A implantação do telhado verde permitiu a comparação entre três condições distintas: (i) cobertura com telhas de fibrocimento, (ii) cobertura com laje de concreto e (iii) cobertura com telhado verde.

Esta análise possibilitou investigar os impactos das diferentes coberturas na eficiência energética, no conforto térmico, na retenção de água da chuva, na diversidade urbana e nos benefícios para a saúde e bem-estar dos ocupantes e da comunidade local.

## 1.1 Justificativa

A implementação de coberturas vegetais em edificações é de grande importância nos âmbitos ambiental, social e econômico. As elevadas temperaturas têm causado desconforto significativo em diversas cidades ao redor do mundo, afetando principalmente a saúde humana. Assim, é essencial estudar as propriedades associadas ao conforto térmico dos materiais utilizados nas coberturas das edificações, com o objetivo de reduzir a irradiação solar, como também ajudar na captação de águas pluviais, diminuindo o volume de água que muitas vezes alagam as vias urbanas. Entre as alternativas amplamente utilizadas na construção de coberturas, destaca-se a implementação de telhados verdes, que tem mostrado eficácia na minimização dos efeitos das altas temperaturas, que tendem aumentar ao longo do tempo com o efeito do aquecimento global.

Este trabalho propõe estudar o conforto térmico de uma edificação, antes e após a implementação do telhado verde, utilizando a termografia infravermelha para análise. Além disso, foi conduzida uma análise orçamentária necessária da obra de readequação.

Apesar das inúmeras vantagens da implementação de telhados verdes, sua adoção ainda é limitada nas edificações, e há poucas políticas públicas que incentivem esse tipo de construção nos grandes centros urbanos. Portanto, há uma clara necessidade de desenvolvimento de pesquisas sobre essa problemática, com o objetivo de ampliar o conhecimento sobre o assunto e contribuir para a melhoria das práticas adotadas. Espera-se que tais estudos possam gerar impactos positivos, como a redução do efeito da ilha de calor, a melhoria da qualidade de vida e o aumento do conforto térmico das edificações.

Finalmente, vale destacar que a presente pesquisa adere a 5 dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas, que são eles, saúde e bem-estar; cidades e comunidades sustentáveis; consumo e produção responsáveis; ação contra a mudança climática e vida terrestre; conforme ilustrado na Figura 1.

**Figura 1** – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, Agenda ONU 2030.



Fonte: Autora

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral desta pesquisa é avaliar o impacto da implementação de um telhado verde em uma edificação comercial em seu conforto térmico.

### 1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos dessa dissertação são:

- Analisar e registrar cada etapa necessária para a realização da obra de *retrofit* da edificação, para implantação do telhado verde;
- Verificar a variação de temperatura da edificação antes e após a implementação do telhado verde utilizando a termografia infravermelha;
- Analisar o custo associado à implementação do telhado verde na edificação com o auxílio de um software de orçamento de obras, o Orçafascio, que incorpora o conceito de Modelagem da Informação da Construção (BIM).

### 1.3 Estrutura do Trabalho

Esta dissertação está estruturada em cinco capítulos, mais detalhadamente:

O Capítulo 1 introduz a pesquisa, contendo uma contextualização e justificativa do tema abordado, bem como os objetivos gerais e específicos, e a estrutura da pesquisa;

O Capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica utilizada na pesquisa, isso permitiu a seleção de trabalhos relevantes para a área da pesquisa, enriquecendo a dissertação com informações sobre a implantação de telhados verdes em edificações e sobre a influência da variação de temperatura das construções que os implementaram. Além disso, apresenta boas práticas para a implementação de telhados verdes e investiga os aspectos positivos e negativos da implantação de camadas vegetais nas coberturas de edificações;

O Capítulo 3 apresenta a metodologia utilizada na pesquisa. Primeiramente, os procedimentos metodológicos para a realização de uma revisão sistemática de literatura (RSL). Em sequência caracteriza-se a edificação onde o telhado verde foi implementado, descrevendo suas características antes e depois da implementação. Também são detalhados todos os procedimentos realizados para a construção, que incluem desde a recuperação o reforço estrutural até as camadas que compõem um telhado verde, mostra os ensaios tecnológicos realizados.

O Capítulo 4 apresenta os resultados obtidos por meio de ensaios laboratoriais e de campo. Também inclui discussões sobre toda a análise realizada, com foco na análise da influência da variação de temperatura da cobertura da edificação. Isso é feito por meio da simulação de três tipos de materiais: cobertura de telha de fibrocimento (i), cobertura de laje de concreto (ii) e telhado verde (iii). Também é realizada uma análise orçamentária, com auxílio do software de orçamento de obras, Orçafascio, para a realização desta implementação;

Finalmente, o Capítulo 5 apresenta as considerações finais, que foram divididas em conclusões e perspectivas de trabalhos futuros. São discutidas as diretrizes e boas práticas para a implementação de um telhado verde na edificação, além de destacar os pontos positivos e os benefícios significativos deste modelo de construção sustentável.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Implantação de telhados verdes nas edificações**

Segundo os autores Ode Sang, Thorpert e Fransson (2022) a instalação de telhados e paredes verdes em áreas urbanas pode fornecer vários serviços ecossistêmicos que beneficiem a saúde e o bem-estar humano, trazendo melhor qualidade de vida para as pessoas que frequentam as áreas próximas a essas instalações. Os autores analisaram correlação entre a saúde pública e o ambiente com telhados e paredes verdes.

De acordo com Kazemi e Courard (2021), existem materiais alternativos com potencial para aplicação em camadas de telhado verde. Recursos secundários, como agregados reciclados grossos ou finos, podem ser usados como um substituto para materiais naturais. Para a utilização destes novos tipos de materiais, é necessário avaliar a resistência ao calor do material, seguindo o padrão da (ISO 9869-1, 2014). Foi considerado em sua pesquisa uma espessura constante para a camada de substrato de 15 cm, e uma camada de drenagem de 6 cm com agregados grossos, ou seja, ao todo a camada de substrato junto com a camada de drenagem totalizando 21 cm, sendo considerada como o projeto ideal para sistemas de telhado verde. Além disso, os autores afirmam que um substrato insaturado de 18 cm é o projeto ideal quando a espessura da camada de drenagem é mantida constante em 5 cm, a pesquisa experimental foi realizada na cidade de Lleida na Espanha.

Kazemi e Courard (2022) utilizaram materiais reciclados e agregados porosos, como borracha triturada e cascalho vulcânico do tipo (pozolana) para a camada de drenagem aplicada em um telhado verde visando melhorar o desempenho. Também foi observado pelos autores que o desempenho térmico dos telhados verdes pode ser afetado pela espessura do substrato e da camada drenante. Ao se aumentar a espessura do substrato e das camadas de drenagem, a variação de temperatura do teto interno nos modelos de telhado verde com a presença de umidade diminuiu, embora não tanto quanto nos modelos de telhado verde sem a presença de umidade.

De acordo com Koroxenidis e Theodosiou (2021), os telhados verdes isolados termicamente proporcionaram uma pequena melhoria no consumo de energia para aquecimento e resfriamento até 8,30% e 3,50%, respectivamente.

Segundo Cook e Larsen (2021) os telhados verdes podem ter o potencial de oferecer inúmeros benefícios para os serviços ecossistêmicos, no entanto, eles raramente são projetados para alcançá-los de forma eficiente, como por exemplo a utilização adequada do sistema de irrigação e a escolha do tipo de vegetação a ser aplicada na camada vegetal. Em vez disso, os projetos são condicionados por restrições estruturais e de manutenção do sistema de telhado verde, que consequentemente diminuem os benefícios alcançados pelo sistema em plena funcionalidade.

De acordo com Pirouze, Palermo e Turco (2021), os telhados verdes aplicados em edificações urbanas oferecem várias vantagens significativas em termos de desempenho térmico. No entanto, durante períodos muito secos, é necessário um suprimento adicional de água para manter o bom funcionamento dos benefícios térmicos proporcionados pelo telhado verde. Os autores destacam que a eficiência térmica desses telhados pode diminuir sem um sistema de irrigação constante, devido ao potencial danos às plantas.

Diante dessas considerações, é possível verificar na literatura a importância de projetar telhados verdes autossustentáveis que sejam capazes de reservar água durante períodos de alta pluviosidade. Isso asseguraria que o sistema de funcionamento não seja comprometido durante períodos secos, garantindo a manutenção dos benefícios térmicos ao longo do tempo.

Quezada-García *et al.*, (2020) avaliaram os modelos matemáticos mais relevantes para a transferência de calor e massa em telhados verdes, que foram desenvolvidos e publicados durante as últimas três décadas. O trabalho permitiu acompanhar a evolução da modelagem matemática aplicada aos telhados verdes, começando com uma análise das primeiras tentativas de modelar a transferência de calor e massa até chegar aos modelos contemporâneos mais representativos. Foi observada uma grande diversidade nos métodos de aplicação de telhados verdes, o que torna a análise bastante heterogênea e sem um padrão definido as modelagens

foram: 1- Métodos de cálculo de fluxo de calor; 2- Ganho de fluxo de calor por radiação de ondas longas e curtas; 3- Fluxo de calor por emissão; 4- Fluxo líquido de calor por radiação e emissão de ondas longas; 5- Fluxo líquido de calor por radiação térmica; 6- Fluxo de calor por evapotranspiração; 7- Fluxo de calor por evapotranspiração; 8- Energia solar convertida pela fotossíntese ;9- Condução e 10- Modelos de transferência de massa.

Segundo Lee e Jim (2020) As análises das condições do telhado verde durante o inverno ainda são pouco estudadas. Por essa razão, os autores investigaram uma edificação com a implementação de telhados verdes durante um mês de inverno, em condições de dias muito nublados e observaram que mesmo não recebendo a incidência de luz solar na mesma intensidade do verão o telhado foi capaz de absorver 90% da radiação ultravioleta. Os autores também observaram que a cobertura vegetal reteve alguma radiação térmica emitida, mas insuficiente para neutralizar o resfriamento observado, a entrada de luz solar limitada poderia aquecer apenas ligeiramente o solo, que sofria perda de calor em tempo nublado, aumentando a carga de aquecimento interior.

## **2.2 Desempenho térmico das edificações com implementação de telhado verde**

Segundo Yang, Davidson e Zhang (2021), foram analisados os impactos do fluxo de calor de telhados verdes em climas quentes quanto em climas frios. Em climas extremamente frios, durante o inverno, a presença de neve no telhado, atua como isolante térmico. Nesta situação o fluxo de calor é predominantemente influenciado pelo gradiente de temperatura entre o interior da edificação e a camada de neve. Já durante o verão, os telhados verdes são eficazes na redução da temperatura máxima diária. Além disso, os telhados verdes moderam o fluxo de calor através do sistema de cobertura proporcionando maior conforto térmico para os usuários da edificação.

De acordo com Guattari *et al.*, (2020), os telhados verdes representam uma resposta eficiente, permitindo que os edifícios alcancem economia satisfatória de energia e reduzindo o efeito colateral do fenômeno da ilha de calor em centros urbanos. Ainda segundo os autores, o sistema de telhado verde foi analisado por meio do monitoramento no período de 12 meses para observar a transferência de calor pela área do telhado verde. Para isso, foram instalados medidores de fluxo de calor e sondas de temperatura do ar e da superfície. Esta abordagem

experimental foi realizada para quantificar os diferentes comportamentos térmicos dos componentes do edifício. Esses equipamentos foram instalados tanto em um edifício com área de telhado verde, quanto em uma edificação sem a instalação de telhado verde. Os resultados indicaram, para todos os meses do ano, que a instalação do telhado verde pode proporcionar maior conforto térmico.

Segundo Schade, Lidelöw e Lönnqvist (2021), os telhados verdes são sistemas complexos, com uma camada de vegetação cobrindo a superfície mais externa do edifício funcionando como uma capa. Um projeto eficaz pode conferir benefícios ambientais e energéticos. Os autores analisaram a instalação de um telhado verde em condições de baixa temperatura e perceberam que o conforto térmico associado a implementação é maior quando a temperatura do ambiente é mais elevada.

De acordo com Tang *et al.*, (2021), a grande abundância de asfalto e concreto, materiais que retêm calor, e poluição emitidos por edifícios e veículos é uma das principais razões para a prevalência de alta temperatura, poluição do ar e sonora nas cidades. Os autores encontraram resultados positivos com a aplicação de paredes verdes, que apresentaram um excelente efeito na redução de temperatura e poluição sonora nos edifícios.

Em 2018, na China, Hao *et al.*, (2020) conduziram um experimento em uma sala com aplicação de telhado verde e paredes revestidas de vegetação. O estudo revelou uma economia de energia de 7% a 8% durante o dia, quando uma temperatura nominal aumentada foi proposta. Esses resultados indicam que a implementação de telhados verdes e paredes revestidas de vegetação pode proporcionar um melhor aproveitamento energético em grandes centros urbanos, contribuindo significativamente para a eficiência energética e a sustentabilidade das edificações.

Fleck *et al.*, (2022) conduziram um estudo na Austrália, utilizando termografia infravermelha para aferir as temperaturas de telhados verdes instalados em edificações na Austrália em condições de verão. Os resultados demonstram que a instalação de telhados verdes nas edificações pode reduzir a temperatura em até 20 °C, quando comparada a edificações que não possuem telhado verde.

De acordo com Smalls-Mantey e Montalto (2021), uma análise realizada no Centro de Convenções Jacob K. Javits (JJCC), localizado na cidade de Nova York, com área de 27.000 m<sup>2</sup>, que abriga um dos maiores telhados verdes extensos dos Estados Unidos. Os autores analisaram três anos de dados de microclima em escala detalhada coletados no telhado verde e de sua capacidade potencial de reduzir a intensidade da ilha de calor urbana (UHII). A instalação do telhado verde aumentou a evapotranspiração, modificando o balanço energético da superfície do telhado, e reduziu o UHII noturno médio de verão em 0,91 °C. Embora as condições microclimáticas em duas secções dos telhados verdes variem um pouco, os resultados da investigação geralmente apoiam a afirmação de que os telhados verdes são uma estratégia moderadamente eficaz para mitigar o efeito de ilha de calor urbano (ICU).

A cobertura é um dos componentes mais críticos da envolvente do edifício e alcança o seu o máximo ganho de calor no verão segundo Hurma (2019), cobrindo cerca de 20-25% da superfície urbana total. Neste aspecto, as coberturas frias são consideradas uma das soluções sustentáveis para proporcionar melhor conforto térmico nos edifícios. Foi realizada pelos autores uma revisão da literatura que indica a aplicação de coberturas frias reduziu o consumo de energia nos edifícios sendo uma ferramenta útil para mitigar o efeito da Ilha de Calor Urbana (UHI), com análise do efeito médio de poupança de energia da cobertura é expresso entre 15% e 35,7% em diferentes zonas climáticas (Temperada, Tropical, Composta, Quente e Quente-Úmida) de acordo com os resultados da pesquisa bibliográfica. Além disso, a redução média da temperatura da superfície do telhado é possível de 1,4 °C para até 4,7 °C usando a tecnologia de telhado frio.

### **2.2.1 Temperatura de materiais de construção civil em edificações**

O efeito ilha de calor urbano segundo Abbas e Alhamdo (2023) é observado quando as temperaturas da superfície do asfalto aumentam até 70 °C ao longo do ano. Como consequência gera o aumento do uso de ar-condicionado bem como aumento no consumo de energia nas cidades e a qualidade do ar deteriora-se. Os autores realizaram um procedimento experimental onde foi avaliado o comportamento térmico para o desempenho de um coletor solar asfáltico, utilizando técnicas de tubo com mistura asfáltica condutiva para utilizar a radiação solar, que faz com que a temperatura do pavimento da edificação aumente e que o calor seja transportado

do pavimento para o fluido, causando queda na temperatura do asfalto e aumento na temperatura do fluido. As eficiências máximas do coletor solar de asfalto com combinação de quartzito e combinação de escória foram de 36,04%, e 36,49%, respectivamente.

De acordo com H. Zhang *et al.*, (2020), foi realizado um concreto espumado de aerogel de alto desempenho, preparado utilizando pó de aerogel como enchimento material e fibra de vidro como reforço. Utilizando o concreto espumado de aerogel e outros materiais, ou seja, concreto comum e EPS como isolamento, foi analisado em uma caixa o desempenho térmico sob uma temperatura externa constante de 35°C e temperatura interna inicial de 25°C. Os resultados indicam que quando a temperatura interna aumentou para 90% dos 35 °C estáveis, o tempo necessário para o concreto espumado de aerogel foi prolongado para 9 horas em comparação com 5 e 4,5 horas para Poliestireno Expandido (EPS) e concreto comum. Os resultados indicam que o aerogel formou espuma o concreto tem melhor desempenho de isolamento térmico da radiação solar ou de clima extremamente quente para aplicações em edifícios de baixa e zero energia.

Foi realizado por Ali *et al.*, (2021) um procedimento experimental para melhorar a condutibilidade térmica do concreto, onde foi incorporado sílica ativa e resíduo de plásticos e mesmo os resultados mecânicos sendo menor os resultados de referência, os testes de desempenho mostraram que o concreto com percentual de substituição de 20% de *Plastic Fine aggregate* (PFA) e sílica ativa apresenta melhor desempenho térmico com redução média de 8% na condutividade térmica.

Segundo Joshima *et al.*, (2021) é crucial entender o comportamento térmico em tempo real da fachada de um edifício para garantir o conforto nas condições interiores e desenvolver componentes de construção energeticamente eficientes. O monitoramento do desempenho de inclinação de telhados e coberturas de concreto, uma tipologia de cobertura frequentemente encontrada em ambientes quentes clima úmido, é raramente abordado na literatura publicada. Os autores realizaram uma análise em o tempo real do desempenho térmico de diferentes tipos de telhados inclinados. Os estudos de campo foram conduzidos em ambientes residenciais com ventilação natural, em edifícios que possuem diferentes variantes de telhado estudadas, especialmente devido ao clima quente e úmido durante o verão. Entre as variantes de telhado

estudadas, as telhas padrão Mangalore destacaram-se pelo melhor desempenho térmico, atribuído à sua baixa condutividade e difusividade, assim como ao perfil levemente ondulado.

Materiais de construção inovadores estão sendo usados para revestir os edifícios para reduzir o seu aquecimento e necessidades de resfriamento. Segundo Sassine *et al.*, (2021) foi realizada uma análise para avaliar o impacto térmico do uso de concreto leve no Líbano em construções de edifícios, despejando uma espessura de 8 cm de concreto leve no telhado e na laje e substituição do tradicional bloco de concreto oco por blocos de concreto leve. O edifício de concreto leve termicamente melhorado foi comparado para um caso base de casa tradicional libanesa. Os autores destacam a eficácia da integração do concreto leve nas paredes dos edifícios, reduzindo consumo de energia e melhoria do conforto térmico em condições climáticas de inverno e verão e nas diferentes zonas climáticas libanesas. O uso do concreto leve em paredes verticais que substituem os tradicionais blocos ocos pode reduzir as necessidades de aquecimento em até 9% e em até 13% para necessidades de resfriamento.

Segundo Bogas e Real (2023), o concreto estrutural com agregados leves é atualmente uma alternativa ao concreto de peso normal. Os autores analisaram o comportamento térmico de concreto estrutural agregado leve, avaliado através de diferentes métodos de ensaio. O desempenho térmico foi estabelecido pela condutividade térmica, que foi determinada através de um transiente método de pulso e um método de transferência de calor. Concreto de peso normal também foi testado para comparação propósitos. Os resultados mostraram que concretos agregados leves com menor densidade estão associados a uma condutividade térmica até cerca de 50% menor e maior capacidade de calor específico do que o concreto de peso normal.

Um experimento foi realizado por Thomas e Rees (1998), que abrangente um projeto para monitorar o desempenho térmico de pisos e tipos de lajes o experimento foi instalado no momento da construção de um moderno edifício comercial e subsequentemente monitorado continuamente por um período de um ano e meio. Os resultados alcançados pelos autores incluem variações transitórias do fluxo de calor através da laje de piso, temperatura do ar, temperatura do solo e temperatura do solo. teor de umidade. Os resultados também mostram que a temperatura do solo e o teor de umidade podem mudar significativamente perto a parede externa do edifício. Embaixo do edifício as variações de temperatura e teor de umidade foram

relativamente pequenas. Desta forma é revelada a presença de um efeito de borda perto da parede exterior do edifício.

De acordo com Avdelidis e Moropoulou. (2004); Balaras e Argiriou (2002); Barreira e Freitas. (2007) um importante requisito para a utilização da técnica de termografia infravermelha e a obtenção de informações em uma forma de ensaio não destrutivo aplicada a uma edificação, isso pode representar requisito fundamental em inspeção predial em edificações históricas onde ensaios não destruíveis são mais recomendáveis para a obtenção da investigação dos materiais utilizados na construção da edificação.

### **2.2.2 Termografia infravermelha aplicada ao desempenho térmico de edificações**

O calor absorvido pelas edificações é um assunto cada vez mais atual, desde a propriedade absorção e reflexão de cada material, estas avaliações são facilmente aferido por termografia infravermelha, segundo Waqas e Araji (2024) a inspeção eficiente da perda de calor nas fachadas dos edifícios é uma área de pesquisa ativa, impulsionada pela necessidade de melhorias soluções de auditoria e monitoramento. A termografia é uma ferramenta valiosa para identificar padrões de calor anômalos.

De acordo com Al-Habaibeh *et al.*, (2021) os edifícios são responsáveis por um consumo significativo de demanda energia elétrica, sendo o aquecimento do ambiente e o ar-condicionado responsáveis pela maior parte deste consumo. Para reduzir este consumo massivo e diminuir as emissões de carbono, o isolamento térmico dos edifícios pode desempenhar um papel importante. O desempenho térmico do edifício com o seu isolamento melhorado foi avaliado através de termografia infravermelha. Os autores utilizaram a inteligência artificial utilizando redes neurais de aprendizagem profunda é implementada para prever o desempenho térmico do edifício e as economias de energia esperadas.

A possibilidade de obter grandes conjuntos de dados de imagens infravermelhas a construção da edificação em regiões urbanas exige o desenvolvimento de formas rápidas e eficazes de processar seu conteúdo, segundo Gertsvolf *et al.*, (2024), uma boa estratégia consiste na

identificação de um conjunto de imagens termográficas, conjunto de imagens por drone, gerando termogramas sobre o comportamento térmico da edificação.

A técnica de termografia infravermelha é amplamente utilizada no setor industrial para aferir a temperatura de dispositivos mecânicos, funcionando como uma medida de segurança. Além disso, é aplicada na análise do comportamento térmico das edificações. Por exemplo, Lima et al. (2023) utilizaram a termografia infravermelha para avaliar o desempenho térmico de argamassas de emboço em edificações. Este método é amplamente empregado para avaliar as temperaturas em edificações, considerando as condições climáticas a que estão expostas e os materiais utilizados na construção. Estudos de Vilemen e Mendes (2024), Lu e Memari (2019), e Silva et al. (2019) também demonstram a eficácia da termografia infravermelha na avaliação térmica de edificações.

Segundo Danielski e Froling, (2015) um método quantitativo utilizando por termografia para avaliar o desempenho térmico de elementos da fachada de um edifício que estão sujeitos a um fluxo de calor em estado não estacionário. O método proposto pelos autores presume que a temperatura propriedades das paredes externas, como a condutividade, ainda poderiam ser obtidas por uma regressão linear sobre valores de medidas.

A termografia infravermelha pode ser uma ferramenta a ser utilizada de forma a avaliar o desempenho térmico de uma edificação ao longo do dia, segundo Sfarra *et al.*, (2019) a detecção de pontes térmicas em edifícios é um dos postos-chave a ter em conta nos procedimentos de poupança de energia durante obras de reabilitação. A termografia infravermelha tem sido aplicada há anos para detectar pontes térmicas, referindo-se à Organização Internacional de Padronização (ISO) 6781:1983. O efeito de sombra projetada, também produzido pelo ambiente envolvente na fachada sob inspeção, desempenha um papel importante durante o procedimento de avaliação de defeitos, uma vez que pode mascarar/modificar a evolução térmica natural devido à difusão.

A resistência térmica dos sistemas que fazem parte da fachada e da cobertura de uma edificação desempenham um papel importante na avaliação energética de projeto e modernização de acordo com Lu e Memari, (2019) a determinação da resistência térmica é altamente desejada

para a obtenção de uma imagem realista do desempenho energético do edifício. O método convencional de aferir o fluxo de calor para medir resistência requer um número considerável de instalações de sensores e uma definição apropriada da área de parede homogênea analisada. Desta forma, é necessário um método de aferição mais simples e prático. De fato, o método de termografia infravermelha tem potencial para ser utilizado como uma técnica quantitativa para medição de resistência térmica.

A demanda por inspeção predial para manutenção tem avançado significativamente com o uso de ensaios não destrutivos. A termografia infravermelha emerge como uma ferramenta útil para inspecionar estruturas de concreto armado, permitindo verificar o posicionamento dos materiais que compõe o sistema, conforme mencionado por Ichi e Dorafshan (2024). Além disso, essa técnica pode ser empregada na detecção de manifestações patológicas em alvenarias, como discutido por Silva *et al.*, (2019), e na identificação de umidade em revestimentos de emboço aplicados em fachadas de edificações, muitas vezes difícil de detectar visualmente, por Santos *et al.*, (2019).

Sendo os diversos tipos de materiais utilizados nas fachadas que envolvem as edificações e nas cobertas onde recebem diretamente o aquecimento por meio de irradiação de luz solar, onde o comportamento térmico da edificação vai estar associado segundo Ferreira *et al.*, (2024); Fokaides e Kalogirou, (2011); Grinzato *et al.*, (1998); Kylili *et al.*, (2014); Lehmann *et al.*, (2013); Li *et al.*, (2000); Lucchi, (2018); Moga *et al.*, (2023); Pleșu *et al.*, (2012) as propriedades físicas dos materiais utilizados como dilatação ser irradiado com luz solar, fadiga pelo aquecimento diário e resfriamento a noite, tempo de aquecimento, capacidade de refratar ou absorver calor pela exposição da edificação, todas essas propriedades podem ser medidas por meio de termografia infravermelha.

### **2.3 Coberta em laje de concreto e telhas de fibrocimento**

O conceito de materiais com classificação funcional (FGM) tem sido avaliado com sucesso no desenvolvimento de muitos materiais a base de cimento Portland (concretos e argamassas). Segundo Dias *et al.*, (2018) o setor de fibrocimento, entretanto, pouca atenção tem sido dada, para esta abordagem. Testes de tração indicaram que as chapas de fibrocimento inicialmente

quebram sob tensões cerca de 50% menores que as chapas de concreto, sendo uma limitação do quesito de resistência a tração. Sendo um material amplamente utilizado no mundo todo foi avaliado o papel para os testes mais importantes para desempenho climático: teste de congelamento e degelo e chuva térmica de acordo com Bodnarova *et al.*, (2018). Após 50 ciclos, as amostras foram verificadas quanto a fissuras (longitudinal, transversal e em os pontos de fixação), a telha de fibrocimento atendeu aos requisitos do teste de chuva térmica.

Os diversos tipos de telhas de fibrocimento disponíveis no mercado podem interferir tanto na logística de instalação em telhados quanto no desempenho térmico das edificações, conforme destacado por Thongtha *et al.*, (2021). Segundo as análises realizadas pelos autores, o tipo específico de telha de fibrocimento exerce influência significativa no desempenho térmico das edificações.

A permeabilidade é umas das propriedades mais significativa para atualização de telhas de fibrocimento em edificações segundo De Mello Innocentini *et al.*, (2019) foi avaliado que as cristas eram mais permeáveis para o fluxo descendente, enquanto as calhas eram mais permeáveis para o fluxo ascendente, essa diferença no quesito de permeabilidade mostra que a geometria da telha de fibrocimento influencia diretamente no comportamento térmico e mecânico.

## **2.4 Telhado verde**

O telhado verde é composto por sete camadas, cada uma desempenhando um papel essencial para o funcionamento integral e eficiente do sistema. São elas: piso regularizante (camada 1); impermeabilização anti raiz (camada 2); proteção mecânica (camada 3); camada drenante (camada 4); substrato (camada 5); tecido permeável (camada 6) e camada vegetal (camada 7).

### **2.4.1 Impermeabilização Anti Raiz**

A camada anti raiz desempenha um papel crucial como um tipo de impermeabilização utilizada em estruturas de jardins suspensos e telhados verdes, onde há presença de solo ou substrato vegetal. Sua principal função é evitar a penetração de água e a infiltração de raízes de plantas na estrutura impermeabilizada, garantindo assim a integridade da edificação ao longo do tempo.

Conforme destacado por Willes (2014), a camada de impermeabilização é fundamental, pois a infiltração da água na estrutura da edificação, não apenas reduz sua vida útil, mas também pode causar transtornos significativos para os ocupantes do local. Portanto, a implementação adequada da camada anti raiz não apenas protege contra danos estruturais, mas também contribui a sustentabilidade e durabilidade das construções como jardins suspensos e telhados verdes.

Em alguns casos, o sistema de impermeabilização não inclui a manta anti raiz. Nesses casos, é necessário adicionar uma camada de proteção sobre a manta de impermeabilização. Essa camada adicional atua como barreira, evitando danos à impermeabilização e garantindo a integridade e durabilidade do telhado verde. De acordo com Ferraz (2012), para mitigar esses transtornos, se a manta de impermeabilização não for resistente às raízes, uma membrana adicional, com esta função deve ser adicionada. Esta é a função da membrana anti raízes: proteger a impermeabilização da ação perfurante das raízes das plantas. Já segundo Costa (2020), aconselha-se que, no momento da escolha do material utilizado como proteção anti raiz, deve-se certificar que o tipo de vegetação, os materiais das camadas e as condições da estrutura não apresentem características químicas, físicas ou biológicas que possam interferir na qualidade da proteção anti raiz. Dessa forma, esse reforço é necessário para aumentar a durabilidade e garantir a estanqueidade da impermeabilização.

#### **2.4.2 Argila expandida**

A argila expandida é utilizada na camada drenante do telhado verde, ela é comumente empregada em vários projetos de engenharia inicialmente se dá por conta pontua do peso deste tipo de material e capacidade de absorção de água, sendo um produto cerâmico poroso, com estrutura de poros bem uniforme geralmente tendo formato redondo devido ao movimento circular na produção. Rashad (2018), Sendo um material de grande controle tecnológico na linha de produção segundo Ozguven e Gunduz (2012) O tamanho do grão da argila, o tamanho do pellet na produção, a temperatura no forno e o tempo de queima foram selecionados no testes de expansão como parâmetros. O seu efeito do produto está correlacionado com a linha de produção.

A demanda crescente pela utilização de argila expandida pode ser observada em pesquisas recentes que tentaram incorporar este material em matrizes cimentícias devido as propriedades da argila, como observado por Han *et al.*, (2019) a argila expandida foi utilizada como carreador, para proteção de bactérias (*Lysinibacillus boronitolerans*), ou na incorporação de argila expandida em quantidades traço para avaliar a influência no desempenho mecânico do concreto com os percentuais de incorporação, segundo Bogas *et al.*, (2015) Há uma ligeira redução da resistência mecânica do concreto propriedades quando o por agregados reciclados de concreto leve mais forte é substituído pelo argila mais porosa obtido de materiais não estruturais de concreto leve. De acordo com R. Vijayalakshmi e Ramanagopal (2018) o agregado de argila expandida é um dos materiais potenciais para o desenvolvimento do concreto estrutural, sendo esse potencial à pela capacidade do agregado se aderir de forma satisfatória aos requisitos mínimos para concretos estruturais, sendo a principal característica da argila o peso da amostra. Segundo (HUBERTOVA e HELA, 2013); (ÖZKILIÇ *et al.*, 2023); (VAŠINA *et al.*, 2006).

### 2.4.3 Camada geotêxtil

Uma das funções mais importantes para a instalação do telhado verde e a separação das camadas, função desempenhada pela camada geotêxtil, Segundo Kermani *et al.*, (2018) foi avaliado que o geotêxtil pode ser usado como um meio eficaz para reduzir o bombeamento do subleito multas no pavimento, fornecendo separação e filtração, segundo Tuna e Altun (2012) analisaram testes de cisalhamento direto na interface onde foram realizados para investigar a melhoria no comportamento mecânico de solos granulares quando reforçados com inclusões camada geotêxtil, Ainda sobre melhoras das propriedades mecânicas do solo.

De acordo com Denine *et al.*, (2016) mostraram que a inclusão de geotêxtis melhora o comportamento mecânico de areia, com um aumento significativo na resistência mecânica ao cisalhamento e no valor de coesão é obtido pela adição de camadas de reforço bem como os resultados indicam que a relação de resistência é mais pronunciada para amostras que foram submetidas a baixos valores de pressão confinante.

Uma vantagem pode ser na utilização em solo argiloso, reforçado com uma camada geotêxtil localizada a meia altura da amostra, foi analisado por Segundo Kermani *et al.*, (2018) foi avaliado que o geotêxtil pode ser usado como um meio eficaz para reduzir o bombeamento do subleito multas no pavimento, fornecendo separação e filtração, compactado em laboratório e submetido a um máximo de 9 ciclos de congelamento e descongelamento em sistema fechado. De acordo com Noorzad e Mirmoradi (2010); Tolooiyan *et al.*, (2009) a camada geotêxtil pode atender de forma significativa para a melhora das propriedades mecânicas do solo, em conjuntos com as propriedades de absorção do solo.

#### **2.4.4 Camada vegetal**

A última camada do telhado verde é a camada vegetal, procedimentos experimentais realizados com implementação de telhado verde com grama esmeralda, em Recife-PE, observaram a diferença na sensação térmica, com a redução da temperatura e o aumento da umidade relativa do ar. (KOZMHINSKY, 2018). Tal como a pesquisa sobre conforto térmico com redução de 2,07° C nas estruturas cobertas com grama.(CARNEIRO, 2014)

A espécie de grama pertence à família das plantas gramíneas para o uso em telhado verdes são indicadas as gramas Esmeralda, Bermuda, São Carlos, Santo agostinho e missioneira, no Quadro 1 é possível identificar as características de cada tipo de grama. As plantas arbustivas e forragens são conhecidas como grama Amendoim, Preta, Azul e Vermelha não são indicadas para o pisoteio, assim como o boldinho(boldo miúdo) não foram incluídas na comparação.(ECOTELHADO, 2022). Na Figura 2 é possível visualizar os tipos de gramas, e suas características visuais.

Figura 2 – Tipos de gramas



Fonte: Adaptado (ECOTELHADO, 2022)

Quadro 1 – Características dos tipos de grama.

Tipo	Clima	Características	Poda	Resistência a pisoteio	Consumo de água
Grama Esmeralda	Todos	folha mais fina e estreita, cor verde esmeralda	Pouca – crescimento lento	Alto	Alto
Grama Bermuda	Todos	Aspecto visual agradável	Frequente	Alto	Alto
Grama São Carlos	Sombreados	Denso, folhas lisas e largas, (aguenta encharcamentos)	Espaçadas	Muito alto	Alto
Grama Santo Agostinho	Quente, Litorânea – Sombreadas	Densidade média a alta, cor verde escuro, folhas largas lisas e pontas arredondada	-	Ruim	Razoável
Grama Missioneira (carpete)	Fria e com geadas	Folha larga	-	Bom	-

Fonte: Adaptado (ECOTELHADO, 2022)

As gramíneas Estrelinha dourada, Mosquitinho, Bulbine, Russelia, Rosinha de Sol, São Carlos (*Axonopus compressus*) são pouco resistentes ao pisoteio, necessita de rega uma vez na semana e se adapta melhor a sombra, indicada pra regiões frias e necessita de poda a 15-20 dias, crescimento lento. Santo agostinho (*Stenotaphrum secundatum*), grama rústica que se

desenvolve melhor em áreas pouco ensolaradas e necessita de irrigação constante. Grama Missioneira é indicada para regiões mais frias e resistente ao pisoteio Alho Social, Lírio dos ventos, Asyssum Lobularia, Campim Azul, Grama preta apresentam baixo consumo de água e manutenção, diferentemente das Gramas Esmeralda e Amendoim possuem elevado consumo de água e custo de manutenção, ressalta-se que todas as citadas acima se adaptam uso em telhados verde. (ECOTELHADO, 2022)

A grama batatatis (*Paspalum notatum*) cresce rapidamente e precisa de poda frequente, aspecto rústico. As gramas Amendoim, Preta, Azul e Vermelha não são adequadas ao pisoteio. As grama amendoim, preta e esmeralda possuem alto consumo de água e muita manutenção. As gramas preta, lírio dos ventos, indicadas para as regiões com temperatura amena e com baixa ou média resistência a incidência solar foram excluídas, restando, portanto, para seleção as espécies da grama esmeralda e grama bermuda.

A grama esmeralda se desenvolve melhor em solo arenoso com uma camada sob a grama de 20 a 30 cm, resistente ao sol e uma das mais comuns no Brasil, muito resistente a pisoteios, de crescimento lento, portanto necessita de baixa manutenção. Segundo Gurgel (2003) possui adaptação as condições do Brasil podendo ser utilizada no litoral ou no planalto e de norte a sul. A grama esmeralda quando plantada num teto-verde na região de Recife-PE mostrou num experimento perda de durabilidade quando submetida a chuva natural e simulada sob o clima tropical chuvoso. (Moura, 2023)

Bermudas (*Cynodon dactylon*) capim-de-burro, grama-seda ou grama São Paulo, possui folhas estreitas e requer manutenção constante, alto custo, possui tolerância ao calor e seca, indicado uso na região tropical quente e úmido, subtropicais e semiáridas, alta resistência ao pisoteio e coloração verde escura. Bermuda possui reconstituição rápida, se adapta ao todos os climas, necessárias muita irrigação, segundo Gurgel (2003) necessita de poda frequente, manutenção, não é indicado para áreas sombreadas de solo compactado e com drenagem ineficiente.

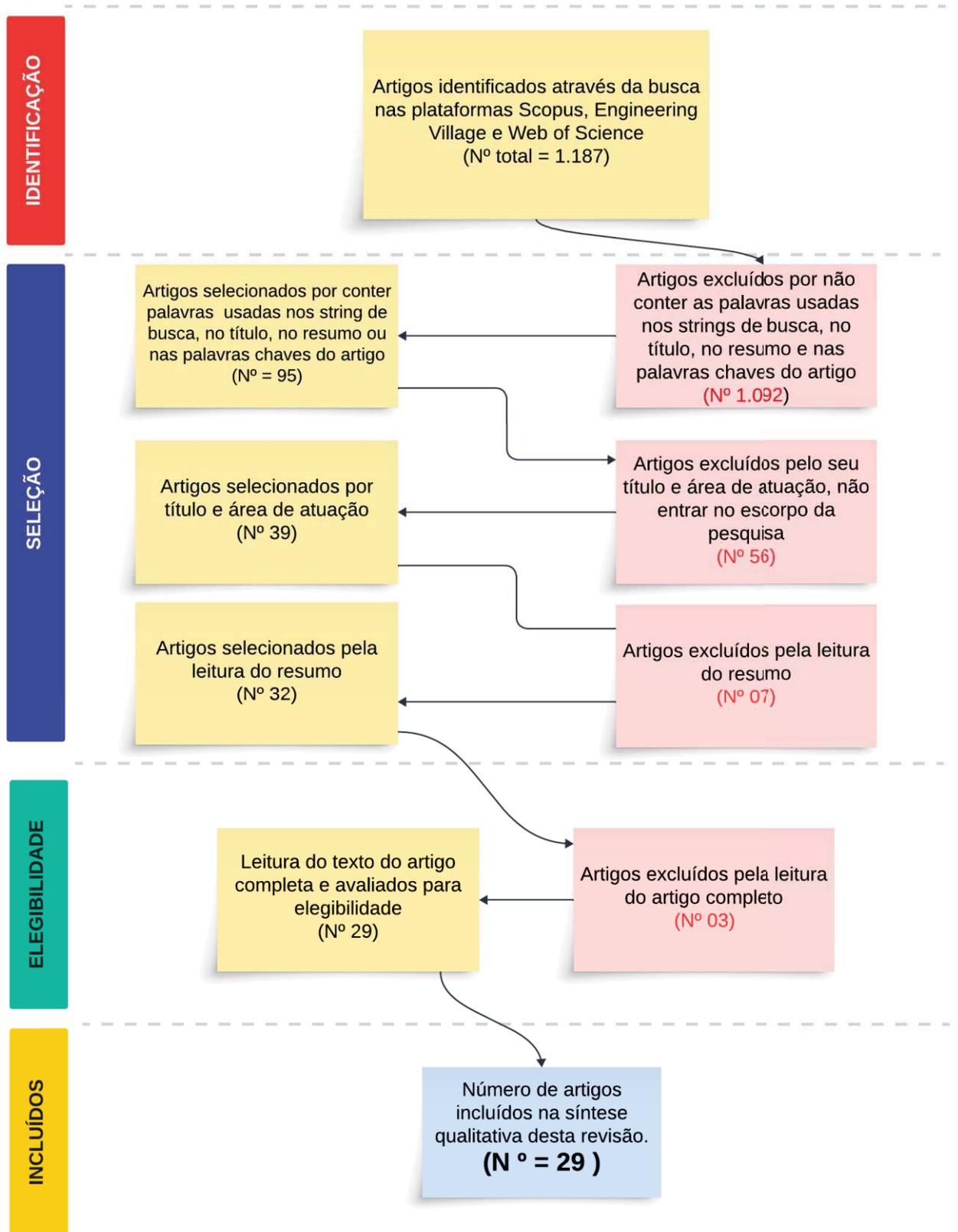
### 3 METODOLOGIA

A metodologia desta pesquisa foi separada em três etapas, a primeira foi a Revisão Sistemática de Literatura (RSL) com o auxílio do aplicativo *Start*. Esta é uma ferramenta gratuita desenvolvida pelo Laboratório de Pesquisa em Engenharia de *Software* da UFSCar, que possibilita a categorização dos estudos resgatados a partir das bases de dados selecionadas. Esta pesquisa foi realizada por meio de estudos primários, utilizando pesquisa manual e mecanismos de pesquisa de base de dados. O acesso foi feito através do portal de periódico da CAPES, com acesso fornecido pela Escola Politécnica de Pernambuco – POLI.

As bases de dados utilizadas para esta pesquisa foram: *Scopus*, *Web of Science* e *Engineering Village*. Os termos de busca foram escolhidos por sua amplitude, relevância e especificidade de dados em relação ao tema estudado.

Foram definidas quatro palavras-chave, todas cruciais para a coleta e embasamento dos dados que compõem este estudo. O objetivo era encontrar artigos e periódicos que abordassem o tema em questão. A pesquisa foi realizada em inglês para maior abrangência. As palavras-chave utilizadas foram: '*infrared thermography*', '*green roof*', '*temperature*,' '*microstructure analysis*'. Todos os trabalhos acadêmicos selecionados foram inseridos no software *Start*. Em sequência, o processo da Revisão Sistemática da Literatura (RSL) foi inserido no fluxograma PRISMA, mostrado na Figura 3.

**Figura 3** – Fluxograma do PRISMA.



Fonte: Autora

Na Revisão Sistemática da Literatura (RSL), foram definidos alguns critérios para selecionar os artigos, onde seriam mais relevantes relacionados ao tema da pesquisa, conforme é possível observar nos Quadros 2, 3 e 4.

**Quadro 2** – Descrição dos elementos dos critérios da pesquisa.

<b>Critérios</b>	<b>Descrição</b>
População	Construção civil
Interesse	Construção sustentável
Contexto	Mudanças climáticas, impactos ambientais globais e desempenho térmico.

Fonte: Autora

**Quadro 3** – Critérios de seleção da pesquisa.

Critério 1ª →	Artigos selecionados por ano de publicação, artigos mais recentes (dos últimos 5 anos (2019,2020,2021,2022,2023)).
Critério 2ª →	Artigo selecionado por título e área de atuação.
Critério 3ª →	Artigo selecionado por resumo e sua relação com a área da pesquisa.
Critério 4ª →	Artigo publicados em inglês ou português.

Fonte: Autora

**Quadro 4** – Critérios de inclusão e exclusão.

<b>Critérios de inclusão</b>		<b>Critérios de exclusão</b>	
1º	Os artigos onde há indicativo referente as espessuras de camadas mais indicadas do telhado verde.	1º	Artigos duplicados.
2º	Periódicos revisados por pares.	2º	Títulos que não está relacionado com o tema da pesquisa.
3º	Artigos que contenham análise significativas, para o tema da pesquisa abordado.	3º	Análise do resumo.
4º	Os artigos que investigam a capacidade dos telhados verdes em reduzir as temperaturas interna das edificações.	4º	Análise do texto, através da leitura completa do artigo.

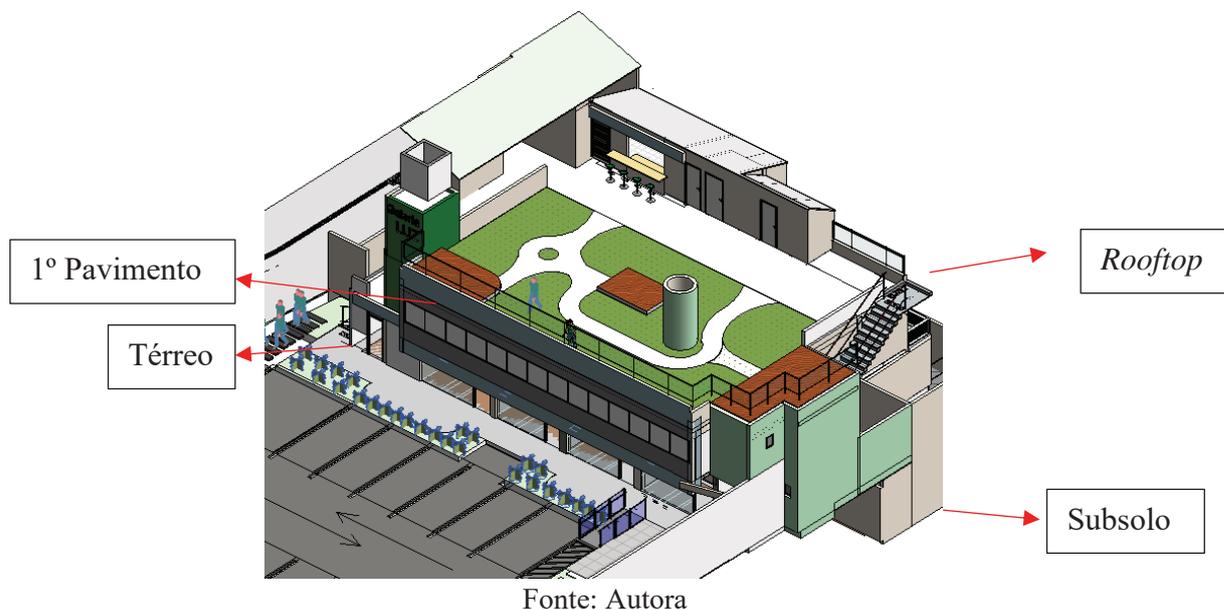
Fonte: Autora

No total, foram selecionados 1.187 artigos nas três bases de buscas. Através do critério de exclusão 3, que é a exclusão a partir das análises da leitura do resumo, associado ao Score 0, 1.092 artigos foram excluídos, deixando 95 artigos para análise do título e resumo. Depois de examinar os títulos e levando em conta a área de atuação, 56 artigos foram excluídos. Isto resultou em 39 artigos para análise do resumo.

Posteriormente, uma planilha no *Excel* foi criada listando esses 39 artigos. Foi realizada uma busca nas três bases de dados e todos os artigos foram baixados para estudo. Após a análise completa do conteúdo, restaram 29 artigos que foram incluídos neste estudo.

A segunda etapa da metodologia para a implementação do telhado verde, foram necessárias inicialmente a realização de vistoria técnica na edificação, para analisar as condições da estrutura da edificação comercial, composta por quatro pavimentos (subsolo, térreo, 1º pavimento e *rooftop*), conforme é possível melhor visualização de acordo com a Figura 4, durante a vistoria foi verificada a necessidade de elaboração de uma laudo pericial de engenharia destinado a determinar quais intervenções necessárias para que a edificação esteja apta a suportar a nova carga incidente, com a implementação do telhado verde. O objetivo principal deste laudo foi de identificar e analisar as manifestações patológicas presentes na estrutura e oferecer recomendações técnicas para o reforço estrutural adequado. Esse reforço se fez necessário devido à adição de sobrecargas, tanto permanentes (peso próprio da estrutura) quanto adicionais (decorrentes do telhado verde), visando a assegurar a estabilidade e integridade da edificação.

**Figura 4** – Representação gráfica em 3D da edificação com ênfase na cobertura.



Fonte: Autora

Foram realizadas análises nos materiais que compõem a cobertura, incluindo laje de concreto, telha de fibrocimento e a camada vegetal, além de registros do andamento da obra, abrangendo todas as fases necessárias para a implantação de um telhado verde extensivo na cobertura.

A terceira etapa da metodologia desta pesquisa consiste na análise da diferença de temperatura antes e após a implementação de um telhado verde. Foi realizada a aferição da camada vegetal do telhado verde, no dia 11 de maio de 2024. Essa análise desempenho térmico foi realizada por termografia infravermelha nos diferentes tipos de coberturas listados no Quadro 05.

**Quadro 5** – Tipos de cobertas.

1	Coberta com telha de fibrocimento (244x 110cm / 244x 50cm)
2	Coberta de laje de concreto
3	Coberta de telhado verde

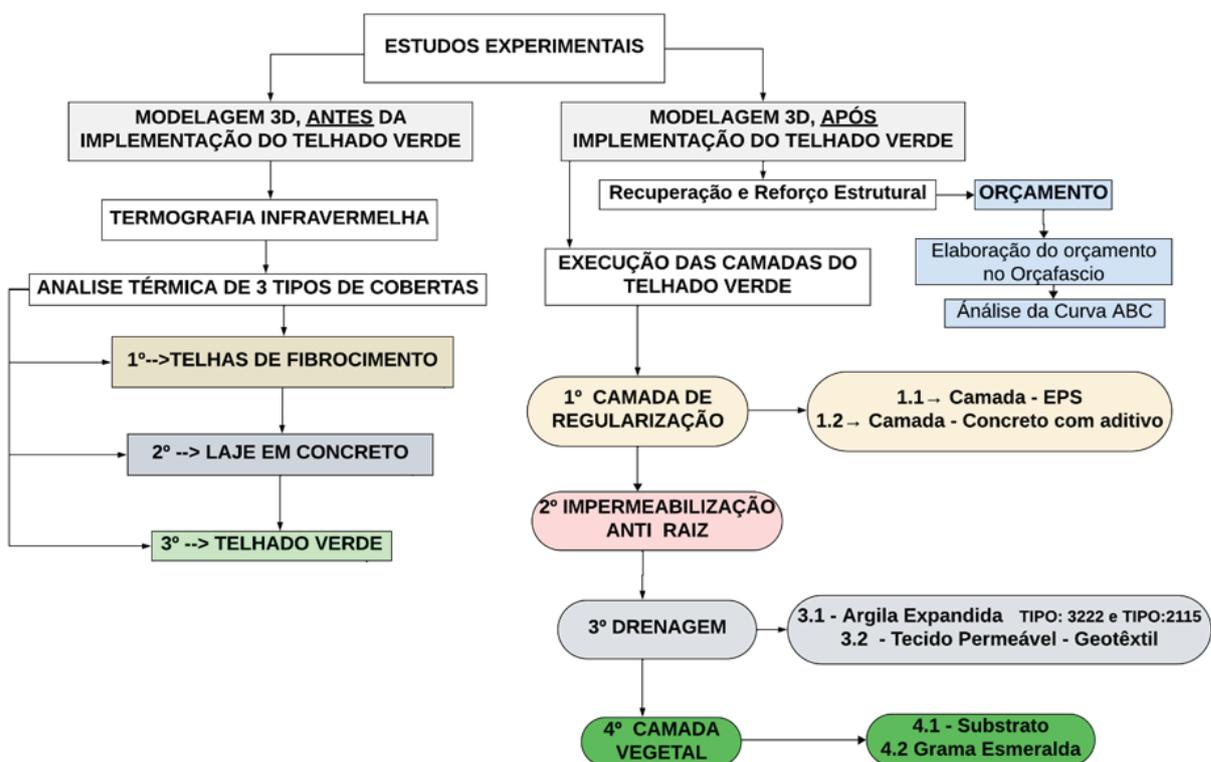
Fonte: Autora

Além disso, foi realizada uma modelagem do projeto de antes e após a implementação, utilizando o *software* Revit (2023), uma ferramenta BIM (*Building Information Modeling*), para facilitar a visualização tridimensional das intervenções.

Também foi elaborada a previsão orçamentária necessária para a realização da obra de readequação para a implantação do telhado verde. Para a elaboração deste orçamento utilizou-se o Orçafascio, uma ferramenta amplamente empregada na construção civil para a elaboração de orçamentos. Essa ferramenta opera sob a metodologia BIM (*Building Information Modeling*), que facilita a integração e a gestão eficiente dos dados do projeto, garantindo precisão e confiabilidade nas estimativas financeiras.

A descrição do processo da obra de *retrofit* foi realizada, incluindo a descrição de cada camada necessária para instalação do telhado verde. Por fim, foi realizada a análise de o custo associado à implementação do telhado verde na edificação. Na Figura 5, pode-se o fluxograma de atividades realizadas na metodologia.

**Figura 5** – Fluxograma de atividades.

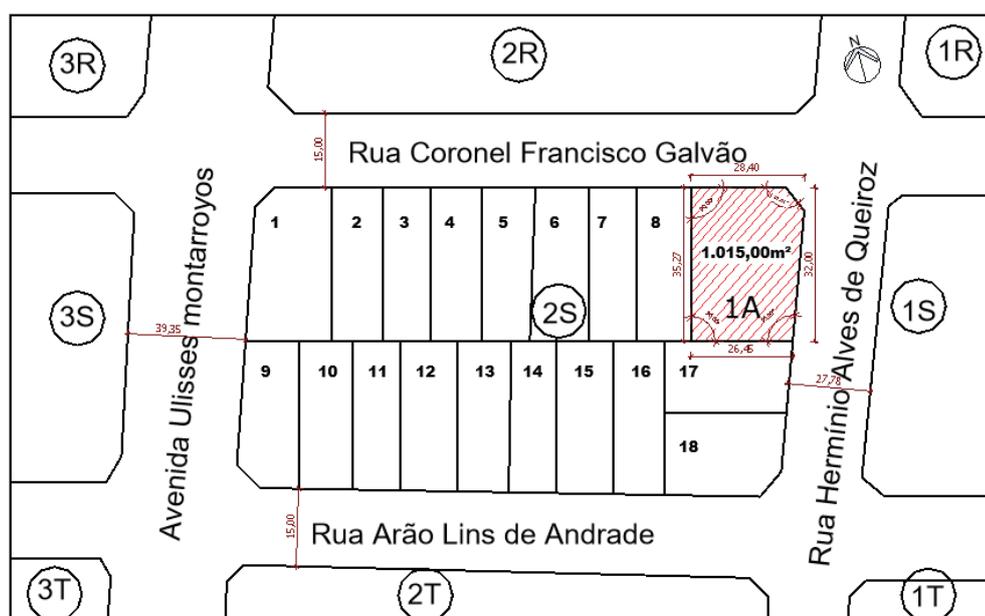


Fonte: Autora

### 3.1 Descrição da edificação onde foi implementado o telhado verde.

A implementação do telhado verde foi realizada na edificação comercial localizada no bairro de Piedade, no município de Jaboatão dos Guararapes no estado de Pernambuco. A Figura 6 apresenta a planta de situação, destacando a área total do terreno do empreendimento onde o telhado verde foi implantado. A área destinada ao telhado verde abrange aproximadamente 108 m<sup>2</sup>, enquanto a área total da cobertura do empreendimento é de 303,6 m<sup>2</sup>. A edificação é composta por quatro pavimentos (subsolo, térreo, 1º pavimento e *rooftop*). O *rooftop* foi projetado com a instalação de telhado verde. Além disso, a edificação abrigará uma galeria comercial com diversas lojas comerciais e um restaurante na cobertura.

Figura 6 – Planta de situação da edificação.



Fonte: Autora

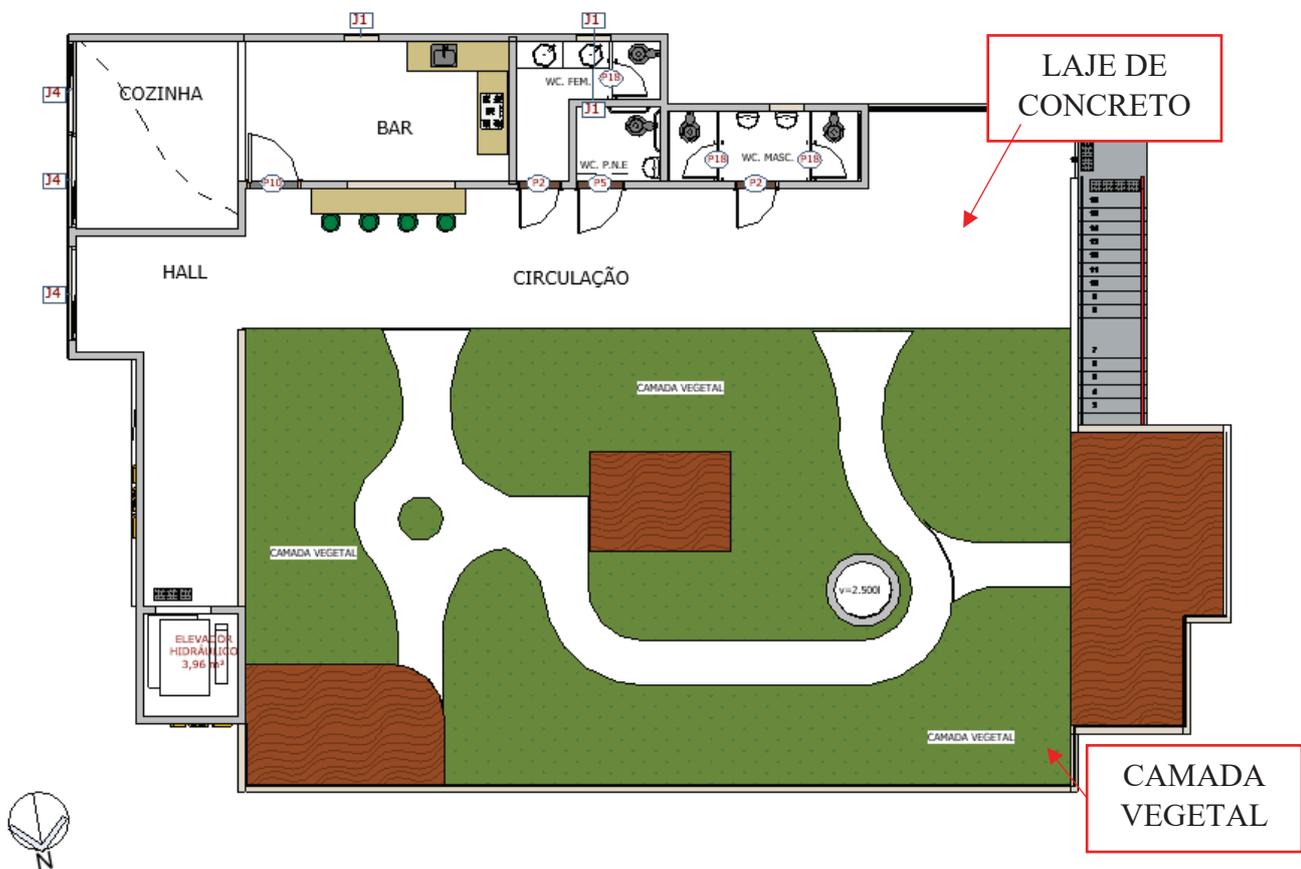
### 3.2 Descrição da cobertura da edificação e transição para o telhado verde

Na edificação objeto deste estudo, a cobertura desempenha um papel fundamental tanto no conforto térmico quanto no impacto ambiental. Inicialmente composta por diferentes áreas, incluindo laje de concreto e telha de fibrocimento, a cobertura passou por uma transição significativa para uma camada vegetal, representada por um telhado verde, substituindo a parte anteriormente composta de telha de fibrocimento, enquanto a cobertura em laje de concreto foi

mantida. Esta transição foi um elemento crucial para o escopo do estudo, representando uma intervenção significativa no sistema de cobertura da edificação.

A Figura 7 mostra a planta baixa da cobertura com o telhado verde, onde é possível identificar as áreas distintas. Nesse contexto, foram adicionado 108 m<sup>2</sup> de área verde, substituindo a cobertura de telha de fibrocimento, enquanto a parte coberta por laje de concreto permanecerá inalterada, totalizando a área total da cobertura de 303,6m<sup>2</sup>.

**Figura 7** – Planta baixa da coberta da edificação.



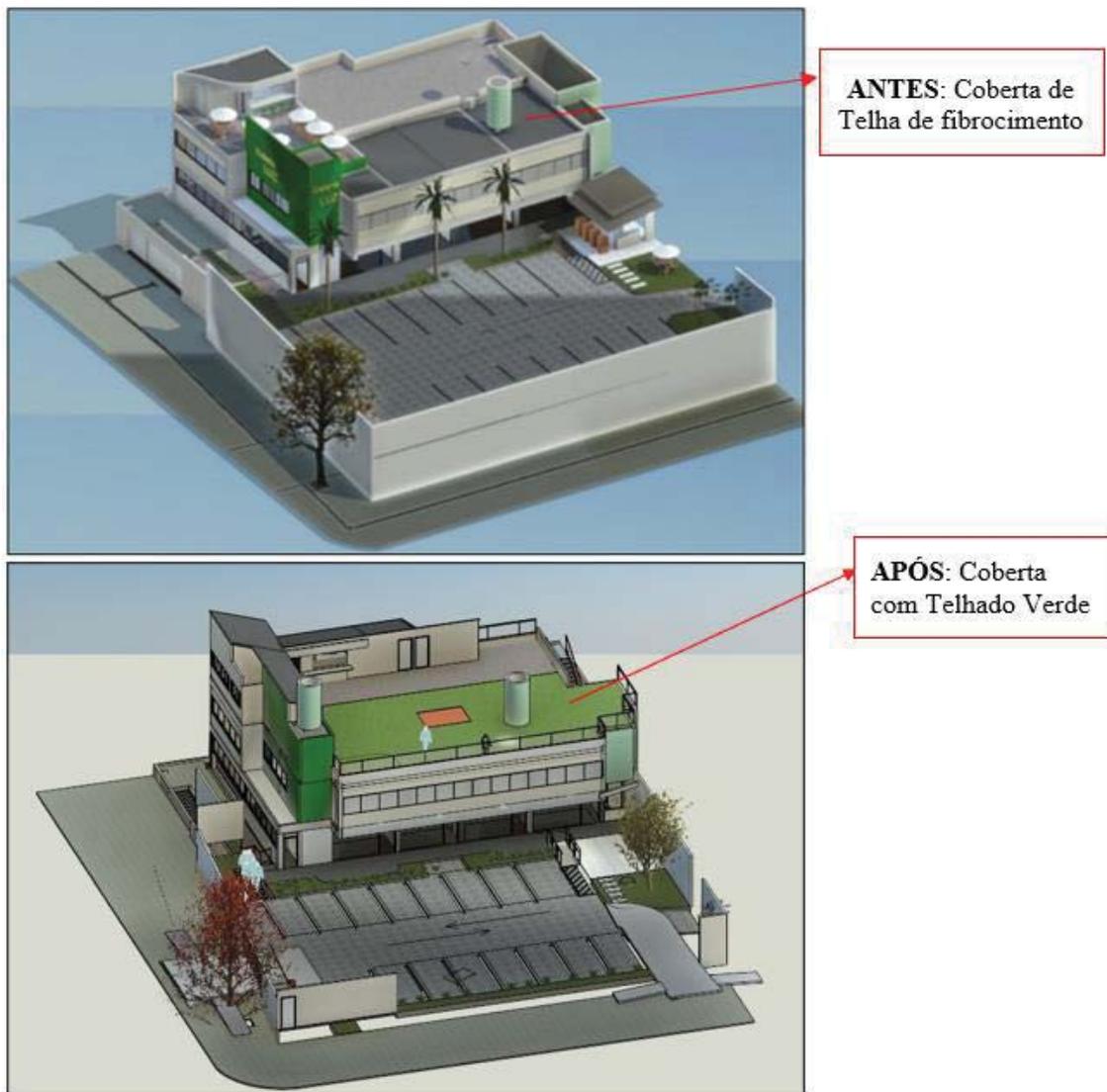
Fonte: Autora

### 3.2.1 Modelagem da edificação com software com conceito BIM

Para proporcionar uma melhor visualização das modificações realizadas no empreendimento comercial do estudo, foi realizada a modelagem tridimensional da edificação antes e depois da implementação do telhado verde, conforme demonstrado na Figura 8. Essa representação tridimensional foi criada utilizando o *software* de projeto e modelagem *Revit Architecture*, desenvolvido pela Autodesk.

O Revit é uma de Modelagem da Informação da Construção (BIM), que utiliza formatos abertos, como o IFC (*Industry Foundation Classes*). Esses formatos permitem o intercâmbio de dados entre diferentes *softwares*, independentemente do fabricante, promovendo a interoperabilidade. O IFC é amplamente reconhecido no setor da construção civil por sua capacidade de facilitar a colaboração e a integração de informações entre todos envolvidos no processo construtivo.

**Figura 8** – Vista 3D da cobertura antes e após a aplicação do telhado verde.



Fonte: Autora

### 3.2.2 Laje de concreto

A cobertura de laje de concreto é amplamente adotada na construção civil devido à sua robustez, durabilidade e capacidade de suportar cargas significativas. As lajes de concreto são elementos estruturais que compõem a cobertura de edifícios, fornecendo uma base sólida e resistente. Elas são extremamente duráveis e oferecem alta resistência às intempéries, ao fogo e a impactos mecânicos, o que garante uma longa vida útil e segurança estrutural.

A área da cobertura em laje de concreto abrange um total de 130,28 m<sup>2</sup> e foi executada utilizando um sistema de laje em painel treliçado. Esse sistema inclui painéis com treliças de aço e concreto usinado com resistência característica à compressão (f<sub>ck</sub>) de 25 Mpa, dosado com cimento Portland do tipo CII Z RS, brita 19 mm e areia grossa. As armaduras construtivas foram instaladas perpendicularmente às treliças, resultando em uma laje com espessura final de 12 cm após a concretagem.

### 3.2.3 Telha de fibrocimento

A telha de fibrocimento é uma escolha prática e confiável para coberturas, oferecendo durabilidade e resistência. Ela garante uma proteção contra intempéries, é resistente a insetos e apodrecimento, além de ser resistente ao fogo. Suas características proporcionam maior eficiência no escoamento das águas pluviais, protegendo a construção contra possíveis infiltrações. Além disso, a telha de fibrocimento é conhecida pela facilidade de instalação e manutenção. No estudo, a cobertura era composta por dois tipos diferentes de telha de fibrocimento que estão especificadas nos Quadros 6 e no Quadro 7 estão as especificações técnicas de acordo com o fabricante.

**Quadro 6** – Dimensões e pesos das telhas de fibrocimento

-	DIMENSÕES (2,44 x 1,10)	DIMENSÕES (2,44 x 0,50)
Comprimento (m)	2,44	2,44
Largura total (m)	1,10	0,50
Peso (kg)	32	9
Espessura (mm)	6,0	4,0

Fonte: Fabricante, 2023.

**Quadro 7** – Especificações da telha de fibrocimento.

CARACTERÍSTICA	REFERÊNCIA NORMA	VALORES TÍPICOS	TOLERÂNCIA
ENVELHECIMENTO ÁGUA QUENTE	NBR 15210 (ABNT,2023)	100 % de propriedades mantidas após o ensaio	Manter no mínimo 70% das propriedades originais após o ensaio
ENVELHECIMENTO IMERSÃO - SECAGEM			
ENVELHECIMENTO CALOR CHUVA		Não apresenta fissuras ou delaminações que provoquem vazamento	

Fonte: Fabricante 2023.

### 3.3 Telhado verde

Os telhados verdes têm se destacado como uma solução sustentável e eficaz para melhorar o desempenho ambiental das edificações urbanas. Esses sistemas são projetados com diversas camadas que desempenham funções específicas, contribuindo para benefícios como a redução do calor urbano, a gestão das águas pluviais, e o aumento da biodiversidade urbana. Os telhados verdes oferecem uma série de vantagens ambientais significativas. Eles ajudam a mitigar o efeito da ilha de calor urbana, pois absorvem menos calor do que os telhados convencionais. Adicionalmente, eles desempenham um papel crucial na gestão das pluviais, reduzindo o volume e a velocidade do escoamento da água da chuva, o que contribui para a diminuição do risco de inundações em áreas urbanas. A vegetação nos telhados verdes também cria habitats para fauna e urbana, promovendo a biodiversidade.

#### 3.3.1 Camadas do telhado verde

A estrutura básica de um telhado verde é composta por várias camadas sobrepostas, cada uma com uma função específica. A primeira é a camada de regularização, que nivela a superfície do telhado de acordo com os seus devidos caimentos de acordo com o projeto e prepara a base para as camadas subsequentes. Em seguida, vem o sistema de impermeabilização que é crucial para proteger a estrutura do edifício contra a infiltração de água.

Sobre a camada impermeável, é aplicada uma manta de drenagem. Esta camada permite a passagem da água da chuva através do sistema, evitando o acúmulo excessivo de água no substrato do telhado. A camada de drenagem também assegura que as raízes das plantas não fiquem encharcadas, promovendo um crescimento saudável da vegetação.

Acima da camada de drenagem, encontra-se uma camada de tecido geotêxtil, que atua como um filtro e separador em relação ao substrato. Este substrato serve como meio de crescimento para as plantas e é escolhido como base em suas características de retenção de água, nutrientes e estabilidade, essenciais para sustentar o crescimento saudável das plantas selecionadas. As espécies vegetais escolhidas para o telhado verde podem variar desde gramíneas até plantas nativas adaptadas às condições locais, contribuindo para a diversidade ecológica, promovendo a absorção de dióxido de carbono e a filtragem de poluentes atmosféricos.

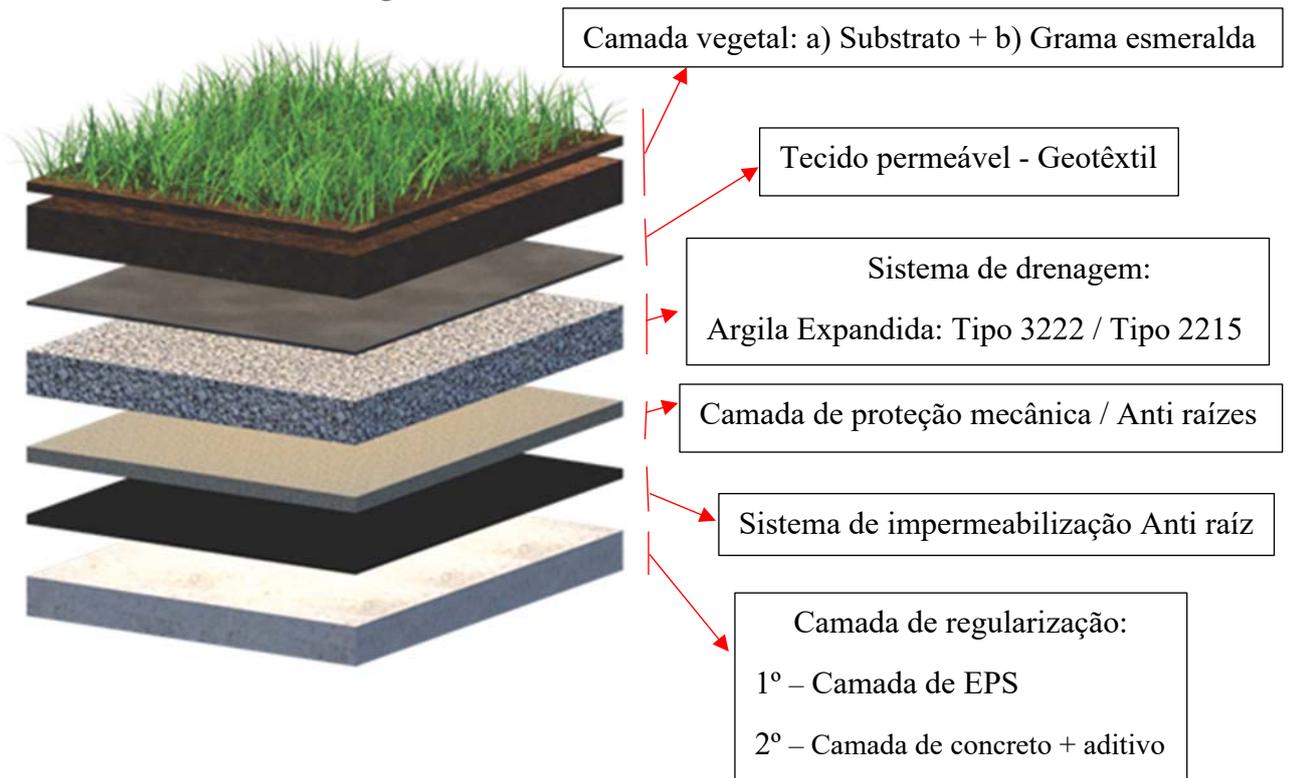
A complexidade e a eficácia de um telhado verde dependem da integração harmoniosa de todas as camadas, que devem ser projetadas e instaladas considerando as condições climáticas locais, a estrutura do edifício e os objetivos específicos de sustentabilidade e desempenho ambiental. Assim, os telhados verdes não apenas melhoram a estética urbana e a eficiência energética, mas também proporcionam benefícios ambientais significativos, contribuindo para a construção de cidades sustentáveis e resilientes. Para a melhor visualização das camadas do telhado verde, de acordo com as espessuras empregadas, é possível melhor identificar conforme o Quadro 8 e Figura 9.

**Quadro 8** – Camadas aplicadas na implementação do telhado verde.

CAMADA	DESCRIÇÃO	Espessura (cm)
Camada 01 A	Camadas de regularização composta por camada com isopor EPS	EPS – 6,5 cm
Camada 01 B	Camada de concreto com aditivo impermeabilizante	8,0cm
Camada 02	Sistema de Impermeabilização Anti Raiz – 3 mm	0,3 cm
Camada 03	Camada de proteção mecânica	3,0 cm
Camada 04	Sistema de drenagem com argila expandida – (tipo 3222 e tipo 2215)	8,0 a 10,0 cm
Camada 05	Tecido permeável - Geotêxtil - BIDIM	0,2 a 0,6 cm
Camada 06	Substrato (Areia Média + Areia Grossa+ Barro de Jardim+ Adubo)	10,00 cm
Camada 07	Grama Esmeralda	3,0 cm
ESPESSURA TOTAL →		41,40 cm

Fonte: Autora

**Figura 9** – Camadas do telhado verde.



Fonte: (ECOTECHNOLOGIAS, 2023)

### 3.3.1.1 Camada de regularização

A camada de regularização tem como objetivo, além da uniformizar do nível do piso da laje de concreto, proporcionar o caimento correto para melhor captação das águas pluviais e preencher as microfissuras existente na laje. Para essa finalidade, foi utilizado um concreto fluido, com a adição de um aditivo impermeabilizante, que atua como a primeira camada de retenção de água, proveniente do material retido e absorvido pela implementação do telhado verde. A Figura 10 mostra a aferição da espessura camada de regularização.

**Figura 10** – Espessura da camada de regularização.

Fonte: Autora

### 3.3.1.2 Sistema de impermeabilização – Anti Raiz

A manta asfáltica utilizada no sistema de impermeabilização é pré-fabricada à base de asfalto modificado com polímeros, elastômeros e aditivos químicos que garantem a resistência ao ataque de raízes após a aplicação da impermeabilização, conforme recomendado pelo fabricante é indicado para o tipo de cobertura com aplicação de telhados verdes. O material é aplicado com uma manta de tecido de poliéster resinado e possui acabamento em polietileno nas duas faces. O Quadro 9 apresenta as especificações das propriedades e características da manta utilizada para impermeabilização.

**Quadro 9** – Propriedades e características da manta anti raiz

Tipo de aplicação	Aplicação a quente: soldagem autógena (maçarico) e asfalto modificado à quente	Estanqueidade (mínimo)	15mca
Base química	Asfalto modificado com polímeros e elastômeros e aditivos.	Resistência à tração e alongamento	400N
Absorção de água – variação em massa	1,5	Escorrimento (mínimo)	95°C
Flexibilidade a baixa temperatura (Classe B)	-5 °C	Estabilidade dimensional	1%
Largura	1 M	Resistencia ao rasgo	120N
Espessura	3 mm	Comprimento	10 M

Fonte: Fabricante,2024.

### **3.3.1.3 Camada de proteção mecânica do sistema de impermeabilização.**

A impermeabilização anti raiz é projetada para resistir à penetração das raízes vegetais, sendo que a adição de uma camada de proteção mecânica oferece defesa adicional contra danos físicos causados pelo tráfego de pessoas, instalação de equipamentos e outros impactos mecânicos. Esta camada mecânica consiste em um contrapiso com dosagem de com cimento Portland e areia grossa na proporção de 1:5, estrategicamente aplicado para fortalecer a estrutura da cobertura e prolongar sua durabilidade.

### **3.3.1.4 Sistema de drenagem**

#### **3.3.1.4.1 Tecido permeável - geotêxtil**

Foi utilizado o tecido permeável Bidim como uma camada filtrante, e de separação. O tecido permeável geotêxtil é extremamente leve, pesando aproximadamente  $0,13\text{kg/m}^2$  ou  $0,00013\text{tf/m}^2$ . Esse tecido é bastante usado na construção civil para obras de contenção terrenos, em obras de saneamento básico, aterros sobre solo mole, taludes, em telhados verdes entre outras aplicações

É um material com função altamente drenante que facilita o escoamento da água, substituindo uma ou mais camadas de agregados. Além disso, ele separa materiais de diferentes granulometrias, permitindo o fluxo constante de água nos dois sentidos entre os agregados.

No contexto do telhado verde o Bidim aplicado sobre a camada drenante, tem a função de evitar o crescimento de vegetação e aumentar a durabilidade das camadas inferiores, mantendo-as limpas. Uma característica relevante do Bidim é sua capacidade de aumentar a resistência do material de aterro e permite a rápida percolação de água devido a sua textura porosa altamente permeável.

A Figura 11 ilustra o tecido permeável bidim. É recomendado pelo fabricante que o corte da manta geotêxtil Bidim seja realizado com tesoura ou lâmina, com supervisão do engenheiro, de modo a garantir apenas uma sobreposição simples geotêxtil, não sendo permitida a sobreposição de três camadas.

**Figura 11** – a) Rolo do tecido permeável com 2,30 x 100m b) Aplicação do tecido permeável Bidim sobre a camada drenante.



Fonte: Fabricante,2024

### 3.3.1.4.2 Argila expandida

A Argila expandida utilizada é um tipo de agregado leve que atua como isolante, composto por uma crosta microporosa rígida com alta resistência mecânica e um interior formado por uma massa cerâmica altamente porosa. Esse material é fabricado e realizado em fornos rotativo de alta tecnologia, operando em uma temperatura média de 1.200 C°. A argila é um produto natural, incombustível, não inflamável e não se degrada com o tempo.

O Quadro 10 apresenta as propriedades físicas detalhadas da argila expandida utilizada na camada drenante do sistema construtivo do telhado verde. Por outro lado, a Figura 12 ilustra a composição química da argila expandida, fornecendo informações adicionais sobre seus componentes essenciais.

**Quadro 10** – Propriedades física da argila expandida

<b>Densidade aparente</b>	450 kg/m <sup>3</sup>
<b>Massa Específica</b>	0,56 g/dm <sup>3</sup>
<b>Classes granulométricas</b>	22-32 mm
<b>Resistência mecânica</b>	16 MPa ou 16,3 kgf/cm <sup>2</sup>
<b>Condutividade Térmica</b>	0,1 a 0,16 W/(m.K)

Fonte: Fabricante,2024.

**Figura 12** – Concentração dos elementos químicos que compõe a argila expandida

Fonte: ADAPTADO, Fabricante 2024.

### 3.3.1.5 Camada vegetal

A camada vegetal representa o elemento final e fundamental de um telhado verde, oferecendo uma variedade de benefícios que vão além da estética e do conforto ambiental. Composta pelo substrato e pelas plantas selecionadas, como a grama neste estudo específico, essa camada desempenha um papel essencial na adaptação das edificações urbanas às demandas contemporâneas de sustentabilidade e qualidade de vida. A escolha criteriosa das plantas é crucial, considerando sua resistência às condições climáticas locais, requisitos de manutenção e o uso específico da cobertura, como no caso de um restaurante, onde é essencial a resistência ao pisoteio.

Além de melhorar a estética do ambiente urbanos, a camada vegetal proporciona benefícios significativos como a regulação térmica do edifício, ajudando a reduzir tanto o calor excessivo quanto o frio, dependendo das condições climáticas. A gestão eficiente da captação da água da chuva é outro benefício importante, pois as plantas retêm parte da água da chuva, reduzindo a carga sobre os sistemas de drenagem urbana. Além disso, as camadas vegetais promovem a biodiversidade urbana, oferecendo habitat e alimentação para insetos, aves e outros animais.

### **3.3.1.5.1 Substrato**

O substrato desempenha um papel crucial na camada vegetal, sendo essencial para garantir uma boa drenagem eficiente e evitar o acúmulo excessivo de água. Um substrato com drenagem ineficiente pode acarretar problemas como o aumento de peso na estrutura devido ao acúmulo de água, além de demandar de maior manutenção da vegetação. Além da drenagem, o substrato deve fornecer nutrientes adequados para sustentar a saúde das plantas ao longo do tempo.

Neste projeto, foi primordial considerar o impacto do peso adicional associado a nova camada vegetal implementada na estrutura existente. Optou-se por um substrato com espessura mínima de 10 cm, adequado para o cultivo de grama esmeralda, que será discutida na seção 3.3.1.5.2. Essa escolha foi feita para minimizar a sobrecarga na estrutura, dado que não há planos de cultivar plantas de porte médio ou grande neste telhado específico.

Essas considerações garantem não apenas a funcionalidade adequada do telhado verde, mas também a sustentabilidade e a durabilidade da vegetação ao longo do ciclo de vida do edifício, contribuindo para os objetivos de eficiência ecológica e manutenção de um ambiente urbano saudável.

### **3.3.1.5.2 Grama**

A escolha da grama esmeralda para compor a camada vegetal do telhado verde levou em considerações diversos fatores específicos para garantir sua adequação e eficácia no contexto do projeto. Esta espécie de grama é conhecida por sua resistência tanto à incidência solar quanto ao pisoteio características essenciais dadas as condições climáticas da região e a função social do espaço. A grama esmeralda é amplamente cultivada no Brasil. Suas folhas estreitas e finas apresentam um crescimento lento, tornando-a de fácil manutenção e requerendo podas menos frequentes no jardim. A Figura 13 apresenta um registro fotográfico realizado in loco da grama que foi utilizada na camada vegetal do telhado verde. O preço médio dessas espécies de grama é de R\$4,95 por metro quadrado.

**Figura 13** – Grama esmeralda.



Fonte: Autora

Essa espécie de grama é particularmente indicada para regiões de clima quente, pois suas folhas são altamente tolerantes ao sol e não exigem grandes quantidades de água para se desenvolver. Devido ao seu crescimento lendo, requer menos podas frequentes e menor necessidade de manutenção em comparação com outras variedades, tornando-a uma escolha prática econômica para áreas que exigem vegetação de fácil manutenção. Inicialmente, a grama bermuda também foi considerada uma escolha interessante devida às suas características semelhantes à grama esmeralda. No entanto, devido a barreiras comerciais, como limitação de compra por quantidade de metros quadrados e a dificuldade de encontrá-la no comércio local, além de ser mais cara que a grama esmeralda, optou-se pela grama esmeralda.

Além da sua resistência e baixa necessidade de cuidados, a grama esmeralda desempenha um papel importante na prevenção da erosão do solo, ajudando a manter a estabilidade do substrato. Sua capacidade de resistir ao pisoteio também a torna ideal para áreas de passagem, como será o caso do telhado verde que servirá como espaço de restaurante, garantindo que a vegetação mantenha sua integridade mesmo com o tráfego regular de pessoas.

### **3.4 Termografia infravermelha**

Para avaliar a variação de temperatura da edificação antes e após a implementação do telhado verde, foi utilizado um equipamento de termografia infravermelha, modelo FLIR E60. Este equipamento é capaz de captar imagens térmicas que fornecem uma análise detalhada das

temperaturas superficiais, permitindo uma comparação precisa entre os diferentes estados da edificação. As especificações da câmera termográfica estão detalhadas no Quadro 11.

**Quadro 11** – Especificação técnica da câmera termográfica – Modelo FLIR E60.

Resolução térmica:	<b>320 × 240 pixels;</b>
Sensibilidade térmica:	<b>&lt; 0.05°C</b>
Câmera de Vídeo sem/iluminação:	<b>3.1 MP</b>
Opção de lentes:	<b>Padrão: 25°; Opcional: 15° Tele, 45° Grande Angular</b>
Zoom:	<b>4× Digital Contínuo</b>
Display Colorido Touch Screen:	<b>3.5" (320 x 240)</b>
Foco	<b>Manual</b>
Precisão:	<b>±2°C ou ±2% de leitura</b>
Frequência da Imagem:	<b>60 Hz</b>
Intervalo de temperatura:	<b>De -4 a 1202 °F (de -20 a 650 °C)</b>
Faixa de Temperatura:	<b>-20° a 250°C</b>
Picture-in-Picture:	<b>Escalonável</b>

Fonte: Fabricante, 2023.

Antes de iniciar as aferições com a câmera termográfica, é essencial determinar alguns parâmetros para garantir a precisão das medições. Entre esses parâmetros estão a distância do objeto a ser estudado, os pontos específicos que serão aferidos, a umidade relativa do ambiente e a emissividade do material em análise. Esses fatores influenciam diretamente a precisão e a confiabilidade dos dados obtidos com a termógrafa infravermelha.

### 3.5 Orçamento

O orçamento de uma obra é uma estimativa do custo da execução para um projeto de construção ou reforma que envolve todos os insumos, incluindo materiais, mão de obra e equipamentos. Esse orçamento é essencial na fase de planejamento, permitindo prever todos os recursos necessários para viabilizar a execução do projeto.

Para a realização do orçamento da obra, foi utilizado o *software* Orçafascio, amplamente empregado em projetos elaborados com base na metodologia BIM (*Building Information Modeling*). A metodologia BIM facilita a integração de diversas disciplinas e a visualização precisa do projeto, contribuindo para um orçamento mais detalhado e preciso.

A Figura 14 apresenta a interface do programa Orçafascio, utilizado para realização do orçamento da implementação do telhado verde na obra de *retrofit*. Este *software* permite a inclusão de todos os componentes do projeto, proporcionando uma visão abrangente dos custos e recursos necessária para a execução da obra, através deste software é possível ter acessos aos principais banco de dados orçamentários atualizado do país.

**Figura 14** – Interface do software Orçafascio



Fonte: Autora

A Figura 15 mostra os bancos de dados utilizados para a realização deste orçamento, sendo eles SINAPI(04/2024), COMPESA(07/2023), SBC (05/2024) e SCO (04/2024). Esses bancos de dados fornecem os preços de referência para os materiais e serviços, garantindo que o orçamento esteja alinhado com os valores de mercado atualizados.

Além disso, A Figura 15 também apresenta o percentual de BDI (Benefícios e Despesas Indiretas) utilizado e a taxa de encargos sociais considerando a não desonerada. A taxa de BDI considerada foi de 25,00%, um valor médio frequentemente utilizado na construção civil para cobrir custos indiretos e prever lucro da empresa executora. No entanto, essa taxa pode ser ajustada conforme necessidade específica de cada empreendimento, garantindo flexibilidade no planejamento financeiro.

A consideração desses fatores é crucial para elaboração de um orçamento preciso e confiável, essencial para a viabilidade e o sucesso do projeto.

**Figura 15 – Dados do orçamento**

BANCOS	SINAPI - 04/2024 - PERNAMBUCO    SBC - 05/2024 - RCE - Recife - PE COMPESA - 07/2023 - PERNAMBUCO    SCO - 04/2024 - Rio de Janeiro	
BDI	25,0%	
ENCARGOS SOCIAIS	<p><b>Não Desonerada</b></p> <p><b>Horista 0,0%</b></p> <p><b>Mensalista 0,0%</b></p>	As percentagens cadastradas não estão incidindo sobre os preços unitários dos insumos de mão de obra, elas somente são exibidas nos relatórios.

Fonte: Autora

A curva ABC é destacada na análise de planilhas orçamentárias. É comum encontrar orçamentos contendo uma grande quantidade de itens de serviço distintos. Nessas situações, a curva ABC de serviços possibilita uma avaliação global do orçamento ao examinar apenas uma parte dos serviços, focando nos itens de maior impacto financeiro. No Quadro 12, é possível identificar os percentuais relativos a curva ABC e na Figura 16 é possível observar a representação gráfica da curva ABC.

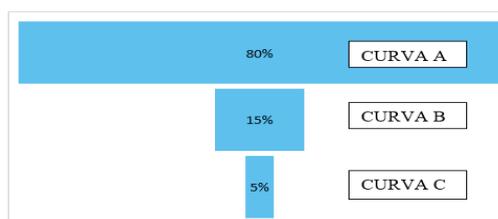
- Os itens da curva A → 20% dos itens que contribuem com cerca de 80% do valor da obra;
- Os itens da curva B → 30% dos itens que contribuem com cerca de 15% do valor da obra;
- Os itens da curva C → 50% dos itens que contribuem com cerca de 5% do valor da obra.

**Quadro 12 – Curva ABC**

CURVA	Grau de relevância	Categoria	Percentual (%)
A	Maior	Serviços ou Insumos de maior valor	16% a 80%
B	Intermediária	Serviços ou Insumos de medio valor	6% a 15%
C	Menor	Serviços ou Insumos de menor valor	0 a 5%

Fonte: Autora.

**Figura 16 – Representação gráfica da curva ABC**



Fonte: Autora.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Um dos primeiros resultados deste trabalho foi a identificação e análise das manifestações patológicas presentes na estrutura, com isso foi possível obter recomendações técnicas para um reforço estrutural adequado. Este reforço se torna necessário devido à introdução de sobrecargas, tanto permanentes (peso próprio da estrutura) quanto adicionais (decorrentes do telhado verde), com o objetivo de assegurar a estabilidade e integridade da edificação.

Durante a inspeção técnica realizada antes do início das obras, foram observadas várias manifestações patológicas, especialmente concentradas no subsolo. Além disso, foi analisado que a edificação está passando por uma modificação significativa, com a incorporação de dois novos pavimentos e a instalação de um restaurante na cobertura. Essas alterações resultam no aumento substancial da sobrecarga sobre a estrutura existente, tornando imprescindível uma análise minuciosa e recomendações precisas para garantir a estabilidade e segurança.

É relevante destacar que não existe uma norma regulamentadora brasileira sobre estruturas danificadas e sua consequente recuperação. Portanto, a recuperação estrutural da edificação foi fundamentada na legislação vigente à época da construção, possivelmente a NB1, norma anterior à conhecida NBR 6118 (ABNT,2014), considerando que a idade aparente da edificação original é superior a 20 anos. Além disso, foram aplicadas boas práticas da Engenharia diagnóstica.

Para a elaboração das análises, foram seguidas as diretrizes estabelecidas pela NBR 13752 (ABNT,2019). Esta norma define os requisitos mínimos para a realização de perícias de engenharia na construção civil, abrangendo desde a definição do objeto da perícia até a elaboração do laudo pericial, incluindo os critérios de apresentação das conclusões e recomendações.

A NBR 13752 (ABNT,2019) oferece orientações detalhadas sobre aspectos como a qualificação do perito, a realização da vistoria técnica, a coleta de dados, a análise das manifestações patológicas, os métodos de ensaio, o embasamento técnico-científico das

conclusões, bem como as responsabilidades do perito e das partes envolvidas no processo pericial. Além disso, o trabalho também se fundamenta na NBR 6118 (ABNT,2014) Procedimento, como uma tentativa de atualizar as recomendações técnicas atuais.

#### **4.1 Manifestações patológicas encontradas na edificação**

Durante a inspeção técnica realizada antes do início das obras de recuperação estrutural, foram identificadas diversas manifestações patológicas na estrutura da edificação em questão. As principais manifestações observadas foram: corrosão das armaduras construtivas (1); descolamento do revestimento do concreto (2); eflorescência (3); manchas e segregações (4); permeabilidade (5) e perda de aderência entre o concreto (6). Essas manifestações indicam diferentes tipos de deterioração e problemas estruturais que precisam ser abordados durante o processo de reforço e recuperação.

1→Corrosão das armaduras construtivas: Foi verificada a presença de corrosão nas armaduras de aço de alguns elementos estruturais, como vigas e pilares. Essa manifestação patológica compromete a integridade estrutural, reduzindo a capacidade de suporte e aumentando o risco de colapso, uma vez que a corrosão gera uma tensão de expansão do aço e pressão sobre o concreto, levando ao seu destacamento.

2→ Descolamento do revestimento do concreto: Verificou-se o descolamento do revestimento em algumas lajes, vigas e pilares. Isso pode ser causado por falhas na aderência entre o revestimento e o elemento estrutural subjacente, resultando em fissuras e trincas.

3→Eflorescências: Foram observadas eflorescências em algumas áreas da estrutura. As eflorescências são depósitos de sais minerais que se acumulam na superfície do concreto, indicando a presença de umidade e possíveis problemas de impermeabilização, possivelmente relacionado ao uso de saibro no revestimento de emboço durante a construção da edificação, que antigamente era um material utilizado recorrente nas construções.

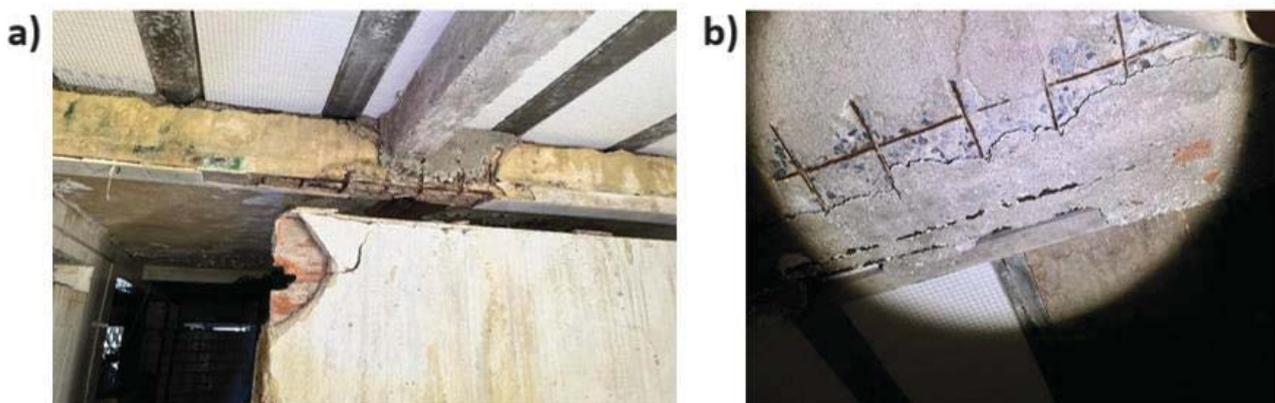
4→Manchas e segregação: Identificaram-se manchas e segregação em determinadas regiões da estrutura. Essas manifestações são indicativas de problemas durante a execução do concreto, como dosagem inadequada dos materiais constituintes ou problemas de adensamento, provavelmente decorrente de falha no processo de vibração no estado fresco bem como na grande quantidade de brita e aparente baixa relação água cimento, ocasionado a segregação do das britas no concreto.

5→Permeabilidade: A análise revelou a presença de áreas com alta permeabilidade, sugerindo deficiências na qualidade do concreto ou falhas no processo de cura. A permeabilidade excessiva pode comprometer a durabilidade e a resistência do concreto, aumentando os riscos de infiltração e deterioração ao longo do tempo, acelerando o desgaste frente aos intemperes.

6→Perda de aderência entre os concretos: Em algumas regiões, foi observada perda de aderência entre camadas de concreto, indicando problemas de execução ou incompatibilidade entre materiais. Essa perda de aderência compromete a integridade estrutural, podendo resultar em fissuras e destacamentos.

A Figura 17(a) mostra a armadura construtiva exposta em viga de concreto armado, permitindo a entrada de cloretos, enquanto a Figura 17(b) evidencia recobrimento insuficiente e alta incidência de umidade, acelerando o desgaste das armaduras de aço por oxidação, na área do subsolo.

**Figura 17** – (a) Armadura exposta em viga de concreto: (b) Recobrimento insuficiente em elemento estrutural de concreto armado.



Fonte: Autora

Na Figura 18 (a), observa-se o apoio da laje em elemento de vedação não estrutural, resultando em uma distribuição inadequada das cargas de apoio estrutural. Já na Figura 20 (b), verifica-se uma demolição inadequada de um elemento estrutural no subsolo.

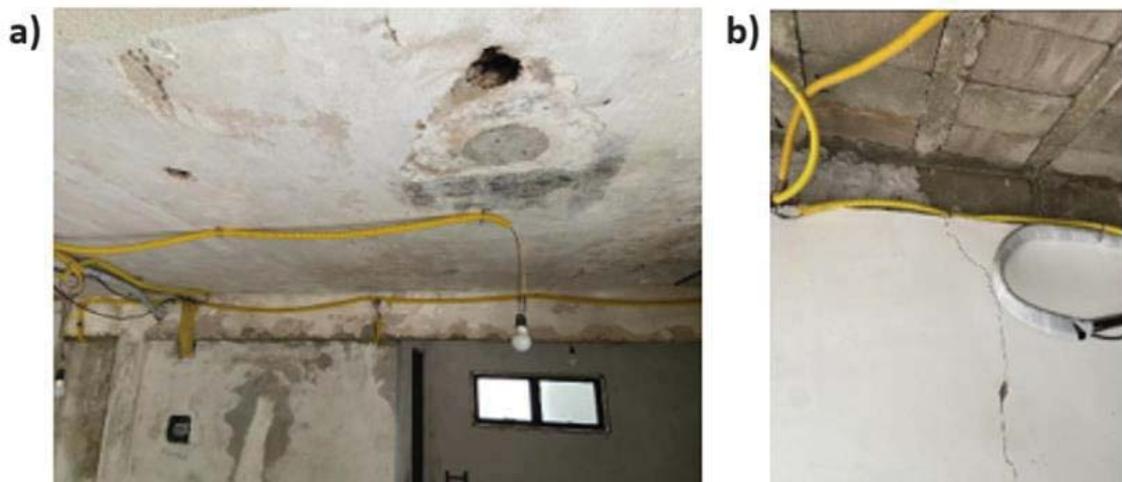
**Figura 18** – (a) Apoio de laje em elemento de vedação não estrutural (b) remoção inadequada do elemento estrutural viga no subsolo da edificação.



Fonte: Autora

Em alguns pontos da edificação, foram identificados vazamentos devido à falta de impermeabilização na laje do subsolo conforme ilustrado na Figura 19(a). Além disso, a Figura 19(b) mostra uma possível deformação excessiva da viga no pavimento térreo, causado pela ausência de encunhamento, o que resultou em fissuras lineares no mesmo pavimento.

**Figura 19** – (a) Presença de umidade em laje. (b) Deformação excessiva de viga e ausência de encunhamento no pavimento térreo por ausência de encunhamento.



Fonte: Autora

A Figura 20(a) mostra uma viga com armadura exposta e apoio de laje inadequado na localização do subsolo, o que pode ser uma causa potencial de falha na execução do apoio da laje. A corrosão da armadura ocorre devido à deterioração do concreto, permitindo a penetração de sulfatos por processo da carbonatação, corrosão e expansão da armadura. Na Figura 20(b), um furo em uma região inadequada é descrito como resultado de um erro executivo. Um furo em uma região crítica pode comprometer a capacidade da viga de suportar cargas, levando à deformação excessiva e até mesmo o colapso parcial ou total da viga, expondo a armadura.

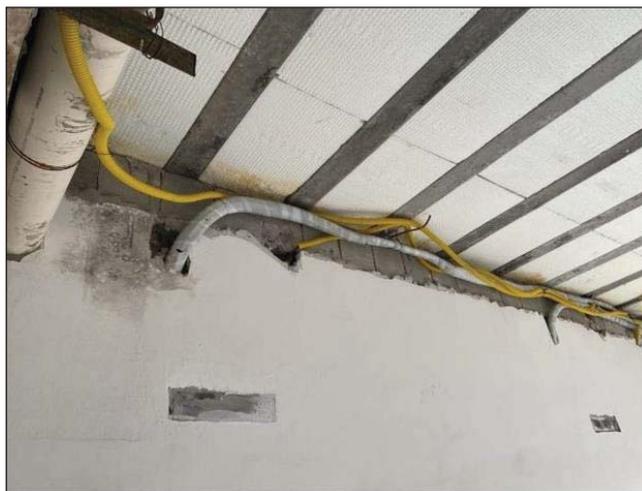
**Figura 20** – (a) viga com armadura exposta e apoio de laje inadequado (b) furo em viga em região inadequada



Fonte: Autora

A Figura 21 mostra blocos de concreto utilizados como elementos estruturais, sobrepostos à distribuição de cargas da laje em painel treliçado para as paredes onde os blocos estão inseridos, localizados no primeiro pavimento. As causas incluem execução inadequada e uso de material inapropriado para receber o apoio do elemento estrutural laje.

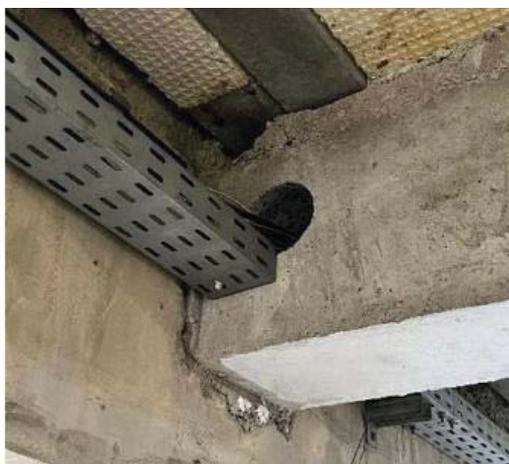
**Figura 21** – Blocos de concreto inseridos em apoio a laje de painel treliçado.



Fonte: Autora

A Figura 22 mostra um furo horizontal realizado de forma inadequada em uma viga na localização do primeiro pavimento. Essa ocorrência pode causar uma redução na capacidade de carga do elemento, aumento das tensões concentradas e levar à ruptura prematura da viga.

**Figura 22** – Furo horizontal em elemento estrutural de concreto armado.



Fonte: Autora

## 4.2 Reforço estrutural

Antes da realização da obra de *retrofit* na edificação, a cobertura era composta por uma laje de painel treliçado, sobre a qual havia um telhado composto por telhas de fibrocimento, como mostrado na Figura 23. Durante a inspeção para a retirada das telhas, foi identificada a necessidade de aplicar uma camada impermeabilizante. Essa necessidade decorreu da presença de diversos pontos de vazamento no sistema de cobertura existente, causados tanto por telhas quebradas ou mal posicionadas, quanto por imperfeições no sistema de drenagem da água da chuva.

**Figura 23** – Coberta com telha de fibrocimento



Fonte: Autora

Após a remoção de todas as telhas de fibrocimento, foi possível visualizar com mais clareza as imperfeições da impermeabilização do sistema de laje existente na edificação, como mostrado na Figura 24. Nesta fase, foi possível remodelar e corrigir o sistema hidráulico que abastece a edificação para evitar possíveis vazamentos. Anteriormente, havia sete claraboias na cobertura, das quais seis foram removidas e apenas uma foi mantida no novo layout. Após a correção dos sistemas hidráulicos, foi realizado um teste de estanqueidade com 48 horas para a identificação de vazamentos e realizar as correções necessárias antes de avançar para as próximas etapas.

**Figura 24** – Coberta após remoção das telhas de fibrocimento.



Fonte: Autora

Para suportar o peso do telhado verde sobre a laje da cobertura da edificação, foi realizado um procedimento de reforço estrutural, utilizando vigas de concreto armado que atravessam cada vão da laje no pavimento abaixo da cobertura, conforme mostrado na Figura 25. Anteriormente à obra de *retrofit*, o sistema de laje era composto por painéis treliçados. Essas treliças eram apoiadas sobre as vigas de reforço para transmitir as cargas proveniente do peso da própria laje, somadas ao peso de todas as camadas do telhado verde. Durante a execução do sistema de reforço, uma parte dos blocos de concreto que compunham o sistema de laje em painel treliçado foi removida.

**Figura 25** – Reforço estrutural da laje existente(a), detalhe construtivo dos painéis treliçados sobre elemento estrutural de concreto armado (b).



Fonte: Autora

Para a concretagem, foi realizada uma dosagem de referência para estimar os parâmetros mínimos de desempenho, levando em consideração os esforços atuantes que o suporte de concreto irá suportar durante a utilização. O concreto foi projetado com resistência característica mínima estimada ( $f_{ck}$ ) de 20 MPa, utilizando a dosagem de 1 parte de cimento para 1,5 partes de brita e 2 partes de areia grossa, com uma relação água-cimento de 0,4. O Quadro 13 apresenta as proporções em quilogramas e mililitros para cada insumo utilizado por ciclo de produção de concreto em betoneira de 150 litros.

**Quadro 13** – Dosagem do concreto do reforço estrutural.

Cimento CP II Z 32 RS (Kg)	Brita 19 mm (Kg)	Areia Grossa (Kg)	Água (ml)
25	37,5	50	500

Fonte: Autora

A sequência da mistura na betoneira foi a seguinte: primeiro a brita de 19 mm, seguida da areia, água e aditivo impermeabilizante. Após 1 minuto de mistura dos insumos na betoneira, foi adicionado o aditivo plastificante à dosagem do concreto.

Após a mistura, foram moldados corpos de prova com dimensões de (10x20) cm. Após 24 horas de moldagem, os corpos de prova foram retirados das formas e submersos em recipientes com água para garantir as mesmas condições de temperatura e umidade aos 28 dias de cura. A Figura 26 mostra o processo de moldagem dos corpos de prova.

**Figura 26** – Moldagem de corpo de prova do concreto no reforço estrutural.

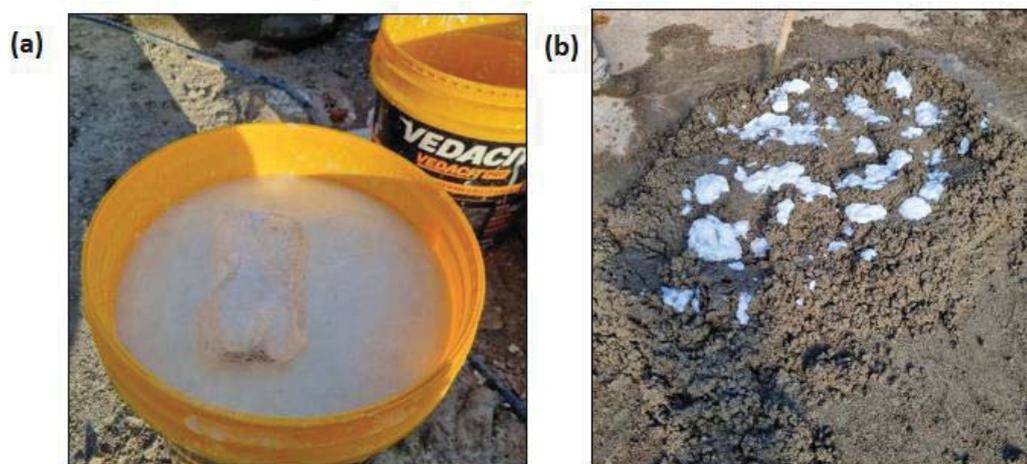


Fonte: Autora

#### 4.2.1 Controle tecnológico do concreto da camada de proteção mecânica do sistema de impermeabilização.

Na camada regularizadora, foi adicionado um aditivo impermeabilizante que apresentou característica de aditivo plastificante, tornando o concreto mais fluido e capaz de penetrar nos vazios na laje existente. Na Figura 27(a), é possível ver o aditivo impermeabilizante, enquanto na Figura 27(b), o aditivo está sendo inserido ao concreto em estado fresco.

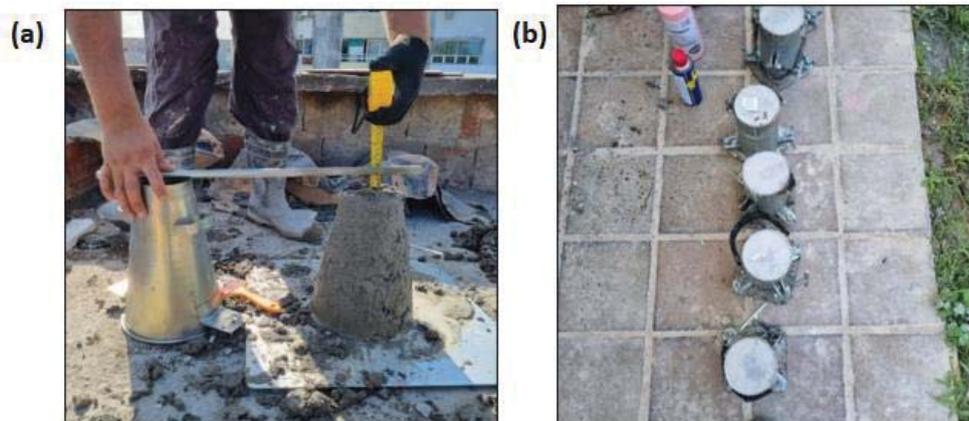
**Figura 27** – Aditivo impermeabilizante (a), aditivo sendo misturado na dosagem (b).



Fonte: Autora

Para o controle tecnológico, foi realizado o procedimento de slump-test para cada mistura em betoneira. Além disso, foram moldados seis corpos de prova de dimensões 10x20 cm com aditivo impermeabilizante e seis corpos de prova sem aditivo impermeabilizante para os ensaios de resistência à compressão. Na Figura 28(a), é mostrada a realização do ensaio de consistência do concreto com resultado 10 +/- 5 cm, enquanto na Figura 28(b), estão os corpos de prova após 24 horas de moldados. A Figura 29 mostra os corpos de prova no momento de ruptura após a realização do ensaio de resistência à compressão.

**Figura 28** – Realização do ensaio de consistência do concreto (a), corpos de prova moldados em estado fresco (b).



Fonte: Autora

**Figura 29** – Corpos de prova rompidos por teste de resistência mecânica à compressão



Fonte: Autora

#### 4.2.2 Desempenho dos concretos utilizados

Dentre os resultados de resistência à compressão para o concreto utilizado do reforço estrutural, obteve-se como valor médio de 33,1 MPa e desvio padrão de 1,89. Esse baixo valor de desvio padrão indica regularidade da produção dos corpos de prova, tanto na moldagem quanto na mistura em betoneira. O valor médio dos resultados dos corpos de prova está apresentado no Quadro 14, mostrando que o concreto utilizado no reforço estrutural atendeu aos requisitos de fck estimado de 25 MPa. Em **negrito**, está destacada a maior resistência registrada.

**Quadro 14** – Resistência à compressão dos corpos de prova.

<b>Corpos de prova</b>	<b>Resistência à compressão</b>
B1	35,3 MPa
B2	35,0 MPa
B3	30,5 MPa
B4	30,7 MPa
B5	33,9 MPa
B6	33,2 MPa
<b>Média</b>	<b>33,1 MPa</b>
Desvio padrão ( $\sigma$ )	1,89

Fonte: Autora

Para o concreto utilizado como camada de piso regularizadora, os resultados dos valores médios de resistência à compressão foram de 11,13 MPa, com um desvio padrão de 0,825 MPa. Essa menor resistência ocorreu devido à utilização do aditivo impermeabilizante na dosagem do concreto, além de uma relação água/cimento maior para garantir a plasticidade do material e permitir sua penetração em falhas da laje existente, minimizando os riscos de infiltração por água de chuvas. O Quadro 15 apresenta o resumo dos resultados, em negrito está registrada a maior resistência registrada.

**Quadro 15** – Resistência (MPa) dos corpos de prova.

<b>Corpos de prova</b>	<b>Resistência à compressão</b>
A1	11,5 MPa
A2	12,6 MPa
A3	11,4 MPa
A4	10,6 MPa
A5	10,2 MPa
A6	10,35 MPa
<b>Média</b>	<b>11,13 MPa</b>
Desvio padrão ( $\sigma$ )	0,825

Fonte: Autora

Para ampliar a área da laje na cobertura, foi utilizada o sistema construtivo de painel treliçado, composto por painéis treliçados duas treliças aplicadas sobre cada perfil, além da aplicação de Isopor EPS para execução da laje estrutural. Este sistema estrutural foi escolhido devido à facilidade de execução e à alta confiabilidade estrutural. O Quadro 16 apresenta a lista de benefícios obtidos ao utilizar as placas de Isopor EPS. O concreto foi utilizado na concretagem das treliças junto com as placas EPS para formar a laje composta. A Figura 30 mostra a composição do sistema de laje entre os painéis treliçados e o Isopor EPS. Na Figura 31 pode-se ver o detalhamento das armaduras construtivas no painel treliçado.

**Quadro 16** – Pontos positivos na utilização das placas de EPS

<b>Benefícios</b>	
1	Laje 60% mais leve
2	Menor consumo de aço e concreto
3	Economia na mão de obra, formas e escoramentos
4	Redução de prazo para entrega de obra
5	Facilidade no manuseio e transporte
6	Precisão milimétrica
7	Fator entre água e cimento mantém-se constante, proporcionando cura adequada do concreto e laje

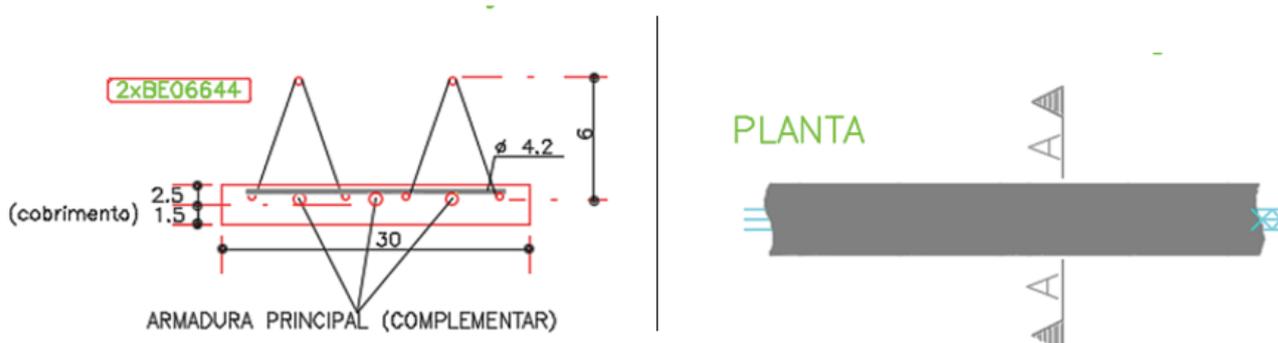
Fonte: Autora

**Figura 30** – Laje em painel treliçado com lajota para construção em EPS.



Fonte: Autora

**Figura 31** – Detalhamento do corte A-A do painel treliçado reforçado.



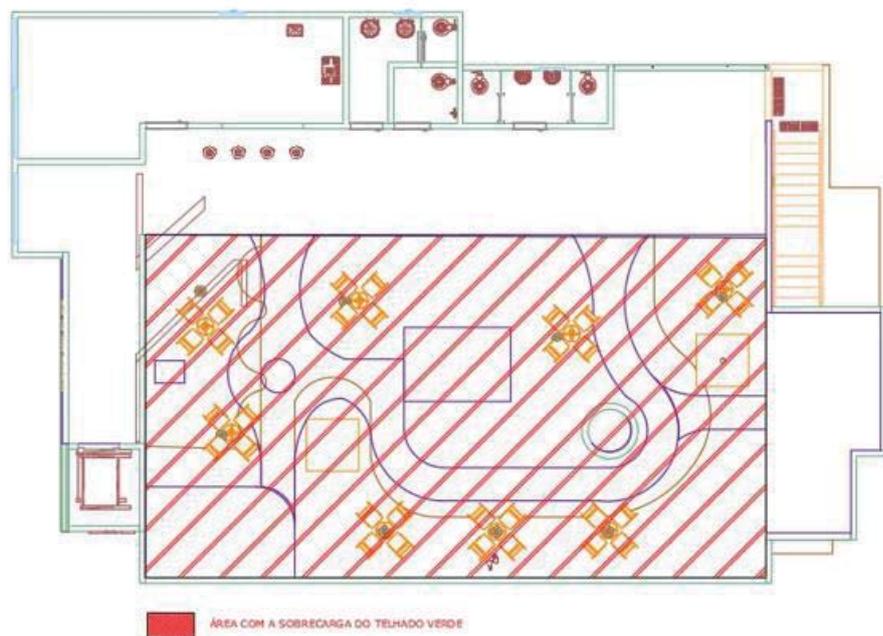
Fonte: Autora

As modificações estruturais em andamento, incluindo a ampliação para dois novos pavimentos: 1º pavimento e a instalação de um telhado verde no *rooftop*, impõem novas sobrecargas à estrutura. A camada do piso regularizante impõe uma carga permanente de 0,163 tf/m<sup>2</sup>, enquanto o telhado verde adiciona uma carga permanente de 0,315 tf/m<sup>2</sup>. Esta camada representou 32,44% da sobrecarga total adicionada com a implementação do telhado verde. Considerando a carga permanente das seis camadas mais a carga acidental, a implementação do telhado verde gerou uma carga total de 0,971 tf/m<sup>2</sup>

A adição dos novos pavimentos aumenta a carga vertical sobre lajes, vigas, pilares e fundações, exigindo uma análise minuciosa para garantir que esses elementos possuam capacidade de suporte adequada. Além disso, o telhado verde, com sua composição específica de substrato, argila expandida, e outras camadas, precisa ser cuidadosamente considerada no cálculo das cargas e da integridade estrutural.

Portanto, é crucial avaliar a capacidade de carga atual da estrutura e fazer os ajustes necessários para suportar as novas demandas da ampliação e do telhado verde. Isso inclui mapear toda estrutura existente, verificar a resistência dos materiais, analisar as fundações em relação às novas cargas e avaliar a estabilidade global da edificação diante das novas condições de carregamento. A Figura 32 representa a área que será considerada a sobrecarga do telhado verde especificado.

**Figura 32** – Representação gráfica da área de sobrecarga do telhado verde.



Fonte: Autora

O Quadro 17 ilustra a espessura das camadas do telhado verde e detalha a carga permanente correspondente que cada camada impõe na estrutura. A Figura 33 exibe o percentual de relevância na carga adicional de cada camada que compõe telhado verde, fornecendo uma análise visual da contribuição de cada camada para o peso total adicional na edificação.

**Quadro 17** – Espessura das camadas do telhado verde, 41,4 cm x carga (tf/m<sup>2</sup>)

CARGA PERMANENTE	Espessura das camadas (cm)	Carga (tf/m <sup>2</sup> )	%
Piso regularizante - camada 01 (laje painel treliçado) Concreto 30 MPa	6,5	0,163	16,77 %
Piso regularizante - camada 02 (contrapiso)	8	0,152	15,64 %
Impermeabilização anti-raiz	0,3	0,004	0,41 %
Proteção mecânica de impermeabilização	3	0,063	6,48%
Argila expandida	10	0,070	7,20 %
Substrato	10	0,200	20,57%
Tecido permeável – geotêntil- BIDIM	0,6	0,00013	0,01%
Gramma esmeralda	3	0,020	2,06%
<b>Espessura total das camadas →</b>	<b>41,4 cm</b>	<b>0,672</b>	-
Carga acidental (Tabela 10 da NBR 6120)		<b>0,3</b>	30,86 %
<b>TOTAL (CARGA PERMANENTE) →</b>		<b>0,972</b>	<b>100%</b>

Fonte: Autora

**Figura 33** – Representação em percentual da carga permanente.



Fonte: Autora

### 4.3 Piso regularizante

Após a remoção da cobertura com telhas de fibrocimento, ficou evidente um desnível em relação à laje de concreto existente, que possuía uma espessura de 60,0 cm, conforme ilustrado na Figura 34. Para solucionar esse desnível, optou-se por aplicar um piso de regularização em duas camadas. Inicialmente, foi aplicada uma camada de EPS (Camada 01), devido ao desnível ser de 60,0 cm, com a preocupação da sobrecarga se utilizou a camada de EPS para preencher o volume de espaço sem aumentar consideravelmente o sobrepeso e em seguida por uma segunda camada de concreto regularizante, com aditivo impermeabilizante (Camada 02).

**Figura 34** – Desnível da cobertura.



Fonte: Autora

### 4.3.1 Primeira camada de EPS - Poliestireno Expandido

Para superar o desnível na cobertura sem adicionar um peso excessivo no sistema de laje com reforço estrutural, foi adotado um método que utiliza placas de EPS (Poliestireno Expandido) com dimensões de 1.000 x 330 x 65 mm. Estas placas foram combinadas com as armaduras construtivas, posicionadas de maneira semelhante a uma laje de painel treliçado, como ilustrado na Figura 35.

**Figura 35** – 1ª Camada com placas de EPS (1.000 x 330 x 65 mm).



Fonte: Autora

A escolha de utilizar de placas de EPS na primeira camada regularizadora foi motivada por várias razões. Primeiramente, o EPS é conhecido por sua leveza, o que se mostrou vantajoso ao considerar o peso total da implementação do telhado verde sobre a laje existente. Além disso, o isolamento térmico oferecido pelo EPS foi um fator relevante, pois tem o potencial de impactar positivamente o consumo de energia elétrica ao longo da vida útil da edificação.

A decisão de utilizar placas de EPS foi baseada na expectativa de aprimorar o desempenho térmico da cobertura no isolamento da edificação. Isso é particularmente relevante, uma vez que o momento de maior incidência de calor, proveniente da luz solar, ocorre geralmente entre as 12:00 horas e 14:00 horas. Logo após o posicionamento das armaduras construtivas entre os blocos de EPS, procedeu-se à concretagem das armaduras entre os blocos, conforme ilustrado na Figura 36(a). Em seguida, foi aplicada uma tela de aço do tipo CA 60, com um espaçamento de 10 cm e uma bitola de 5.0 Ø mm, sobre o EPS como ilustra na Figura 36(b).

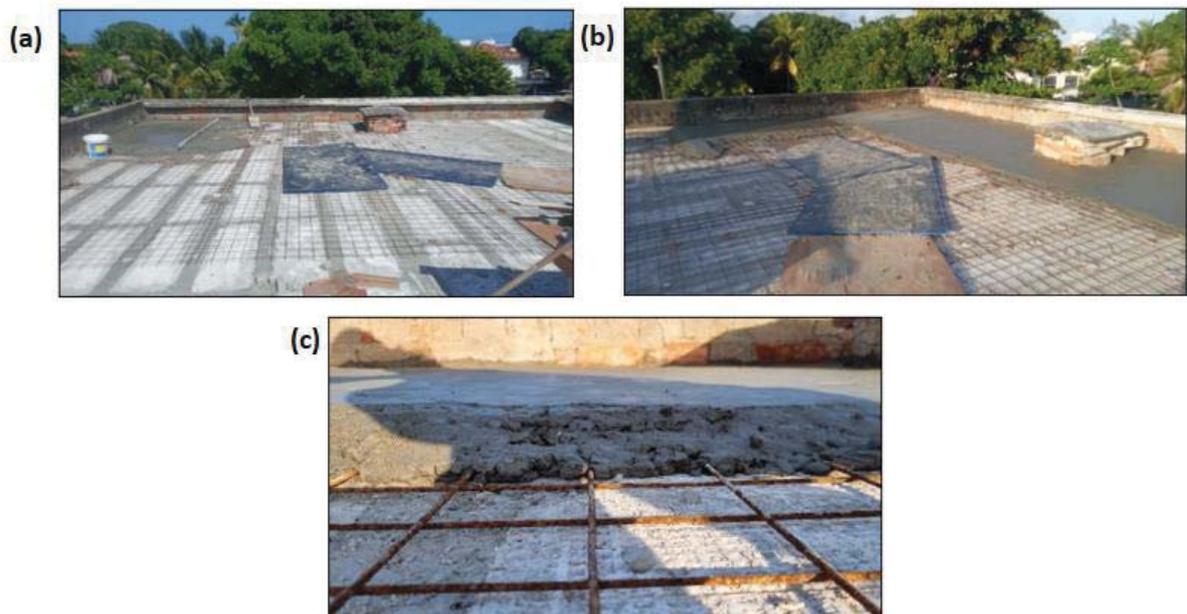
**Figura 36** – Preenchimento de desnível com placas de EPS (a), malha de reforço (b).



Fonte: Autora

Posteriormente, foi realizada a aplicação da segunda camada regularizante. Antes da execução da camada de concreto, inseriram-se as malhas de reforço, como demonstrado nas Figuras 37 (a), (b) e (c).

**Figura 37** – Execução da regularização do piso com devidos caimentos sobre malha de reforço (a), (b) e (c).



Fonte: Autora

Para a realização do concreto utilizado na laje, foram feitas misturas na betoneira com capacidade de 150 litros. As proporções dos insumos foram de 1:1,5:2 em volume, com uma relação água-cimento de 0,50 e adição de 500 ml de aditivo impermeabilizante. As quantidades em volume, conforme apresentadas no Quadro 18, foram convertidas para quantidades em peso e aplicadas em cada ciclo de concretagem na betoneira.

**Quadro 18** – Dosagem do concreto do piso regularizante com aditivo impermeabilizante.

Cimento CP II Z 32 RS (Kg)	Brita 19 mm (Kg)	Areia Grossa (Kg)	Água (ml)	Aditivo Impermeabilizante (ml)
25 Kg	37,5 Kg	50 Kg	500ml	500ml

Fonte: Autora

Adicionalmente, outro ponto a favor do EPS é sua versatilidade, que se traduz em boa capacidade de adesão a materiais cimentícios e resistência mecânica adequada. Essas propriedades tornaram o EPS uma escolha acertada para o sistema de nivelamento do piso. Além disso, o material demonstra boa resistência à presença de possíveis vazamentos e contribui para um desempenho satisfatório em termos de isolamento acústico.

#### 4.3.2 Camada regularizadora (contrapiso)

Essa camada de regularização tem como objetivo principal garantir o caimento da água da chuva para o sistema de drenagem do telhado verde. Esse sistema de drenagem é composto por uma calha que direciona a água para uma tubulação de PVC com diâmetro de 150 mm, conforme ilustrado na Figura 38. Essa tubulação coleta todas as águas pluviais e as encaminha para um reservatório inferior, onde são reutilizadas na edificação. Isso inclui a irrigação da camada vegetal, das plantas existentes na edificação e até mesmo para descargas, contribuindo para cada ciclo sustentável sem gerar custos adicionais para o empreendimento.

**Figura 38** – Sistema de captação de águas pluviais.

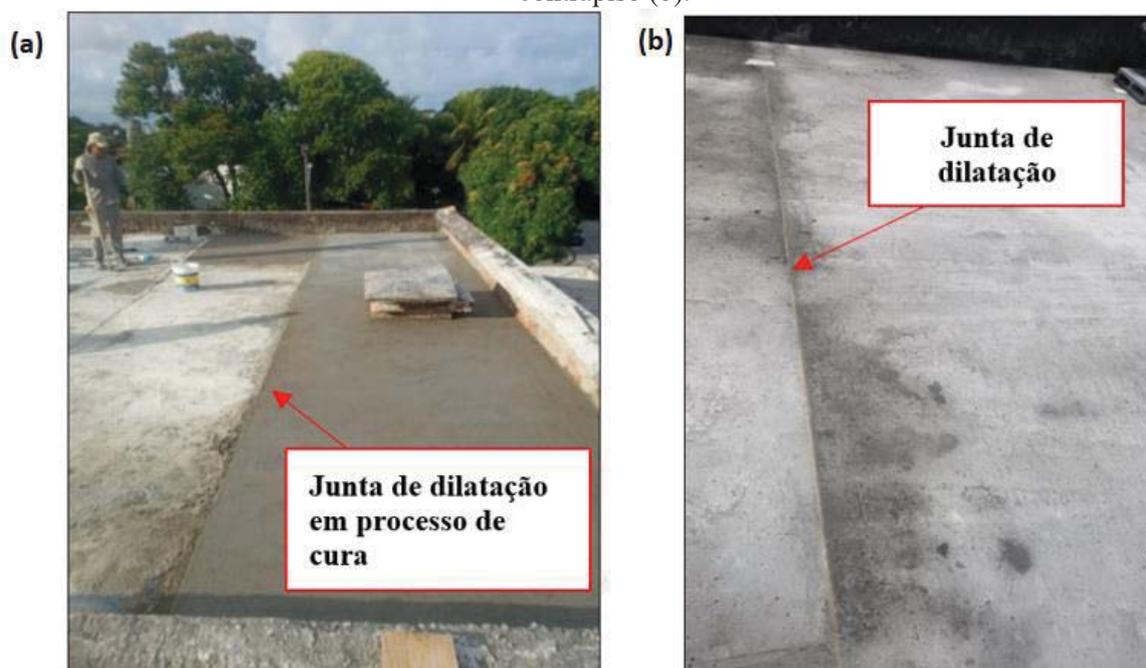
Fonte: Autora

Para garantir o nivelamento adequado para a aplicação do sistema de drenagem, foi realizado um controle rigoroso utilizando uma mangueira de nível, auxiliada por trena a laser. Após verificação das cotas, foi aplicada uma camada de contrapiso composta por cimento Portland CII Z 32 e areia grossa na proporção 1:4 (cimento:areia). A espessura dessa camada de contrapiso variou entre 5 e 15 cm.

Durante a execução do contrapiso, foi inserida uma junta de dilatação de 27x3x2000 mm, em cor cinza. Essa junta de dilatação foi crucial para evitar riscos de fissuras à medida que o contrapiso passasse do estado fresco para o endurecido. Essa camada de regularização adicionou uma carga permanente de 0,152 tf/m<sup>2</sup> sobre a estrutura existente. O tempo de cura de cada uma das duas camadas seguiu as recomendações da NBR 6118 (ABNT,2014) que estabelece um prazo de 28 dias.

A Figura 39(a) ilustra a execução da primeira camada de contrapiso, enquanto a Figura 39(b) apresenta o mesmo trecho após 28 dias de cura, com as juntas de dilatação devidamente aplicadas a cada 2 metros. A Figura 40 mostra a conclusão do piso regularizado.

**Figura 39** – Junta de dilatação do contrapiso em processo de cura (a) / Junta de dilatação do contrapiso (b).



Fonte: Autora

**Figura 40** – Contrapiso da laje, com os caimentos adequados para funcionamento do sistema de drenagem, executado



Fonte: Autora

#### **4.4 Sistema de impermeabilização – Anti raiz**

Para a execução do sistema de impermeabilização, foi aplicado sobre a segunda camada de regularização uma camada de prime como pode-se observar na Figura 41. Essa aplicação foi realizada com o objetivo de melhorar a aderência da manta asfáltica anti raiz, que foi aplicada em seguida conforme apresentado na Figura 42. A aplicação de tinta asfáltica é fundamental para garantir melhor aderência da manta asfáltica quando aquecida, proporcionando maior uniformização e penetração em possíveis falhas da superfície aplicada. Esse sistema de impermeabilização anti raiz gerou uma sobrecarga na estrutura de carga permanente na ordem de  $0,004 \text{ tf/m}^2$ , demonstrando que seu impacto no sobrepeso da estrutura existente é insignificante.

**Figura 41** – Execução da aplicação da camada de prime.



Fonte: Autora

**Figura 42** – Aplicação de manta asfáltica Anti Raiz



Fonte: Autora

Após a aplicação da manta asfáltica, foi realizado um teste de estanqueidade para verificar a integridade do processo de impermeabilização. Neste teste, foram feitas barreiras, para facilitar a execução. Em seguida, uma camada de água foi aplicada sobre toda área da laje impermeabilizada, utilizando de mangueira, e permaneceu por 48 horas para garantir a estanqueidade. A Figura 43 mostra a realização do teste de estanqueidade.

**Figura 43** – Teste de estanqueidade do sistema de impermeabilização.



Fonte: Autora

#### 4.4.1 – Proteção mecânica do sistema de impermeabilização anti raiz

Após realização da camada de impermeabilização, foi aplicado uma proteção mecânica sobre a manta asfáltica com a finalidade de proteção do sistema. A camada de proteção mecânica foi feita com a mesma dosagem de contrapiso da camada utilizada abaixo da manta asfáltica. A Figura 44 mostra a camada de proteção mecânica aplicada sobre o sistema de impermeabilização, bem como aplicação de blocos de concreto celular no passeio utilizado no layout do *rooftop*. A Figura 45 mostra o layout da área de passeio finalizada, onde foi utilizado os blocos de concreto celular.

**Figura 44** – Proteção mecânica aplicado sobre o sistema de impermeabilização, com instalação de bloco de concreto celular no layout de passeio da cobertura.



Fonte: Autora

**Figura 45** – Layout da área de passeio em bloco de concreto celular.



Fonte: Autora

## 4.5 – Sistema de drenagem

### 4.5.1 - Camada de argila expandida

Após a aplicação dos caminhos de passeios, foi executado a camada do sistema de drenagem que foi realizada com uma camada de argila expandida, como pode-se ver na Figura 46, foi aplicada a camada com 10 cm de espessura. O Quadro 19 mostra a quantidade utilizada em toda a área da cobertura e os tipos de argilas utilizadas com dois tipos de granulometria, na Figura 47 presente a granulometria. Essa camada de argila expandida gerou uma sobrecarga de carga permanente na estrutura na ordem de 0,070 tf/m<sup>2</sup>.

**Figura 46** – Aplicação de argila expandida



Fonte: Autora

**Quadro 19** – Especificação dos tipos de argila expandida utilizada

Descrição	Unid.	Quant.
ARGILA EXPANDIDA TIPO 3222 SACO 50 LITROS	SC	160
ARGILA EXPANDIDA TIPO 2215 SACO 50 LITROS	UN	40

Fonte: Autora

**Figura 47** – Representação da granulometria da argila expandida do tipo 3222 e do tipo 2215

Fonte: Fabricante,2024.

De acordo com a especificação do fabricante a argila expandida é produzida de 1200°C, o que torna o material altamente resistente a grandes temperaturas, se que ocorra degradação, a argila expandida, solta e sem aditivos, reduz em até 5 °C a temperatura interna do ambiente, proporcionando maior conforto térmico. O Quadro 20 mostra os benefícios da argila expandida para otimização do conforto térmico em cobertura de edificações.

**Quadro 20** – Benefícios da argila expandida.

1	Isolante térmico e acústico
2	Proteção mecânica da impermeabilização e da laje
3	não sobrecarrega a estrutura
4	Durável
5	Envolvimento das instalações elétricas e hidráulicas
6	Fácil drenagem das águas pluviais

Fonte: Fabricante,2024

#### 4.5.2 – Camada geotêxtil Bidim

A camada geotêxtil atuou na função filtragem e de separação, e ficou entre a camada do sistema de drenagem, a camada de argila e expandida, do tipo 3222 e do tipo 2155 e o substrato. De acordo com o fabricante o tempo de vida de serviço deste material que são aprovados no

controle de qualidade do fabricante é de até 25 anos. É esperado que a água possa fluir livremente através do geotêxtil, de modo que a permeabilidade seja crescente na direção do fluxo. Na Figura 48 é possível visualizar o comprimento da bobina é de 100 metros com 2,30 de largura, totalizando uma área de 230 m<sup>2</sup>. Por conta da largura de 2,30m, foi necessário executar emendas de sobreposição simples de 30 a 40cm.

**Figura 48** – Manta geotêxtil Bidim 100m x 2,30m, aplicado sobre a camada da argila expandida.



Fonte: Autora

## 4.6 – Camada vegetal

### 4.6.1 – Substrato

O substrato da camada vegetal desempenha um papel crucial na sustentação das plantas e na eficácia do sistema como um todo. Na camada foi executado uma espessura de 10 cm, composta por uma mistura de barro de jardim, areia média e adubo, cada componente contribui de maneira única para o crescimento saudável da camada vegetal e para as propriedades de drenagem e retenção de água do telhado verde. O substrato da pesquisa tem uma espessura de 10 cm e é composto por: barro de jardim (1); areia média (2) e adubo (3), nas proporções 1:1:0,5, conforme o Quadro 21.

**Quadro 21** – Proporção do substrato da camada vegetal.

Barro de Jardim (Kg)	Áreia média (Kg)	Adubo ((Kg)
1 Kg	1 Kg	0,5 Kg

Fonte: Autora

O barro de jardim é um substrato aerado, permitindo a circulação de ar nas raízes das plantas, o que é fundamental para o desenvolvimento radicular saudável e para a retenção de umidade. A areia média é empregada para melhorar a estrutura do substrato, facilitando a drenagem adequada e prevenindo o acúmulo excessivo de água, o que poderia ser prejudicial às plantas. Além disso, a granulometria da areia média contribui para manter a estabilidade do substrato. O adubo desempenha um papel vital ao fornecer nutrientes essenciais à camada vegetal, promovendo não apenas o crescimento das plantas, mas também melhorando a estrutura do solo e estimulando a atividade microbiana benéfica. A Figura 49 apresenta um registro fotográfico da aplicação da camada de substrato.

**Figura 49** – Registros da aplicação da camada do substrato.

Fonte: Autora

#### 4.6.2 – Grama

A grama esmeralda, cuidadosamente selecionada e aplicada na camada final do telhado verde, está registrada na Figura 50. Com três centímetros de espessura, ela representa uma carga de 0,020 tf/m<sup>2</sup> sobre a estrutura existente.

**Figura 50** – Registros da grama esmeralda aplicada.



Fonte: Autora

Na Figura 51, é possível visualizar o sistema de irrigação da camada vegetal em funcionamento, evidenciando a eficiência do sistema de distribuição de água, essencial para a manutenção da saúde da vegetação. Este sistema foi projetado para garantir a irrigação uniforme, promovendo um crescimento sustentável e vigoroso da grama esmeralda.

**Figura 51** – Sistema de irrigação da camada vegetal.



Fonte: Autora

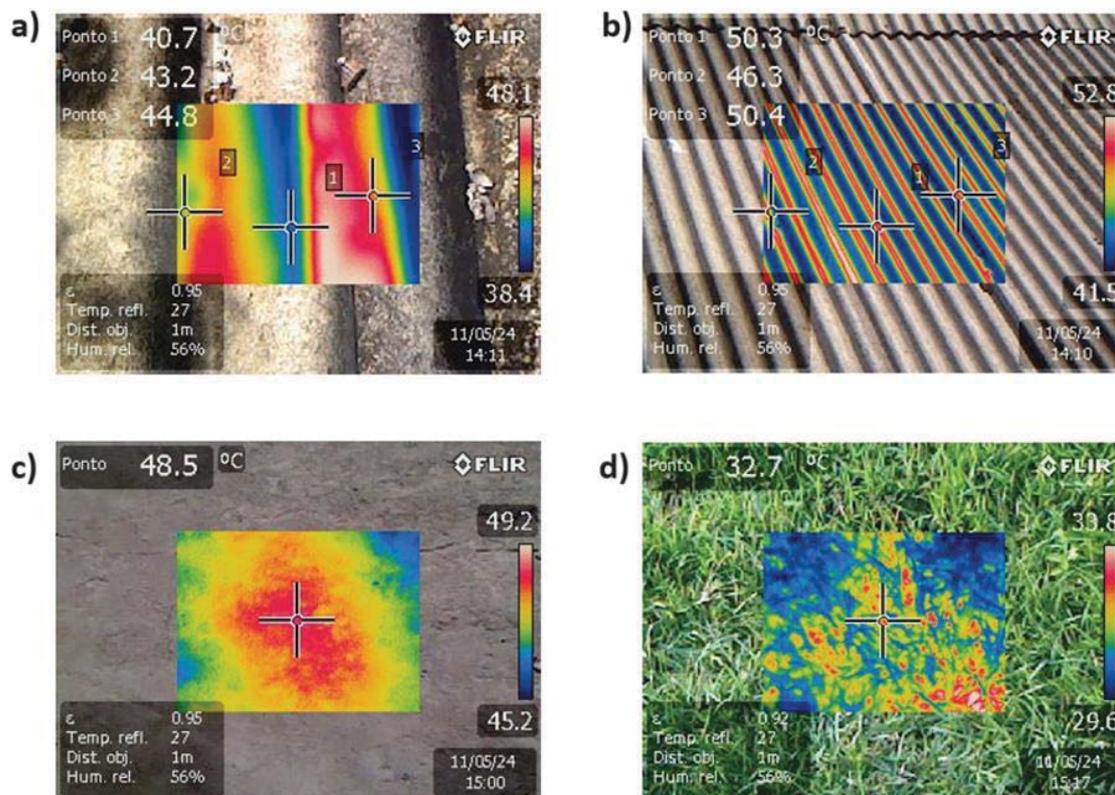
#### **4.7 Termografia infravermelha de materiais da cobertura**

Para entender do comportamento térmico da proposta do telhado verde, foi necessário estabelecer um parâmetro inicial de comparação das temperaturas. Foi correlacionado o desempenho térmico de três tipos de cobertas para edificações mais comuns disponíveis no mercado local de baixo custo, em um horário específico. A data escolhida foi 11/05/2024, entre as 13:00 e 16:00, sendo o horário o período de maior incidência solar. Assim, foi realizada a comparação desempenho térmico nas seguintes condições: telhado com telhas de fibrocimento; cobertura de laje de concreto; telhado verde.

#### **4.8 Capacidade de absorção térmica dos materiais utilizados nas cobertas**

Para entendimento do comportamento térmico, realizou-se o ensaio de termografia infravermelha nas seguintes situações: (a) telha de fibrocimento com ondulação maior (2,44 x 1,10) com 6 mm de espessura, (b) telha de fibrocimento com ondulação menor (2,44 x 0,50) com 5 mm de espessura, (c) laje de concreto, e (d) camada vegetal. A Figura 52 mostra os registros das temperaturas aferidas dos diferentes tipos de cobertas, exibindo as faixas de calor presentes em cada situação. Observou-se que, além da cada vegetal refletir as menores temperaturas, a telha de fibrocimento apresenta uma condição peculiar devido à geometria das telhas, onde a ondulação dispersa o calor na cobertura de telha de fibrocimento como se fossem bastões de calor. A camada vegetal, devido às folhas da grama esmeralda demonstrar ser bastante eficaz na regulação térmica, atuando com uma barreira significativa à passagem de calor. Os termogramas foram registrados a uma distância de 1 metro do equipamento, com umidade relativa de 56% e emissividade de 0,95 para o concreto e a telha de fibrocimento, e 0,92 para a camada vegetal.

**Figura 52** – (a) telha de fibrocimento – 244 x 110 (e=6mm), (b) telha de fibrocimento 244 x 50 (e=4mm), (c) laje de concreto e (d) camada vegetal.



Fonte: Autora

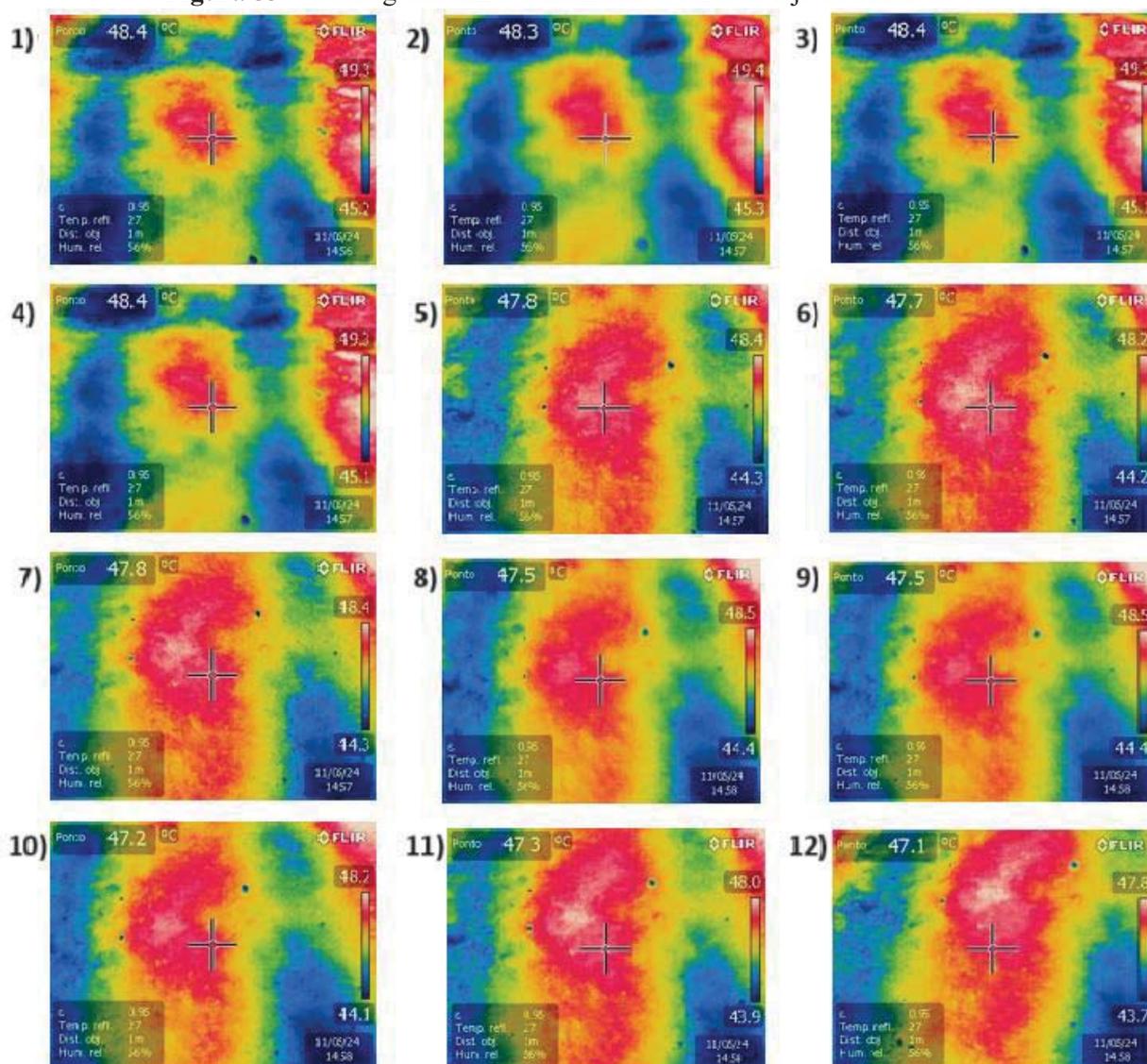
#### 4.8.1 Capacidade de absorção térmica da laje de concreto

Para efeitos de comparação, foram realizadas medições de temperatura em termogramas para avaliar os materiais utilizados na cobertura da edificação. Para início das aferições foi necessário primeiramente, determinar os parâmetros da condição de distância do objeto, a umidade relativa e a emissividade que varia de acordo com cada tipo de material. Os termogramas foram registrados a uma distância de 1 metro do equipamento, com umidade relativa de 56% e emissividade de 0,95 para a laje de concreto. As medições ocorreram no dia 11 de maio de 2024, entre 14h00 e 15h00, período propício devido à intensa irradiação solar.

Para cada condições, foram obtidos 12 termogramas no mesmo intervalo de horário. A Figura 53 mostra os registros de temperatura da cobertura da laje de concreto. Nos termogramas da laje de concreto, observa-se um padrão térmico com maior incidência de calor destacado pela cor vermelha, indicando maior absorção de calor, especialmente nas áreas com isopor na laje. As

nervuras de aço na laje apresentam uma coloração mais azulada, sugerindo menor retenção de calor.

**Figura 53** – Termografia infravermelha da cobertura de laje de concreto.



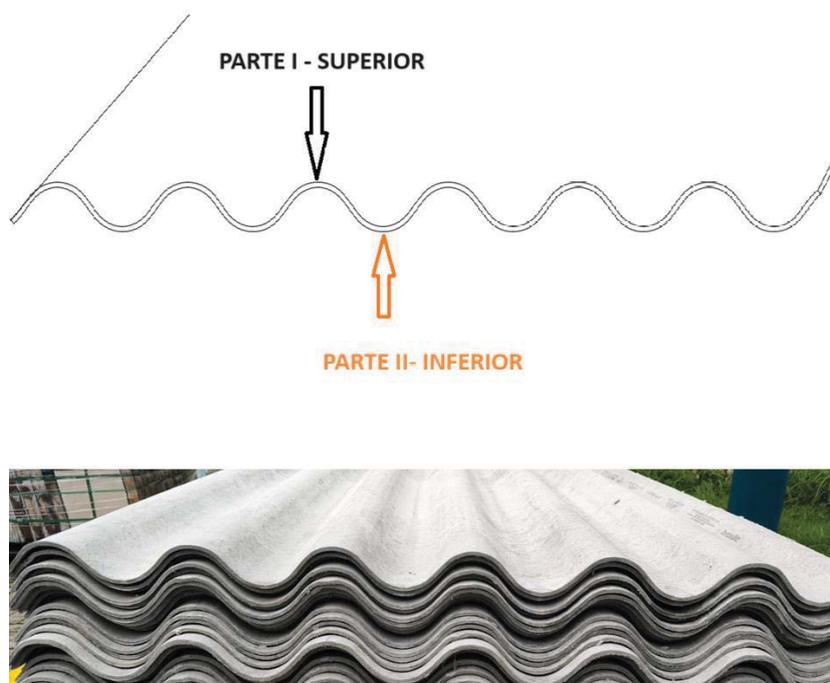
Fonte: Autora

#### 4.8.2 Capacidade de absorção térmica da telha de fibrocimento

Foram realizadas 12 medições termográficas para telhas de fibrocimento de dois tamanhos diferentes: 2,44x1,10 m com 6 mm de espessura, e 2,44x50 m com 4 mm de espessura. Observou-se em ambas as situações um fenômeno onde o calor não se propaga de maneira contínua, comportando-se como bastões de calor devido à ondulação da geometria das telhas, o que influencia na absorção de calor pela luz solar. A Figura 54 apresenta um desenho

esquemático para diferenciar as áreas de afeições de temperatura da telha de fibrocimento a parte I – superior e a parte II – inferior.

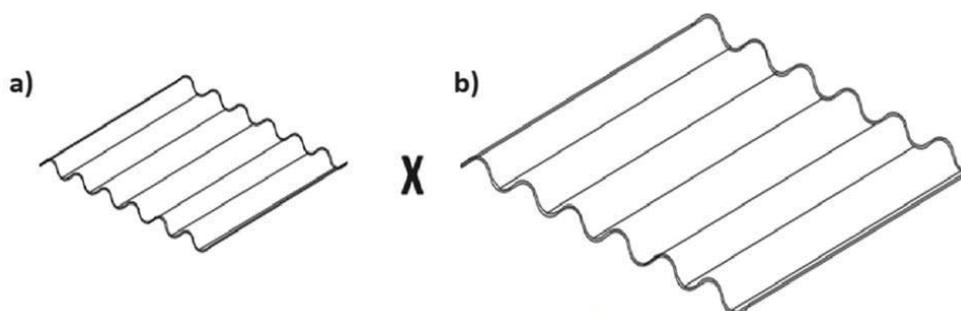
**Figura 54** – Desenho esquemático para diferenciar as áreas de afeições de temperatura da telha de fibrocimento - Parte I – superior / Parte II – inferior.



Fonte: Autora

A Figura 55 mostra um desenho esquemático dos dois tipos de telha de fibrocimento que compunham parte da cobertura da edificação antes da realização da obra de *retrofit* e implementação do telhado verde: a telha de fibrocimento com dimensões de 2,44 x 0,5 m e espessura de 4 mm, e a telha de fibrocimento de 2,44 x 1,10 m e espessura de 6 mm.

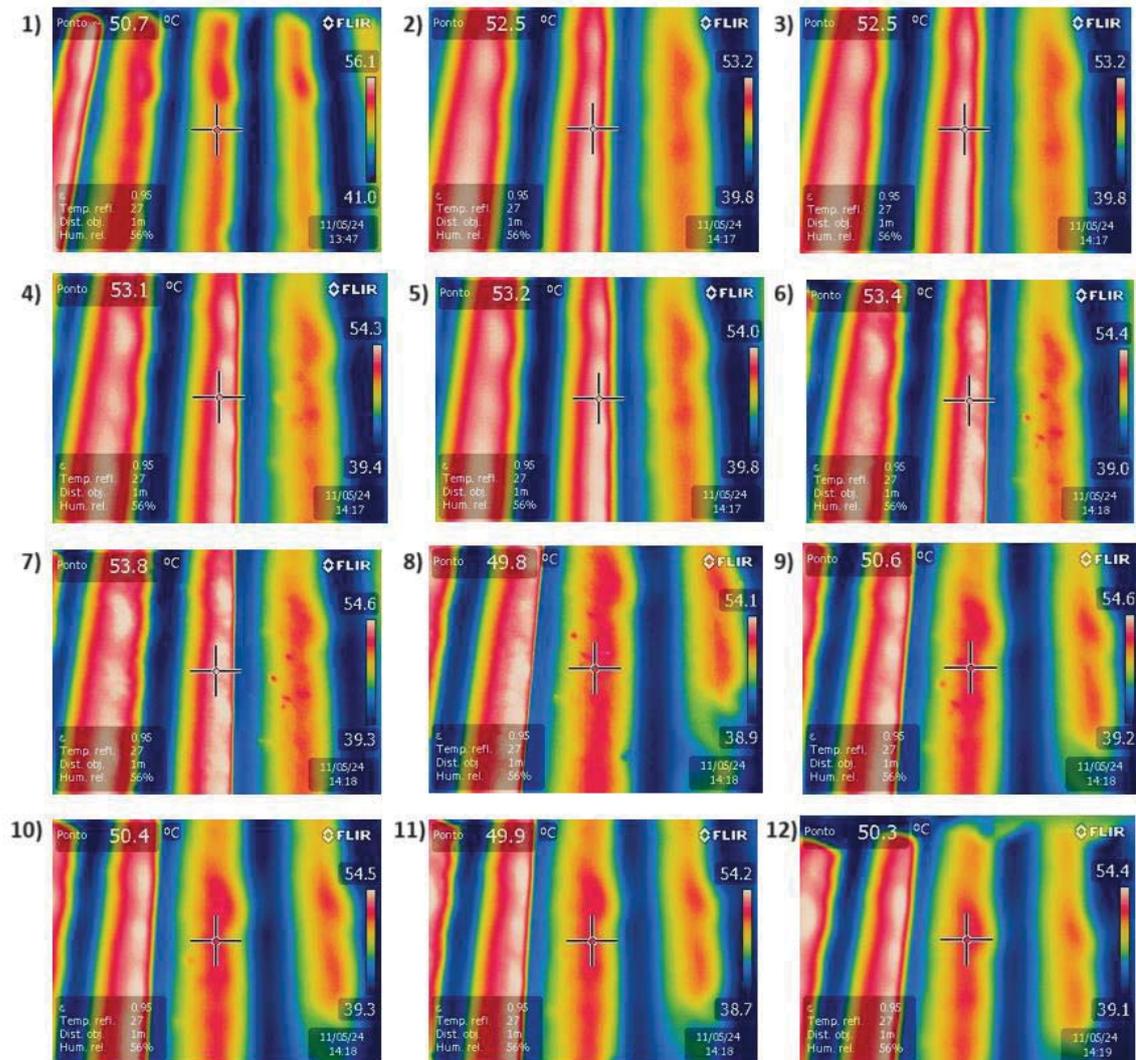
**Figura 55** – a) telha de fibrocimento 244 x 50cm (e=4mm), b) telha de fibrocimento 244x 110cm (e=6mm).



Fonte: Autora

A Figura 56 apresenta o registro de 12 termogramas com aferição de temperatura na elevação da ondulação, na parte I (superior), da telha com medida de 244x110 cm e 6 mm de espessura

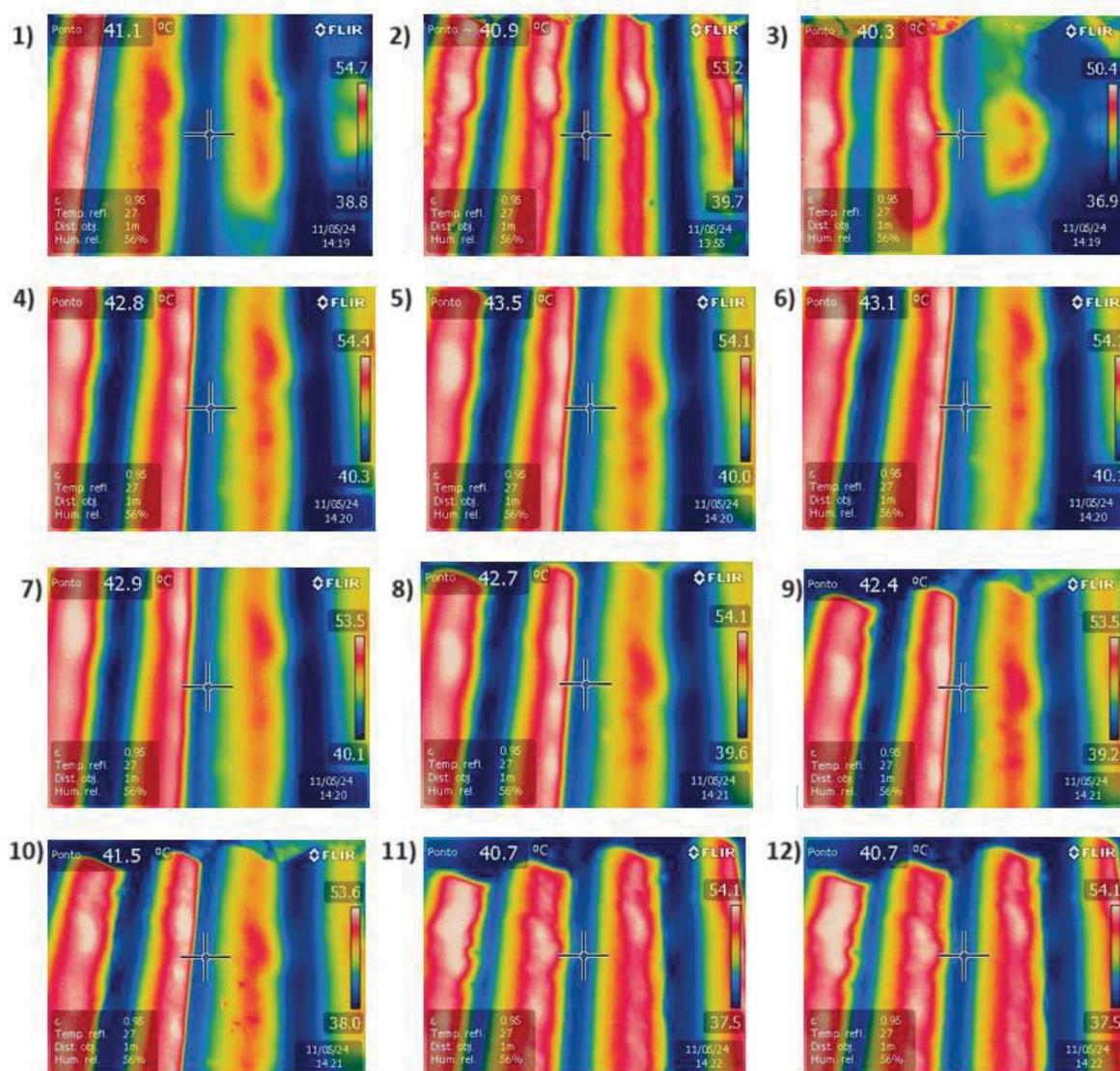
**Figura 56** – Termografia infravermelha da telha de fibrocimento de 244x110 cm (e=6mm) - Parte I.



Fonte: Autora

A Figura 57 apresenta o registro de 12 termogramas, que mostram a aferição de temperatura na ondulação, na parte II (inferior), da mesma telha, destacada a cor azul que evidencia que a geometria da forma influencia diretamente na propagação de calor quando a edificação é iluminada por luz solar ao longo do dia.

**Figura 57** – Termografia infravermelha da telha de fibrocimento de 244x110 cm ( $e=6$  mm) - Parte II.

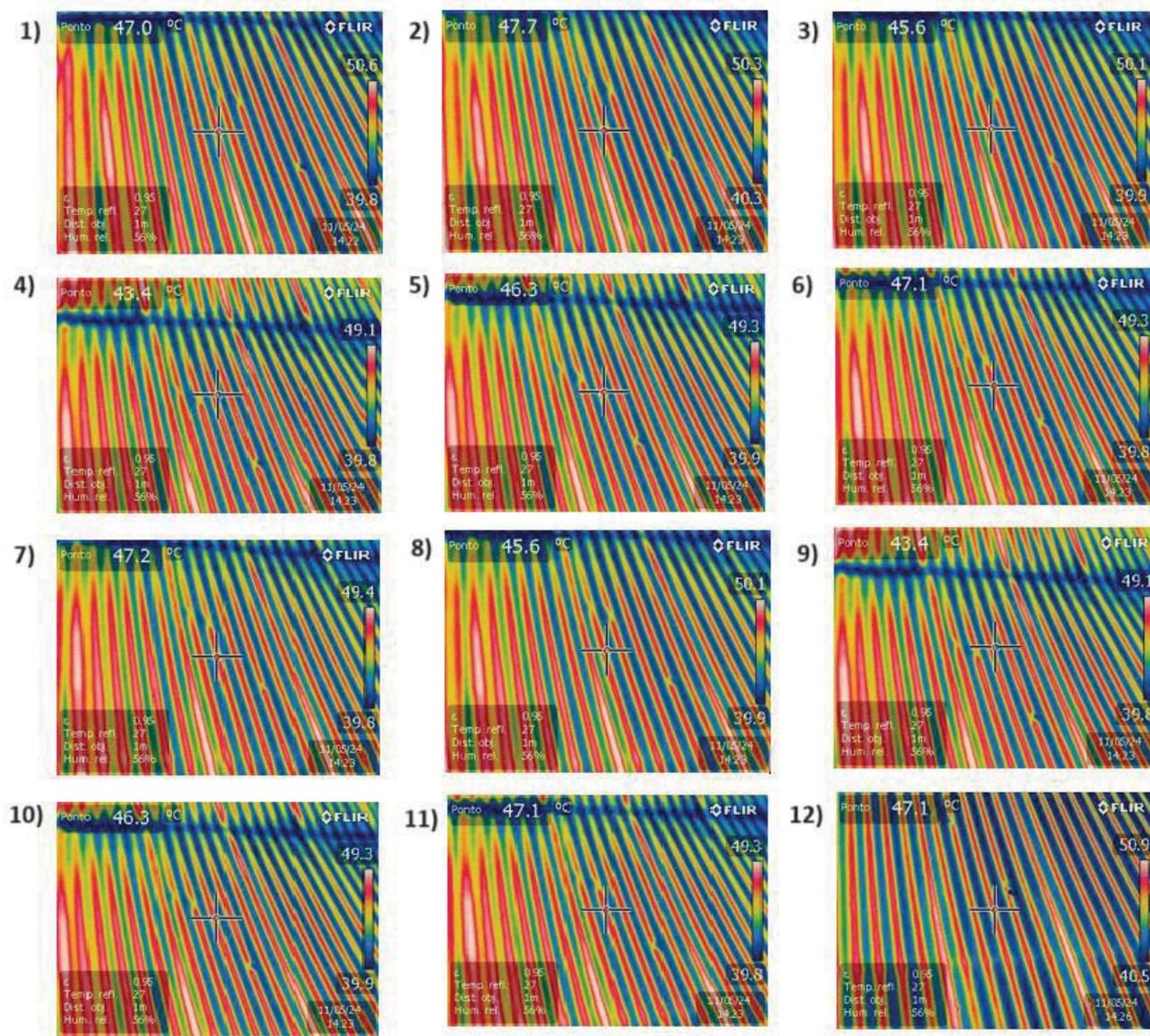


Fonte: Autora

Foi analisado também por termografia infravermelha telhas de fibrocimento com dimensões de 244 x50 cm e 4mm de espessura, onde foi observado que, mesmo tendo uma ondulação menor em comparação à telha de fibrocimento de dimensões 244 x110cm e 6mm de espessura, apresentam um aspecto de propagação de calor com maior irradiação quando aquecidas pela luz solar. As regiões mais quentes são indicadas pela cor vermelha, as áreas de temperatura intermediária são representadas pela cor amarela, e as áreas de menor temperatura aparecem em azul.

A Figura 58 mostra 12 termogramas nas telhas de fibrocimento com dimensões de 244x50 cm e 4mm de espessura, na parte superior da ondulação da telhas.

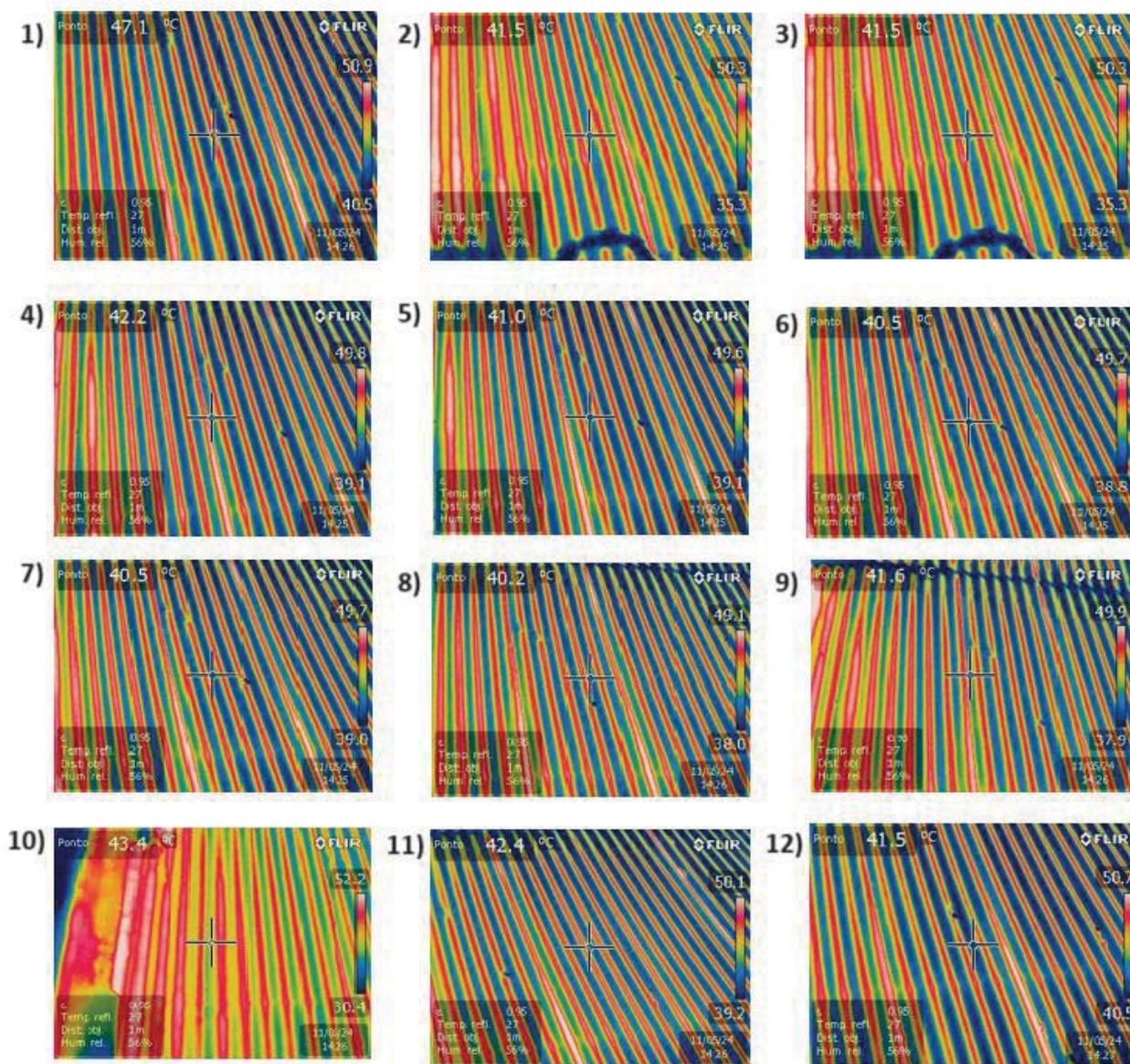
**Figura 58** – Termografia infravermelha da telha de fibrocimento de 244 x50 cm (e=4mm) – Parte I.



Fonte: Autora

A Figura 59 apresenta 12 termogramas com aferição de temperatura das telhas com dimensões de 244 x50 cm e 4mm de espessura na parte inferior da ondulação.

**Figura 59** – Termografia infravermelha da telha de fibrocimento de 244 x50 cm (e=4mm) – Parte II.

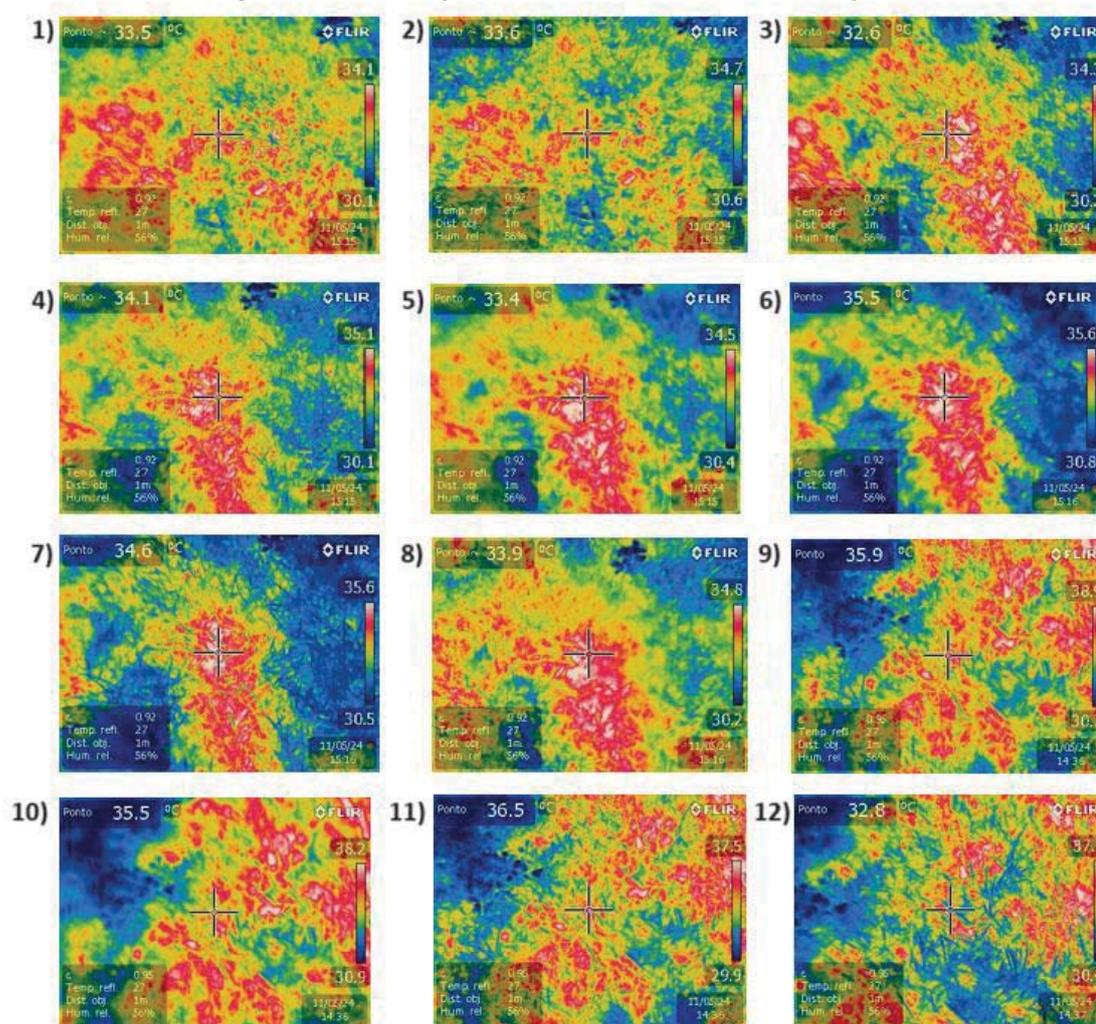


Fonte: Autora

### 4.8.3 Capacidade de absorção térmica da camada vegetal

Para a camada vegetal do telhado verde também foram realizadas 12 termogramas, conforme apresentado na Figura 60. Para realizar as aferições de temperatura da camada vegetal, inicialmente foi necessário configurar os parâmetros na câmera termográfica, como distância do objeto, que foi de 1,0 m, umidade relativa de 56% e emissividade de 0,92. Observou-se que, devido à geometria das folhas presentes na grama esmeralda, o calor se propaga de forma não uniforme quando iluminada pela luz solar, resultando nos menores valores de aferição de calor refratado nos 12 resultados obtidos.

**Figura 60** – Termografia infravermelha da camada vegetal.



Fonte: Autora

No Quadro 22 é possível realizar um comparativo das diferentes temperaturas aferidas nos diferentes tipos de cobertas. As temperaturas foram registradas por meio de termografia infravermelha, revelando temperatura mais amenas na camada vegetal, com uma média de 34,33°C, em comparação com a cobertura de laje de concreto, que apresentou uma média de 47,79 °C. Em seguida, foram analisados os valores médios da telha de fibrocimento com dimensões de 244x110 e 6 mm de espessura na parte superior da ondulação, registrando uma média de 51,64° C. A medição das temperaturas na parte inferior da ondulação das telhas de fibrocimento revelou temperaturas menores para ambos os tipos de telha fibrocimento, com média de 41,95 °C para a telha de fibrocimento 244x110 e 41,48 °C para telha de 244x50. Notou-se que as temperaturas médias das partes inferiores foram relativamente iguais para ambos os tipos de telha de fibrocimento. No entanto, as temperaturas médias, medidas na parte superior das telhas, foram mais altas, com médias respectivamente de 51,64°C e 46,15 °C. A diferença de temperatura entre as partes superior e inferior foi de 9,69 °C para a telha de 244 x110, enquanto para a telha de 244x50cm foi de 4,57 °C.

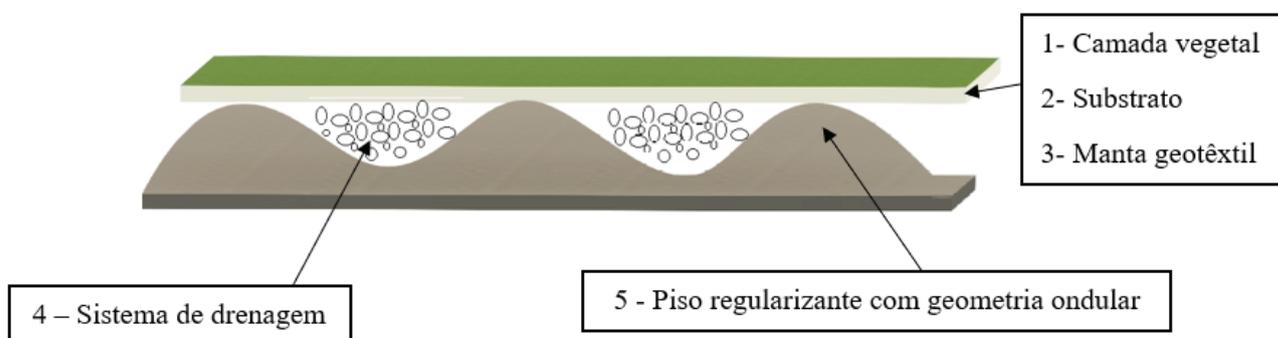
**Quadro 22** – Quadro comparativo de temperatura.

Aferições	Laje de Concreto (°C)	Camada vegetal (°C)	Telha de fibrocimento (°C)			
			244 x 110cm (espessura= 6mm)		244 x 50cm ( espessura = 4mm)	
			Parte I	Parte II	Parte I	Parte II
Aferição 1	48,4	33,5	50,7	41,5	47	42,5
Aferição 2	48,3	33,6	52,5	41,1	47,7	41,5
Aferição 3	48,4	32,6	53	42,7	45,6	41,7
Aferição 4	48,4	34,1	53,1	42,4	43,4	42,2
Aferição 5	47,8	33,4	53,2	41,5	46,3	41
Aferição 6	47,7	35,5	53,4	40,9	47,1	40,5
Aferição 7	47,8	34,6	53,8	40,7	47,2	40,5
Aferição 8	47,5	35,9	48,8	40,3	45,6	40,2
Aferição 9	47,5	33,9	50,6	42,8	43,4	41,6
Aferição 10	47,2	35,5	50,4	43,5	46,3	43,4
Aferição 11	47,3	36,5	49,9	43,1	47,1	42,4
Aferição 12	47,1	32,8	50,3	42,9	47,1	41,5
<b>Média</b>	<b>47,79</b>	<b>34,33</b>	<b>51,64</b>	<b>41,95</b>	<b>46,15</b>	<b>41,58</b>
<b>Desvio padrão</b>	<b>0,47</b>	<b>1,27</b>	<b>1,69</b>	<b>1,07</b>	<b>1,44</b>	<b>0,94</b>

Fonte: Autora

A Figura 61 mostra uma visualização gráfica de uma telhado verde com geometria ondular. Partindo do princípio de que a geometria ondular da telha de fibrocimento interfere significativamente no comportamento térmico, é razoável inferir que essa mesma geometria pode contribuir para a redução da temperatura quando aplicada em um telhado verde. Telhados verdes são conhecidos por proporcionar benefícios térmicos, como redução de calor absorvido pela estrutura subjacente devido à camada vegetal que atua como isolante natural. A combinação da geometria ondular das telhas de fibrocimento com a implementação de um telhado verde pode potencializar esses efeitos, criando um ambiente mais fresco e confortável sob o telhado, além de contribuir para eficiência energética do edifício.

**Figura 61** – Visualização gráfica da cobertura com forma geométrica ondular.

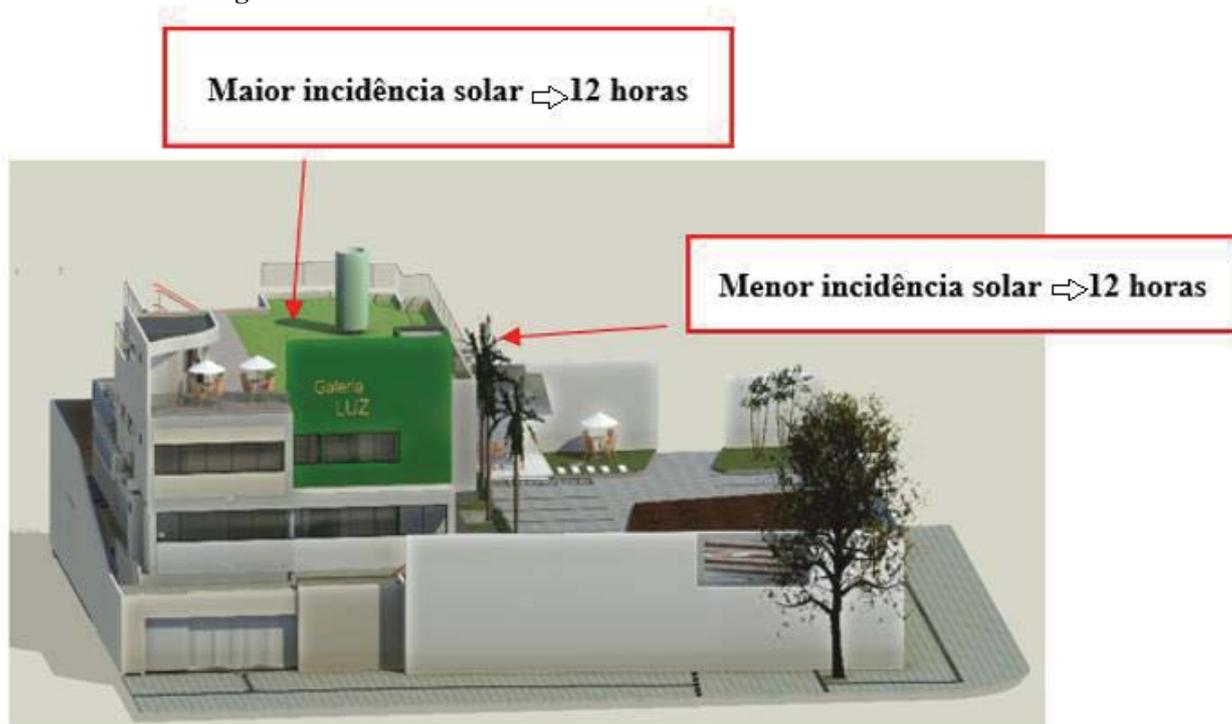


Fonte: Autora

#### 4.9 Fachada da edificação

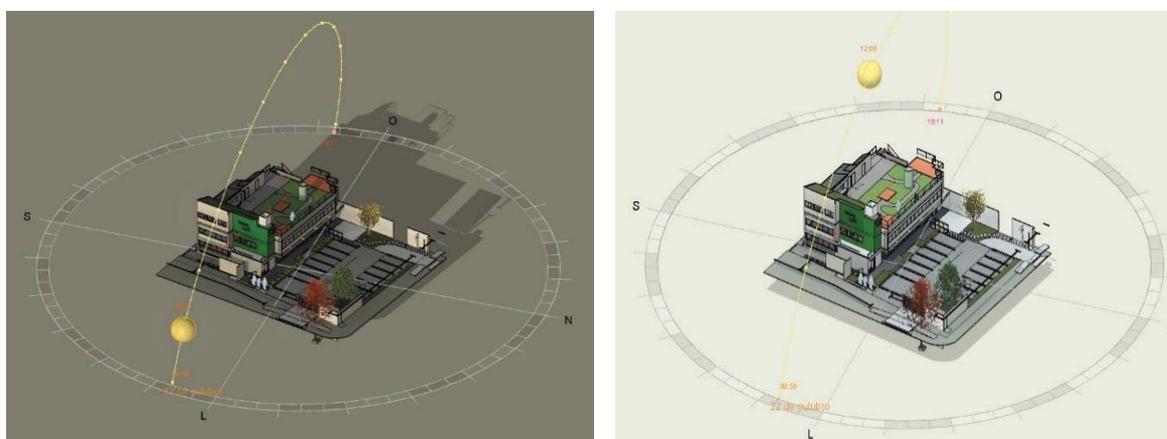
Para analisar o comportamento térmico da edificação, foram realizadas medições de temperaturas sob condições de umidade em torno de 45%, distância do objeto de 10 metros, utilizando termografia infravermelha. A fachada da edificação é composta por diversos materiais, incluindo esquadrias de alumínio, janelas de vidro, revestimento cerâmico e estrutura de concreto pintada com textura acrílica. A Figura 62 oferece uma representação em 3D dos pontos de maior e menor incidência solar, enquanto a Figura 63 uma simulação virtual do trajeto do sol sobre a edificação, realizada no software Revit.

**Figura 62** – Incidência de luz solar na fachada: 12:00 horas.



Fonte: Autora

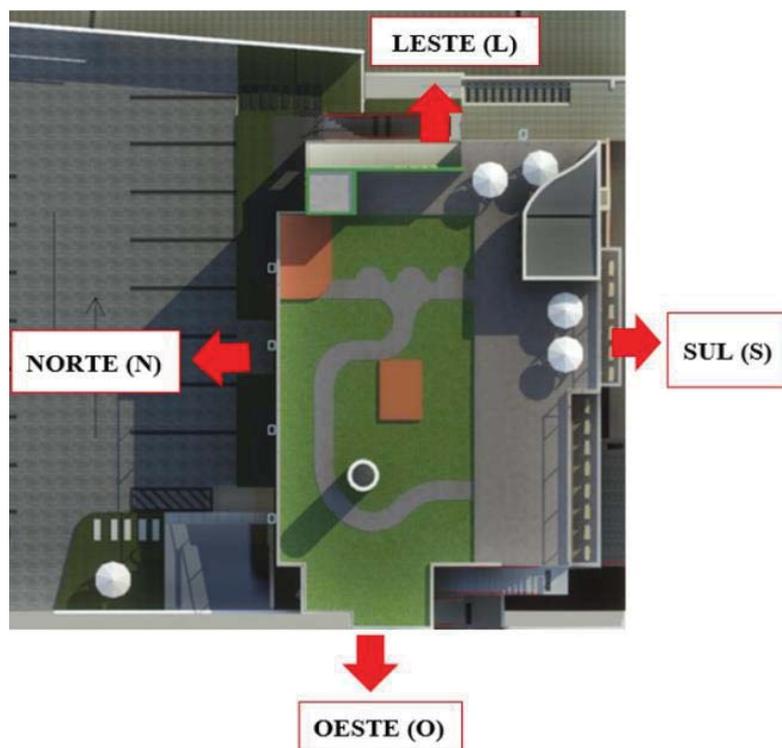
**Figura 63** – Simulação virtual do percurso solar sobre a edificação.



Fonte: Autora

Na Figura 64, é possível observar o posicionamento geográfico da edificação. No início do dia, a fachada sul recebe maior incidência de luz solar, até aproximadamente as 10h00 horas. Posteriormente, a cobertura passa a receber mais luz solar devido à movimentação do Sol. É importante destacar que essas condições de incidência solar variam ao longo do dia, dependendo da posição do sol.

**Figura 64** – Posicionamento geográfico da edificação.



Fonte: Autora

A fachada Norte da edificação possui uma composição que combina revestimento cerâmico, esquadrias de vidro e áreas com revestimento em tinta, conforme ilustrado na Figura 65, que apresenta registros da fachada norte em três diferentes ângulos.

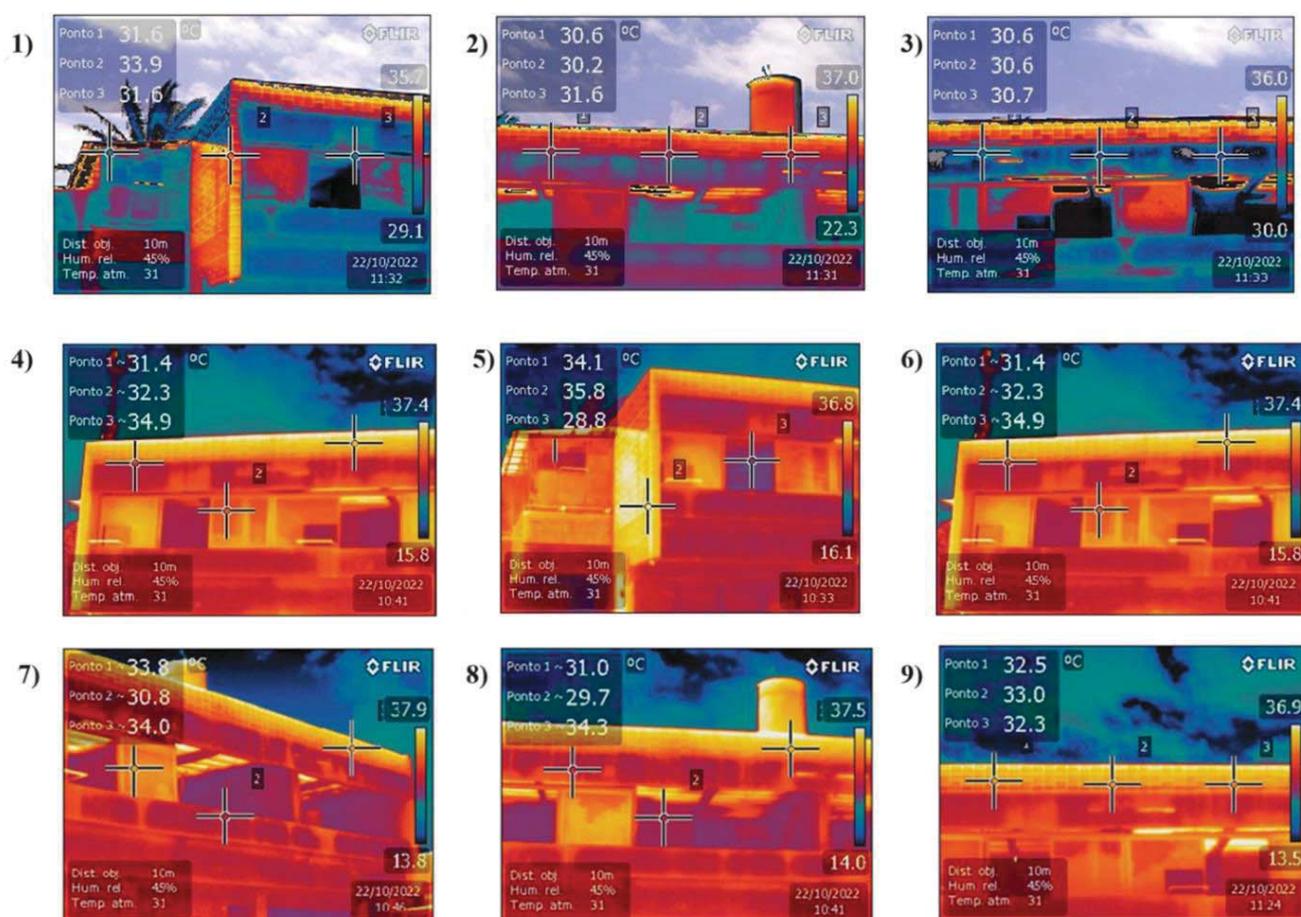
**Figura 65** – Registros da fachada Norte.



Fonte: Autora

Foram realizadas medições de temperatura por termografia infravermelha na fachada norte da edificação. Verificou-se que o revestimento cerâmico exibiu coloração amarelada e apresenta uma faixa de temperatura entre 30,2°C e 35,8°C. Na área envidraçada, as temperaturas variaram de 29,7°C a 30,6°C, com áreas tonalidade azul indicando menor absorção de calor solar. Esses resultados indicam que, apesar da heterogeneidade dos materiais, a fachada não registrou temperaturas superiores a 40°C durante as medições realizadas, conforme evidenciado na Figura 66.

**Figura 66 – Termografia infravermelha da fachada Norte**



Fonte: Autora

Conforme detalhado no Quadro 23, foram realizados 27 aferições com câmera termográfica, resultando em uma temperatura média de 32,14 °C e um desvio padrão de 1,8.

**Quadro 23** – Quadro de aferições de temperatura da fachada Norte (°C).

Aferição 1	31,6	Aferição 15	28,8
Aferição 2	33,9	Aferição 16	31,4
Aferição 3	31,6	Aferição 17	32,3
Aferição 4	30,6	Aferição 18	34,9
Aferição 5	30,2	Aferição 19	33,8
Aferição 6	31,6	Aferição 20	30,8
Aferição 7	30,6	Aferição 21	34,4
Aferição 8	30,6	Aferição 22	31,0
Aferição 9	30,7	Aferição 23	29,7
Aferição 10	31,4	Aferição 24	34,3
Aferição 11	32,3	Aferição 25	32,5
Aferição 12	34,9	Aferição 26	33,0
Aferição 13	34,1	Aferição 27	32,3
Aferição 14	35,8		
<b>Média</b>			<b>32,14</b>
<b>Desvio Padrão (<math>\sigma</math>)</b>			<b>1,8</b>

Fonte: Autora

## 4.10 Orçamento

### 4.10.1 Análise do custo da implantação do telhado verde

O orçamento total para a implementação do telhado verde na edificação já existente foi de R\$262.049,53 (duzentos e sessenta e dois mil, quarenta e nove reais e cinquenta e três centavos), incluindo o Benefício e Despesas Indiretas (BDI) de 25%, equivalente a R\$52.404,89. O valor do orçamento sem BDI totaliza R\$ 209.644,64. Os quantitativos foram levantados com base nos projetos executivos anteriormente elaborados, permitindo prever as dimensões do empreendimento e todas as etapas construtivas necessárias, onde o orçamento sintético se encontra no Apêndice 1.

Os valores unitários de cada item foram obtidos em bancos de dados específicos, refletindo a média dos preços praticada no mercado e proporcionando uma estimativa realista para a execução do projeto. Itens como o Projeto Executivo de Estrutura conforme padrões da contratante, incluindo as legalizações pertinentes (item 1.1), Laudo Técnico de peças estruturais (item 1.2), Crea-PE – ART para contrato de obra ou serviço com valores acima de R\$15.000,00 (item 4.1.1), Instalação para canteiro de obras (item 6.1.1), ADAP SINAP 7409/001 Placa de

obra em chapa de aço galvanizado (item 6.3.1) e Impermeabilização de superfície com manta asfáltica anti raiz, incluindo aplicação de primer asfáltico (item 9.2.1), tiveram seus custos estimados através de composições próprias, uma vez que não foram encontrados nos bancos de dados disponíveis.

No Quadro 24, são apresentadas as descrições dos principais itens que compõem o orçamento necessário para implementação do telhado verde, acompanhados de seus respectivos valores e proporções ao valor total.

**Quadro 24** – Planilha orçamentária resumida

<b>Item</b>	<b>Descrição</b>	<b>Total</b>	<b>Peso (%)</b>
1	SERVIÇOS TECNICO-PROFISSIONAIS	R\$ 24.640,63	9,40%
2	SERVIÇOS AUXILIARES E ADMINISTRATIVOS	R\$ 23.203,41	8,85%
3	SERVIÇOS COMPLEMENTARES	R\$ 555,22	0,21%
4	SERVIÇOS PRELIMINARES	R\$ 10.360,98	3,95%
5	SERVIÇOS DIVERSOS	R\$ 2.961,10	1,13%
6	CANTEIRO DE OBRA	R\$ 10.122,09	3,86%
7	INSTALAÇÕES HIDROSSANITÁRIAS	R\$ 4.589,30	1,75%
8	INSTALAÇÃO ELÉTRICA E ILUMINAÇÃO EXTERNA	R\$ 1.270,18	0,48%
9	COBERTURA	R\$ 72.187,42	27,55%
10	DRENAGEM E ÁGUAS PLUVIAIS	R\$ 1.210,80	0,46%
11	CONCRETAGEM	R\$ 37.389,95	14,27%
12	ESQUADRIAS/ FERRAGEM/ VIDRO	R\$ 40.985,59	15,64%
13	REVESTIMENTO DE PAREDE	R\$ 414,66	0,16%
14	CALÇAMENTO	R\$ 32.158,20	12,27%
Total sem BDI		R\$ 209.644,64	
Total do BDI		R\$ 52.404,89	
<b>Total Geral</b>		<b>R\$ 262.049,53</b>	

Fonte: Autora

#### 4.10.2 Curva ABC do orçamento da obra

A curva ABC foi realizada com o a finalidade de estimar os insumos e serviços com maior demanda dentro do centro de custo orçado para a implementação do telhado verde. Utilizando o software Orçafascio, foi possível prever e hierarquizar os insumos com base em seus custos,

destacando aqueles de maior relevância econômica. A curva ABC dos insumos permitiu avaliar o impacto de aumentar ou reduzir determinados serviços para a realização da execução da obra.

Esta metodologia classifica os 45 itens e subitens da planilha orçamentária em três categorias principais, conforme apresentado na planilha da curva ABC, no Apêndice 2. Os itens foram ordenados de forma decrescente de acordo com seus custos totais. Na categoria A, estão 13 elementos que representam mais de 79% do custo total do acumulado, como apresentado no Quadro 25 e ilustrado na Figura 67. Os itens da categoria B, 11 elementos no total, contribuem com percentuais acumulados entre 80% e 94%, enquanto os 21 elementos da categoria C compreendem o restante do orçamento.

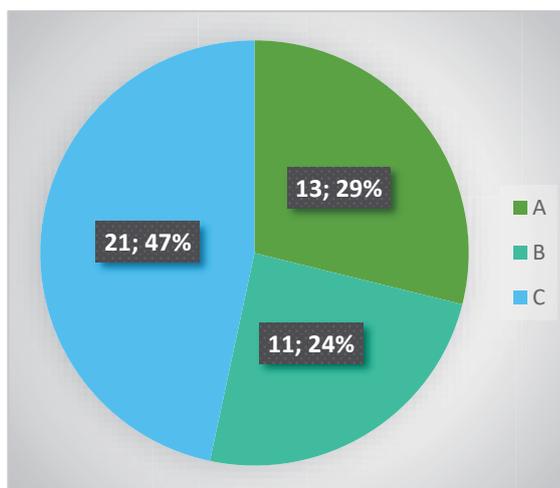
Essa abordagem permite uma gestão mais eficiente dos recursos financeiros, focalizando esforços e investimentos nos insumos e serviços que têm maior impacto econômico na implementação do telhado verde.

**Quadro 25** – Percentual da Curva ABC do orçamento.

CURVA	Grau de relevância	Categoria	Percentual (%)	Quantidade de elementos	% do total acumulado
A	Maior	Serviços ou Insumos de maior valor	13,29	13 elementos	79 %
B	Intermediária	Serviços ou Insumos de medio valor	11,24	11 elementos	80 % a 94 %
C	Menor	Serviços ou Insumos de menor valor	21,47	21 elementos	95% a 100 %

Fonte: Autora

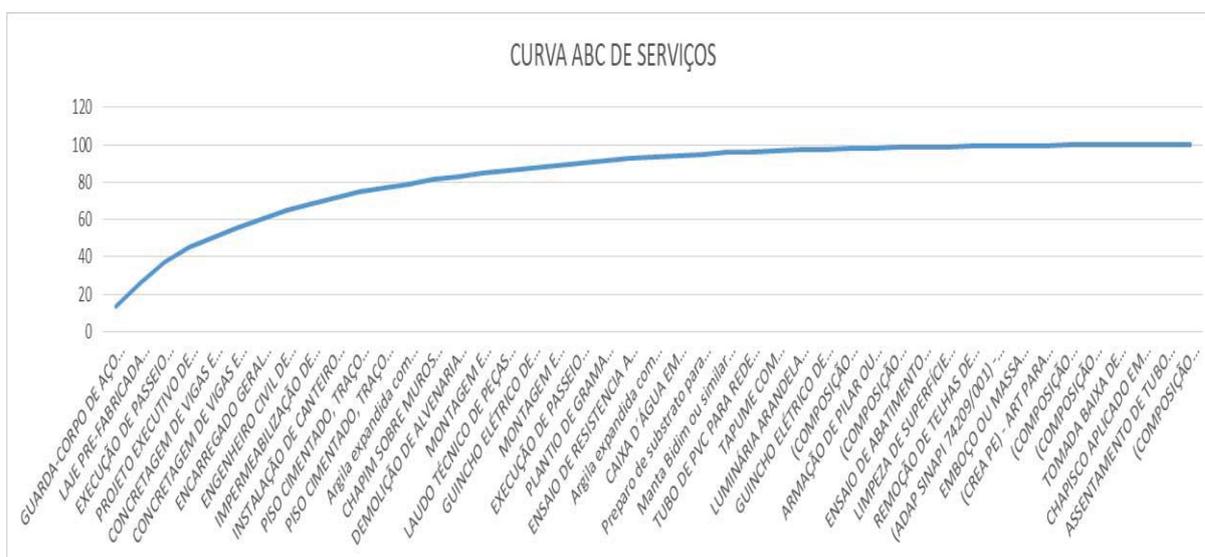
**Figura 67** – Porcentagem de itens nas categorias A, B e C.



Fonte: Autora

Na Figura 68, é apresentado a curva ABC de serviços relacionada ao orçamento da obra.

**Figura 68** – Curva ABC de Serviços.



Fonte: Autora

A análise desta curva revela que o serviço mais oneroso é o guarda-corpo de aço galvanizado de 1,10m, montantes tubulares de 1.1/4" (item 12.2), representando 13,49% do orçamento total da obra, equivalente a R\$ 35.354,34. Este é o serviço que requer cautela especial durante as fases de cotação e negociação. Os itens subsequentes na curva incluem a laje pré-fabricada treliça, piso/cobertura bloco EPS, 40cm e execução de passeio (calçada) ou piso de concreto com

concreto moldado in loco, feito em obra, com percentuais de 12,81% e 10,94%, respectivamente totalizando 37,24% do orçamento. Serviços como concretagem de vigas, impermeabilização e piso cimentado também fazem parte da categoria A da curva ABC, demandando igual atenção durante o planejamento, é uma boa prática também que para o engenheiro fiscal da obra, que sempre se iniciar um serviço que faça parte da categoria A, o engenheiro esteja presente.

Na categoria B da curva ABC, destaca-se o item “chapim sobre muros lineares, em granito ou mármore, l = 25 cm, assentado com argamassa 1:6 com aditivo”, que representa 2,15% do orçamento total, equivalente a R\$5.631,25. Em seguida, estão os itens de demolição de alvenaria de bloco furado, de forma manual, sem reaproveitamento. e montagem e desmontagem de fôrma de pilares retangulares e estruturas similares, pé-direito duplo, em chapa de madeira compensada resinada, 8 utilizações, que perfazem 1,79% e 1,77% do orçamento, respectivamente. Observa-se que o impacto financeiro desses itens diminuiu de maneira consistente em relação aos itens da categoria A.

Na categoria C, o primeiro item é o “preparo de substrato para serviços executados em horto”, representando 0,75% do orçamento total, equivalente a R\$ 1.976,00. Em seguida, estão os itens “manta Bidim ou similar tipo op-40 em drenos subterrâneos, gabiões, filtros de transição, drenos profundos ou valetas. fornecimento e colocação” e “tubo de PVC para rede coletora de esgoto de parede maciça, Dn 150 mm, junta elástica - fornecimento e assentamento”, que correspondem a 0,74% e 0,46% do orçamento, respectivamente. Embora os itens da categoria C não tenham um impacto significativo no valor total do orçamento, todos os serviços requerem atenção e cautela durante a execução.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por fim, as considerações finais foram divididas em conclusões e perspectivas de trabalhos futuros. Apresentados nas seções a seguir.

### 5.1 Conclusões

Conclui-se que a implementação de telhados verdes em edificações não apenas melhora a estética do edifício, mas também promove o bem-estar social e a qualidade de vida. Além disso, as análises por termografia infravermelha demonstram que os telhados verdes são uma alternativa eficaz para mitigar o fenômeno da ilha de calor e combater as mudanças climáticas locais, beneficiando tanto a natureza quanto a sociedade.

Os resultados mostraram uma redução de temperatura de aproximadamente 13,46 °C em comparação com coberturas de laje de concreto, 11,82 °C em relação a telhas de fibrocimento de 244 x 50 cm e 4 mm de espessura, e uma maior redução de 17,31 °C em comparação com telhas de fibrocimento de 244 x 110 cm e 6 mm de espessura. Conclui-se, portanto, que a implantação desse tipo de cobertura oferece benefícios econômicos significativos em termos de consumo de energia, além de proporcionar conforto térmico e bem-estar.

O orçamento necessário para a implementação do telhado verde na edificação, totalizou R\$ 262.049,53 (duzentos e sessenta e dois mil, quarenta e nove reais e cinquenta e três centavos), sendo a R\$209.644,64 (duzentos e nove mil, seiscentos e quarenta e quatro reais e sessenta e quatro centavos.), o valor da obra sem BDI e o valor do BDI, um valor total de R\$52.404,89(cinquenta e dois mil, quatrocentos e quatro reais e oitenta e nove centavos.).

Para obra de *retrofit*, foram necessários estudos técnicos preliminares para avaliar a estrutura da edificação. Identificou-se a necessidade de recuperação de parte da estrutura e reforço estrutural nos pontos que receberam as camadas do telhado verde, devido à sobrecarga adicional de 0,672 tf/m<sup>2</sup> + 0,3 tf/m<sup>3</sup> da carga acidental, totalizando uma sobrecarga de 0,972 tf/m<sup>2</sup>. Apesar do aumento nos

custos, a implementação do telhado verde é economicamente vantajosa, pois torna o empreendimento comercial mais atrativo e inovador em comparação com outros empreendimentos.

Contudo, é importante salientar que a implementação de um telhado verde exige um aumento no consumo de água para manter a vegetação. Se não considerado no projeto, esse fator pode se tornar um ponto negativo. Neste estudo, foi planejado e implementado um sistema de drenagem para a cobertura. O sistema de drenagem com captação de água da chuva resolve o problema do aumento no consumo de água, reutilizando as águas pluviais para irrigar a vegetação e estabelecendo um ciclo sustentável na manutenção da cobertura, e assegurando que o telhado tenha sua melhor eficiência, pois a falta de irrigação adequada da vegetação afeta a eficiência do telhado verde.

Por fim, após a análise da obra de *retrofit* com a implementação do telhado verde no aspecto de conforto térmico, pode-se concluir que um projeto de um telhado verde eficaz, conferir benefícios ambientais e energéticos para edificação.

## **5.2 Perspectivas de trabalhos futuros**

A implementação de telhados verdes, particularmente com geometria ondulada, acompanhada por avaliação por termografia infravermelha, representa um campo promissor de pesquisa e desenvolvimento no contexto da sustentabilidade urbana. Futuros estudos podem focar na melhoria da gestão hídrica, otimização da drenagem e reutilização de águas pluviais, além de aumentar o conforto térmico. Essas abordagens podem reduzir o risco de inundações e mitigar o efeito de ilha de calor em áreas urbanas densas.

Além disso, a análise comparativa dos custos e das economias a longo prazo de telhados verdes é fundamental para embasar decisões de investimento e políticas públicas voltadas para o desenvolvimento urbano sustentável. Considerações adicionais devem ser dedicadas à avaliação de métodos eficazes de *retrofit*, visando reduzir os custos de implementação e facilitar a adaptação de estruturas existentes para a incorporação de telhados verdes. Essas perspectivas destacam a importância de investigações contínuas e aplicadas na área de telhados verdes, visando não apenas aprimorar suas funcionalidades ambientais e econômicas, mas também promover sua adoção como prática integrada em projetos de construção e urbanismo sustentável.

## REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13752**: Perícias de Engenharia na Construção Civil, Rio de Janeiro, 2019.

\_\_\_\_\_. **NBR 15210**: Telhas onduladas e peças complementares de fibrocimento sem amianto Parte 1: Classificação e requisitos, Rio de Janeiro, 2023.

\_\_\_\_\_. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento, Rio de Janeiro, 2014.

\_\_\_\_\_. **NBR 6122**: Projeto e execução de fundações, Rio de Janeiro, 2019.

\_\_\_\_\_. **NBR 6120**: Cargas para o Cálculo de Estruturas de Edificações, Rio de Janeiro, 2019

\_\_\_\_\_. **NBR 7581**: Telha ondulada de fibrocimento - Parte 1: Classificação e requisitos, Rio de Janeiro, 2012

ABBAS, F. A.; ALHAMDO, M. H. (2023). Thermal performance of asphalt solar collector by improving tube and slab characteristics. *International Journal of Thermofluids*, 17(January), 100293. <https://doi.org/10.1016/j.ijft.2023.100293>

AL-HABAIBEH, A., SEN, A.; CHILTON, J. (2021). Evaluation tool for the thermal performance of retrofitted buildings using an integrated approach of deep learning artificial neural networks and infrared thermography. *Energy and Built Environment*, 2(4), 345–365. <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2020.06.004>

ALI, K., QURESHI, M. I., SALEEM, S.; KHAN, S. U. (2021). Effect of waste electronic plastic and silica fume on mechanical properties and thermal performance of concrete. *Construction and Building Materials*, 285, 122952. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122952>

AVDELIDIS, N. P.; MOROPOULOU, A. (2004). Applications of infrared thermography for the investigation of historic structures. *Journal of Cultural Heritage*, 5(1), 119–127. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2003.07.002>

BALARAS, C. A.; ARGIRIOU, A. A. (2002). Infrared thermography for building diagnostics. *Energy and Buildings*, 34(2), 171–183. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(01\)00105-0](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(01)00105-0)

BARREIRA, E.; DE FREITAS, V. P. (2007). Evaluation of building materials using infrared thermography. *Construction and Building Materials*, 21(1), 218–224. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.06.049>

BODNAROVA, L., HOSKO, M.; MARTINEC, P. (2018). Methods of testing the properties of fibre-

cement composites. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 385(1).  
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/385/1/012005>

BOGAS, A.; REAL, S. (2023). *Thermal Performance Assessment of Lightweight Aggregate Concrete by Different Test Methods*.

BOGAS, J. A., DE BRITO, J., & FIGUEIREDO, J. M. (2015). Mechanical characterization of concrete produced with recycled lightweight expanded clay aggregate concrete. *Journal of Cleaner Production*, 89, 187–195. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.11.015>

CARNEIRO, T. (2014). *Tipos De Cobertura Para O Acondicionamento Térmico Primário De Instalações Rurais*. Hostsecure.Com.Br.  
<http://hostsecure.com.br/downloads/dissertacoes/ThaisaCarneiro.pdf>

COOK, L. M., & LARSEN, T. A. (2021). Towards a performance-based approach for multifunctional green roofs: An interdisciplinary review. *Building and Environment*, 188(November 2020), 107489. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107489>

COSTA, M. V. A. DA. (2020). Análise estrutural simplificada de lajes: estudo comparativo do comportamento de uma laje de cobertura simples de uma laje com cobertura verde. In *Electoral Governance Jurnal Tata Kelola Pemilu Indonesia* (Vol. 12, Issue 2). <https://talenta.usu.ac.id/politeia/article/view/3955>

DANIELSKI, I., & FROLING, M. (2015). Diagnosis of buildings' thermal performance-a quantitative method using thermography under non-steady state heat flow. *Energy Procedia*, 83, 320–329. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.12.186>

DE MELLO INNOCENTINI, M. D., VIEIRA DE FARIA, M. A., ROSSETO CRESPI, M., & BATISTA ANDRADE, V. H. (2019). Air permeability assessment of corrugated fiber-cement roofing sheets. *Cement and Concrete Composites*, 97(April 2018), 259–267. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2019.01.004>

DENINE, S., DELLA, N., MUHAMMED, R. D., FEIA, S., CANOU, J., & DUPLA, J. C. (2016). Effect of geotextile reinforcement on shear strength of sandy soil: Laboratory study. *Studia Geotechnica et Mechanica*, 38(4), 3–13. <https://doi.org/10.1515/sgem-2016-0026>

DIAS, C. M. R., CAMPELLO, E. M. B., SAVASTANO, H., & JOHN, V. M. (2018). Exploratory pre-industrial test linking FGM and Hatschek technologies for the manufacture of asbestos-free corrugated cementitious roof sheets. *Construction and Building Materials*, 190, 975–984.

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.09.171>

ECOTECNOLOGIAS, G. D. P. E. M. H. E. (2023). **Telhados Verdes – Conceito**. [https://ecotecnologias.org/?page\\_id=561](https://ecotecnologias.org/?page_id=561); Data de acesso: 25/04/2024

ECOTELHADO. (2022a). *ECOCASA*. <https://www.ecocasa.com.br/revestimento-vivo-qual-planta-certa-seu-telhado>; Data de acesso: 25/04/2024

ECOTELHADO. (2022b). *ECOTELHADO*. <https://ecotelhado.com/blog/tipos-de-grama-para-jardim/>; Data de acesso: 25/04/2024

FERRAZ, I. L. (2012). **O desempenho térmico de um sistema de cobertura verde em comparação ao sistema tradicional de cobertura com telha cerâmica**. *Escola Politécnica Da Universidade de São Paulo*, 113.

[www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/.../IaraLimaFerraz\\_CoberturasVerdes.pdf%0A](http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/.../IaraLimaFerraz_CoberturasVerdes.pdf%0A)

FERREIRA, A. T. V., FERREIRA, P., & SANTOS, M. M. (2024). **A Qualitative Analysis Using Thermography for Characterization of the Built Environment**. *Eng*, 5(1), 477–494. <https://doi.org/10.3390/eng5010026>

FOKAIDES, P. A., & KALOGIROU, S. A. (2011). Application of infrared thermography for the determination of the overall heat transfer coefficient (U-Value) in building envelopes. *Applied Energy*, 88(12), 4358–4365. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.05.014>

GERTSVOLF, D., HORVAT, M., ASLAM, D., KHADEMI, A., & BERARDI, U. (2024). A U-net convolutional neural network deep learning model application for identification of energy loss in infrared thermographic images. *Applied Energy*, 360(February), 122696. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.122696>

GRINZATO, E., VAVILOV, V., & KAUPPINEN, T. (1998). Quantitative infrared thermography in buildings. *Energy and Buildings*, 29(1), 1–9. [https://doi.org/10.1016/s0378-7788\(97\)00039-x](https://doi.org/10.1016/s0378-7788(97)00039-x)

GURGEL, R. G. A. (2003). Principais Espécies E Variedades De Grama. *I SIGRA - Simpósio Sobre Gramados*, 1–23.

HAN, S., CHOI, E. K., PARK, W., YI, C., & CHUNG, N. (2019). Effectiveness of expanded clay as a bacteria carrier for self-healing concrete. *Applied Biological Chemistry*, 62(1), 0–4. <https://doi.org/10.1186/s13765-019-0426-4>

HUBERTOVA, M., & HELA, R. (2013). Durability of lightweight expanded clay aggregate concrete.

*Procedia Engineering*, 65, 2–6. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.09.002>

HURMA, T. (2019). Effect of boron doping concentration on structural optical electrical properties of nanostructured ZnO films. *Journal of Molecular Structure*, 1189, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2019.03.096>

ICHI, E., & DORAFSHAN, S. (2024). Evaluation of Infrared Thermography Dataset for Delamination Detection in Reinforced Concrete Bridge Decks. *Applied Sciences (Switzerland)*, 14(6). <https://doi.org/10.3390/app14062455>

ISO 9869-1. (2014). *Thermal insulation — Building elements — In-situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance — Part 1: Heat flow meter method*.

JOSHIMA, V. M., NASEER, M. A., & LAKSHMI PRABHA, E. (2021). Assessing the real-time thermal performance of reinforced cement concrete roof during summer- a study in the warm humid climate of Kerala. *Journal of Building Engineering*, 41(November 2020), 102735. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102735>

KAZEMI, M., & COURARD, L. (2021). Modelling hygrothermal conditions of unsaturated substrate and drainage layers for the thermal resistance assessment of green roof: Effect of coarse recycled materials. *Energy and Buildings*, 250, 111315. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111315>

KAZEMI, M., & COURARD, L. (2022). Modelling thermal and humidity transfers within green roof systems: effect of rubber crumbs and volcanic gravel. *Advances in Building Energy Research*, 16(3), 296–321. <https://doi.org/10.1080/17512549.2020.1858961>

KERMANI, B., XIAO, M., STOFFELS, S. M., & QIU, T. (2018). Reduction of subgrade fines migration into subbase of flexible pavement using geotextile. *Geotextiles and Geomembranes*, 46(4), 377–383. <https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2018.03.006>

KOROXENIDIS, E., & THEODOSIOU, T. (2021). Comparative environmental and economic evaluation of green roofs under Mediterranean climate conditions – Extensive green roofs a potentially preferable solution. *Journal of Cleaner Production*, 311(February). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127563>

KOZMHINSKY, M. (2018). **Avaliação de fatores climatológicos no telhado verde de edificação no bairro do Recife**. Universidade Federal Rural de Pernambuco.

KYLILI, A., FOKAIDES, P. A., CHRISTOU, P.; KALOGIROU, S. A. (2014). Infrared thermography (IRT) applications for building diagnostics: A review. *Applied Energy*, 134, 531–549.

<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.08.005>

LEE, L. S. H.; JIM, C. Y. (2020). Thermal-irradiance behaviours of subtropical intensive green roof in winter and landscape-soil design implications. *Energy and Buildings*, 209, 109692. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109692>

LEHMANN, B., GHAZI WAKILI, K., FRANK, T., VERA COLLADO, B., TANNER, C. (2013). Effects of individual climatic parameters on the infrared thermography of buildings. *Applied Energy*, 110, 29–43. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.03.066>

LI, Z., YAO, W., LEE, S., LEE, C.; YANG, Z. (2000). Application of infrared thermography technique in building finish evaluation. *Journal of Nondestructive Evaluation*, 19(1), 11–19. <https://doi.org/10.1023/A:1006612023656>

LIMA, N. B., NASCIMENTO, H. C. B., VILEMEN, P., SANTOS, L. B. T., PONTES, M., PADRÓN-HERNÁNDEZ, E., PÓVOAS, Y. V., ALVES, K. G. B., OLIVEIRA, R. A.; LIMA, N. B. D. (2023). Combining ultrasonic testing, infrared thermography, and stereoscopy to unveil characteristics of the adhesion capacity of metakaolin plastering mortars. *Construction and Building Materials*, 408(May). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.133829>

LU, X.; MEMARI, A. (2019). Application of infrared thermography for in-situ determination of building envelope thermal properties. *Journal of Building Engineering*, 26(July), 100885. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.100885>

LUCCHI, E. (2018). Applications of the infrared thermography in the energy audit of buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82(May), 3077-3090. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.031>

MOGA, L., MOGA, I., ȘOIMOȘAN, T., MOLDOVAN, I., RĂDULESCU, M., RĂDULESCU, A., ; IANCU, I. (2023). Infrared thermography application for in-situ determination of the building envelope thermal performance. *Journal of Physics: Conference Series*, 2654(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2654/1/012122>

MOURA, A. Q. L. DE. (2023). Hidrologia e hidráulica do escoamento de um telhado verde em ambiente tropical sob chuva natural e simulada (Vol. 9). Universidade Federal Rural de Pernambuco.

NOORZAD, R.; MIRMORADI, S. H. (2010). Laboratory evaluation of the behavior of a geotextile reinforced clay. *Geotextiles and Geomembranes*, 28(4), 386–392.

<https://doi.org/10.1016/j.geotextmem.2009.12.002>

ODE SANG, Å.; THORPERT, P.; FRANSSON, A. M. (2022). Planning, Designing, and Managing Green Roofs and Green Walls for Public Health – An Ecosystem Services Approach. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 10(April), 1–16. <https://doi.org/10.3389/fevo.2022.804500>

OZGUVEN, A.; GUNDUZ, L. (2012). Examination of effective parameters for the production of expanded clay aggregate. *Cement and Concrete Composites*, 34(6), 781–787. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2012.02.007>

ÖZKILIÇ', Y. O., BESKOPYLNY, A. N., STEL'MAKH, S. A., SHCHERBAN', E. M., MAILYAN, L. R., MESKHI, B., CHERNIL'NIK, A., ANANOVA, O., AKSOYLU, C.; MADENCI, E. (2023). Lightweight expanded-clay fiber concrete with improved characteristics reinforced with short natural fibers. *Case Studies in Construction Materials*, 19(May). <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02367>

PIROUZ, B., PALERMO, S. A., TURCO, M. (2021). Improving the efficiency of green roofs using atmospheric water harvesting systems (An innovative design). *Water (Switzerland)*, 13(4), 1–19. <https://doi.org/10.3390/w13040546>

PLEȘU, R., TEODORIU, G., ȚĂRANU, G. (2012). **Infrared Thermography Applications for Building Investigation.** *Aplicațiile Termografierii Cu Infraroșu La Investigarea Clădirilor.*, 62(1), 157–168. <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=79915036&site=ehost-live>

R. VIJAYALAKSHMI; S. RAMANAGOPAL. (2018). Structural concrete using expanded clay aggregate: a review. *Indian Journal of Science and Technology*, 11(16), 1–12. <https://doi.org/10.17485/ijst/2018/v11i16/121888>

RASHAD, A. M. (2018). Lightweight expanded clay aggregate as a building material – An overview. *Construction and Building Materials*, 170, 757–775. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.009>

SANTOS, C. F. DOS, ROCHA, J. H. A., PÓVOAS, Y. V. (2019). Utilização da termografia infravermelha para detecção de focos de umidade em paredes internas de edificações. *Ambiente Construído*, 19(1), 105–127. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212019000100296>

SASSINE, E., KINAB, E., CHERIF, Y., ANTCZAK, E., NASRALLAH, M. (2021). Thermal performance of lightweight concrete applications in building envelopes in Lebanon. *Building*

*Simulation*, 14(5), 1359–1375. <https://doi.org/10.1007/s12273-021-0762-2>

SCHADE, J., LIDELÖW, S., LÖNNQVIST, J. (2021). The thermal performance of a green roof on a highly insulated building in a sub-arctic climate. *Energy and Buildings*, 241, 110961. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110961>

SFARRA, S., CICONE, A., YOUSEFI, B., IBARRA-CASTANEDO, C., PERILLI, S.; MALDAGUE, X. (2019). Improving the detection of thermal bridges in buildings via on-site infrared thermography: The potentialities of innovative mathematical tools. *Energy and Buildings*, 182, 159–171. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.10.017>

SILVA, D. B. P., LIMA, N. B., LIMA, V. M. E., ESTOLANO, A. M. L., NASCIMENTO, H. C. B., VILEMEN, P., PADRON-HERNÁNDEZ, E., CARNEIRO, A. M. P., LIMA, N. B. D.; POVOAS, Y. V. (2023). Producing a gypsum-based self-leveling mortar for subfloor modified by polycarboxylate admixture (PCE). *Construction and Building Materials*, 364(December 2022). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.130007>

SILVA, G. P., BATISTA, P. I. B.; PÓVOAS, Y. V. (2019). O uso da termografia infravermelha para o estudo do desempenho térmico de paredes: revisão bibliográfica. *Revista ALCONPAT*, 9(2), 117–129. <https://doi.org/10.21041/ra.v9i2.341>

TANG, V. T., RENE, E. R., HU, L., BEHERA, S. K., PHONG, N. T.; THI DA, C. (2021). Vertical green walls for noise and temperature reduction—An experimental investigation. *Science and Technology for the Built Environment*, 27(6), 806–818. <https://doi.org/10.1080/23744731.2021.1911154>

THOMAS, H. R., REES, S. W. (1998). The thermal performance of ground floor slabs - A full scale in-situ experiment. *Building and Environment*, 34(2), 139–164. [https://doi.org/10.1016/s0360-1323\(98\)00001-8](https://doi.org/10.1016/s0360-1323(98)00001-8)

THONGTHA, A., JANYOOSUK, K., MANO, C. (2021). Integration of phase change material into fiber cement roof for reduction of heat accumulation in buildings. *ScienceAsia*, 47(S1), 83–89. <https://doi.org/10.2306/SCIENCEASIA1513-1874.2021.S017>

TOLOOIYAN, A., ABUSTAN, I., SELAMAT, M. R., GHAFFARI, S. (2009). A comprehensive method for analyzing the effect of geotextile layers on embankment stability. *Geotextiles and Geomembranes*, 27(5), 399–405. <https://doi.org/10.1016/j.geotextmem.2008.11.013>

TUNA, S. C., ALTUN, S. (2012). Mechanical behaviour of sand-geotextile interface. *Scientia*

*Iranica*, 19(4), 1044–1051. <https://doi.org/10.1016/j.scient.2012.06.009>

VAŠINA, M., HUGHES, D. C., HOROSHENKOV, K. V., LAPČÍK, L. (2006). The acoustical properties of consolidated expanded clay granulates. *Applied Acoustics*, 67(8), 787–796. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2005.08.003>

VILEMEN, P., DA CRUZ, F. (2024). Desempenho térmico de materiais utilizados em telhados de edificações. *Contribuciones a Las Ciencias Sociales*, 17(2), e5304. <https://doi.org/10.55905/revconv.17n.2-231>

WAQAS, A., ARAJI, M. T. (2024). Machine learning-aided thermography for autonomous heat loss detection in buildings. *Energy Conversion and Management*, 304(February), 118243. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2024.118243>

WILLES, J. A. (2014). **Tecnologias em telhados verdes extensivos: meios de cultura, caracterização hidrológica e sustentabilidade do sistema.** *Tese*, 70. <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11136/tde-03122014-171411/>

YANG, Y., DAVIDSON, C. I., & ZHANG, J. (2021). Evaluation of thermal performance of green roofs via field measurements and hygrothermal simulations. *Energy and Buildings*, 237, 110800. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110800>

ZHANG, H., YANG, J., WU, H., FU, P., LIU, Y., & YANG, W. (2020). Dynamic thermal performance of ultra-light and thermal-insulative aerogel foamed concrete for building energy efficiency. *Solar Energy*, 204(October 2019), 569–576. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.04.092>

## APÊNDICES

## Apêndice 1 – Orçamento Sintético.

Item	Código	Banco	Descrição	Und	Quant.	Valor Unit	Valor Unit com BDI	Total	Peso (%)
<b>1</b>			<b>SERVIÇOS TÉCNICO-PROFISSIONAIS</b>					<b>24.640,63</b>	<b>9,40 %</b>
1.1	COMP_002 CMR	Próprio	PROJETO EXECUTIVO DE ESTRUTURA, APRESENTADO NOS PADROES DA CONTRATANTE, INCLUSIVE AS LEGALIZACOES PERTINENTES	VB	1	16.712,51	20.890,63	20.890,63	7,97 %
1.2	PROP_002	Próprio	LAUDO TÉCNICO DE PEÇAS ESTRUTURAIS	VB	1	3.000,00	3.750,00	3.750,00	1,43 %
<b>2</b>			<b>SERVIÇOS AUXILIARES E ADMINISTRATIVOS</b>					<b>23.203,41</b>	<b>8,85 %</b>
<b>2.1</b>			<b>ADMINISTRAÇÃO LOCAL</b>					<b>23.203,41</b>	<b>8,85 %</b>
2.1.1	90777	SINAPI	ENGENHEIRO CIVIL DE OBRA JUNIOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	72	120,80	151,00	10.872,00	4,15 %
2.1.2	90776	SINAPI	ENCARREGADO GERAL COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	273	36,14	45,17	12.331,41	4,71 %
<b>3</b>			<b>SERVIÇOS COMPLEMENTARES</b>					<b>555,22</b>	<b>0,21 %</b>
3.2	99814	SINAPI	LIMPEZA DE SUPERFÍCIE COM JATO DE ALTA PRESSÃO. AF_04/2019	m²	243,52	1,83	2,28	555,22	0,21 %
<b>4</b>			<b>SERVIÇOS PRELIMINARES</b>					<b>10.360,98</b>	<b>3,95 %</b>
<b>4.1</b>			<b>TAXAS, IMPOSTOS E LICENÇAS</b>					<b>328,18</b>	<b>0,13 %</b>
4.1.1	COMP0030	Próprio	(CREA PE) - ART PARA CONTRATO DE OBRA OU SERVIÇO COM VALORES ACIMA DE R\$ 15.000,00 (CONTRATO, FISCALIZAÇÃO E PROJETOS)	UND	1	262,55	328,18	328,18	0,13 %
<b>4.2</b>			<b>CARGA, TRANSPORTE, DESCARGA E ESPALHAMENTO DE MATERIAIS DE DEMOLIÇÃO</b>					<b>4.807,00</b>	<b>1,83 %</b>
4.2.1	93281	SINAPI	GUINCHO ELÉTRICO DE COLUNA, CAPACIDADE 400 KG, COM MOTO FREIO, MOTOR TRIFÁSICO DE 1,25 CV - CHP DIURNO. AF_03/2016	CHP	100	29,84	37,30	3.730,00	1,42 %
4.2.2	93282	SINAPI	GUINCHO ELÉTRICO DE COLUNA, CAPACIDADE 400 KG, COM MOTO FREIO, MOTOR TRIFÁSICO DE 1,25 CV - CHI DIURNO. AF_03/2016	CHI	30	28,72	35,90	1.077,00	0,41 %
<b>4.3</b>			<b>DEMOLIÇÕES</b>					<b>5.225,80</b>	<b>1,99 %</b>
4.3.2	97647	SINAPI	REMOÇÃO DE TELHAS DE FIBROCIMENTO, METÁLICA E CERÂMICA, DE FORMA MANUAL, SEM REAPROVEITAMENTO. AF_09/2023	m²	130	3,34	4,17	542,10	0,21 %
4.3.3	97622	SINAPI	DEMOLIÇÃO DE ALVENARIA DE BLOCO FURADO, DE FORMA MANUAL, SEM REAPROVEITAMENTO. AF_09/2023	m³	70	53,53	66,91	4.683,70	1,79 %

<b>5</b>			<b>SERVIÇOS DIVERSOS</b>					<b>2.961,10</b>	<b>1,13</b>	<b>%</b>
<b>5.1</b>			<b>ENSAIOS TECNOLÓGICOS</b>					<b>2.961,10</b>	<b>1,13</b>	<b>%</b>
5.1.1	74022/030	SINAPI	ENSAIO DE RESISTENCIA A COMPRESSAO SIMPLES - CONCRETO	UN	15	125,17	156,46	2.346,90	0,90	%
5.1.2	74022/058	SINAPI	ENSAIO DE ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE	UN	10	49,14	61,42	614,20	0,23	%
<b>6</b>			<b>CANTEIRO DE OBRA</b>					<b>10.122,09</b>	<b>3,86</b>	<b>%</b>
<b>6.1</b>			<b>CONSTRUÇÕES PROVISÓRIAS</b>					<b>8.451,11</b>	<b>3,23</b>	<b>%</b>
6.1.1	COMP1003	Próprio	INSTALAÇÃO DE CANTEIRO DE OBRAS	COTA	1	6.760,89	8.451,11	8.451,11	3,23	%
<b>6.2</b>			<b>PROTEÇÃO E SINALIZAÇÃO</b>					<b>1.206,20</b>	<b>0,46</b>	<b>%</b>
6.2.1	98458	SINAPI	TAPUME COM COMPENSADO DE MADEIRA. AF_03/2024	m²	10	96,50	120,62	1.206,20	0,46	%
<b>6.3</b>			<b>PLACA DA OBRA</b>					<b>464,78</b>	<b>0,18</b>	<b>%</b>
6.3.1	COMP0097	Próprio	(ADAP SINAPI 74209/001) - PLACA DE OBRA EM CHAPA DE ACO GALVANIZADO	m²	1	371,83	464,78	464,78	0,18	%
<b>7</b>			<b>INSTALAÇÕES HIDROSSANITÁRIAS</b>					<b>4.589,30</b>	<b>1,75</b>	<b>%</b>
7.1	91785	SINAPI	(COMPOSIÇÃO REPRESENTATIVA) DO SERVIÇO DE INSTALAÇÃO DE TUBOS DE PVC, SOLDÁVEL, ÁGUA FRIA, DN 25 MM (INSTALADO EM RAMAL, SUB-RAMAL, RAMAL DE DISTRIBUIÇÃO OU PRUMADA), INCLUSIVE CONEXÕES, CORTES E FIXAÇÕES, PARA PRÉDIOS. AF_10/2015	M	15	41,77	52,21	783,15	0,30	%
7.2	91784	SINAPI	(COMPOSIÇÃO REPRESENTATIVA) DO SERVIÇO DE INSTALAÇÃO DE TUBOS DE PVC, SOLDÁVEL, ÁGUA FRIA, DN 20 MM (INSTALADO EM RAMAL, SUB-RAMAL OU RAMAL DE DISTRIBUIÇÃO), INCLUSIVE CONEXÕES, CORTES E FIXAÇÕES, PARA PRÉDIOS. AF_10/2015	M	20	42,28	52,85	1.057,00	0,40	%
7.3	91788	SINAPI	(COMPOSIÇÃO REPRESENTATIVA) DO SERVIÇO DE INSTALAÇÃO DE TUBOS DE PVC, SOLDÁVEL, ÁGUA FRIA, DN 50 MM (INSTALADO EM PRUMADA), INCLUSIVE CONEXÕES, CORTES E FIXAÇÕES, PARA PRÉDIOS. AF_10/2015	M	5	49,81	62,26	311,30	0,12	%
7.4	91787	SINAPI	(COMPOSIÇÃO REPRESENTATIVA) DO SERVIÇO DE INSTALAÇÃO DE TUBOS DE PVC, SOLDÁVEL, ÁGUA FRIA, DN 40 MM (INSTALADO EM PRUMADA), INCLUSIVE CONEXÕES, CORTES E FIXAÇÕES, PARA PRÉDIOS. AF_10/2015	M	3	33,77	42,21	126,63	0,05	%

7.5	91786	SINAPI	(COMPOSIÇÃO REPRESENTATIVA) DO SERVIÇO DE INSTALAÇÃO TUBOS DE PVC, SOLDÁVEL, ÁGUA FRIA, DN 32 MM (INSTALADO EM RAMAL, SUB-RAMAL, RAMAL DE DISTRIBUIÇÃO OU PRUMADA), INCLUSIVE CONEXÕES, CORTES E FIXAÇÕES, PARA PRÉDIOS. AF_10/2015	M	1	29,72	37,15	37,15	0,01 %
7.6	102610	SINAPI	CAIXA D'ÁGUA EM POLIETILENO, 3000 LITROS - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_06/2021	UN	1	1.771,10	2.213,87	2.213,87	0,84 %
7.7	97127	SINAPI	ASSENTAMENTO DE TUBO DE PVC DEFOFO OU PRFV OU RPVC PARA REDE DE ÁGUA, DN 150 MM, JUNTA ELÁSTICA INTEGRADA, INSTALADO EM LOCAL COM NÍVEL ALTO DE INTERFERÊNCIAS (NÃO INCLUI FORNECIMENTO). AF_11/2017	M	10	4,82	6,02	60,20	0,02 %
<b>8</b>			<b>INSTALAÇÃO ELÉTRICA E ILUMINAÇÃO EXTERNA</b>					<b>1.270,18</b>	<b>0,48 %</b>
<b>8.1</b>			<b>INSTALAÇÕES ELÉTRICAS</b>					<b>0,00</b>	<b>0,00 %</b>
8.1	97605	SINAPI	LUMINÁRIA ARANDELA TIPO MEIA LUA, DE SOBREPOR, COM 1 LÂMPADA LED DE 6 W, SEM REATOR - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_02/2020	UN	10	92,68	115,85	1.158,50	0,44 %
<b>8.2</b>			<b>REDE ELÉTRICA E ILUMINAÇÃO EXTERNA</b>					<b>0,00</b>	<b>0,00 %</b>
8.2	91999	SINAPI	TOMADA BAIXA DE EMBUTIR (1 MÓDULO), 2P+T 20 A, SEM SUPORTE E SEM PLACA - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_03/2023	UN	4	22,34	27,92	111,68	0,04 %
<b>9</b>			<b>COBERTURA</b>					<b>72.187,42</b>	<b>27,55 %</b>
<b>9.1</b>			<b>PISO REGULARIZANTE</b>					<b>41.073,50</b>	<b>15,67 %</b>
9.1.1	040554	SBC	LAJE PRE-FABRICADA TRELIC. P/PISO/COBERTURA BLOCO EPS, 40CM	m <sup>2</sup>	130	206,56	258,20	33.566,00	12,81 %
9.1.2	98680	SINAPI	PISO CIMENTADO, TRAÇO 1:3 (CIMENTO E AREIA), ACABAMENTO LISO, ESPESSURA 3,0 CM, PREPARO MECÂNICO DA ARGAMASSA. AF_09/2020	m <sup>2</sup>	130	46,20	57,75	7.507,50	2,86 %
<b>9.2</b>			<b>IMPERMEABILIZAÇÃO E PROTEÇÕES MECANICAS</b>					<b>15.842,80</b>	<b>6,05 %</b>
9.2.1	PROPRIO_001	Próprio	IMPERMEABILIZAÇÃO DE SUPERFÍCIE COM MANTA ASFÁLTICA ANTIRAIZ, INCLUSIVE APLICAÇÃO DE PRIMER ASFÁLTICO, E=3 MM E E= 4 MM.	m <sup>2</sup>	180	44,01	55,01	9.901,80	3,78 %
9.2.2	98679	SINAPI	PISO CIMENTADO, TRAÇO 1:3 (CIMENTO E AREIA), ACABAMENTO LISO, ESPESSURA 2,0 CM, PREPARO MECÂNICO DA ARGAMASSA. AF_09/2020	m <sup>2</sup>	130	36,56	45,70	5.941,00	2,27 %
<b>9.3</b>			<b>CAMADAS DO TELHADO VERDE</b>					<b>15.271,12</b>	<b>5,83 %</b>
9.3.1	CI 10.05.0053	SCO	Argila expandida com granulometria grossa de 3222. Fornecimento, inclusive transporte.	m <sup>3</sup>	8	582,00	727,50	5.820,00	2,22 %
9.3.2	CI 10.05.0050	SCO	Argila expandida com granulometria fina de 2215. Fornecimento, inclusive transporte.	m <sup>3</sup>	2,8	632,61	790,76	2.214,12	0,84 %

9.3.3	DR 65.05.0103	SCO	Manta Bidim ou similar tipo OP-40 em drenos subterrâneos, gabioes, filtros de transição, drenos profundos ou valetas. Fornecimento e colocação.	m <sup>2</sup>	100	15,60	19,50	1.950,00	0,74 %
9.3.4	PJ 30.05.0200	SCO	Preparo de substrato para serviços executados em horto.	m <sup>3</sup>	100	15,81	19,76	1.976,00	0,75 %
9.3.5	103946	SINAPI	PLANTIO DE GRAMA ESMERALDA OU SÃO CARLOS OU CURITIBANA, EM PLACAS. AF_05/2022	m <sup>2</sup>	100	26,49	33,11	3.311,00	1,26 %
<b>10</b>			<b>DRENAGEM E ÁGUAS PLUVIAIS</b>					<b>1.210,80</b>	<b>0,46 %</b>
10.2	90695	SINAPI	TUBO DE PVC PARA REDE COLETORA DE ESGOTO DE PAREDE MACIÇA, DN 150 MM, JUNTA ELÁSTICA - FORNECIMENTO E ASSENTAMENTO. AF_01/2021	M	15	64,58	80,72	1.210,80	0,46 %
<b>11</b>			<b>CONCRETAGEM</b>					<b>37.389,95</b>	<b>14,27 %</b>
11.1	103679	SINAPI	CONCRETAGEM DE VIGAS E LAJES, FCK=25 MPA, PARA LAJES MACIÇAS OU NERVURADAS COM JERICAS EM CREMALHEIRA EM EDIFICAÇÃO DE MULTIPAVIMENTOS ATÉ 16 ANDARES - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_02/2022	m <sup>3</sup>	15	717,63	897,03	13.455,45	5,13 %
<b>11.2</b>			<b>PILARES</b>					<b>5.150,10</b>	<b>1,97 %</b>
11.2.1	92759	SINAPI	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-60 DE 5,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	30	13,88	17,35	520,50	0,20 %
11.2.2	92429	SINAPI	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE PILARES RETANGULARES E ESTRUTURAS SIMILARES, PÉ-DIREITO DUPLO, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, 8 UTILIZAÇÕES. AF_09/2020	m <sup>2</sup>	45	82,31	102,88	4.629,60	1,77 %
<b>11.3</b>			<b>VIGAS</b>					<b>18.784,40</b>	<b>7,17 %</b>
11.3.1	92759	SINAPI	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-60 DE 5,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	20	13,88	17,35	347,00	0,13 %
11.3.2	103675	SINAPI	CONCRETAGEM DE VIGAS E LAJES, FCK=25 MPA, PARA LAJES MACIÇAS OU NERVURADAS COM USO DE BOMBA - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_02/2022_PS	m <sup>3</sup>	20	592,12	740,15	14.803,00	5,65 %
11.3.3	92464	SINAPI	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE VIGA, ESCORAMENTO METÁLICO, PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA RESINADA, 8 UTILIZAÇÕES. AF_09/2020	m <sup>2</sup>	22	132,16	165,20	3.634,40	1,39 %
<b>12</b>			<b>ESQUADRIAS/FERRAGEM/VIDRO</b>					<b>40.985,59</b>	<b>15,64 %</b>
12.2	101966	SINAPI	CHAPIM SOBRE MUROS LINEARES, EM GRANITO OU MÁRMORE, L = 25 CM, ASSENTADO COM ARGAMASSA 1:6 COM ADITIVO. AF_11/2020	M	25	180,20	225,25	5.631,25	2,15 %

12.2	99837	SINAPI	GUARDA-CORPO DE AÇO GALVANIZADO DE 1,10M, MONTANTES TUBULARES DE 1.1/4" ESPAÇADOS DE 1,20M, TRAVESSA SUPERIOR DE 1.1/2", GRADIL FORMADO POR TUBOS HORIZONTAIS DE 1" E VERTICAIS DE 3/4", FIXADO COM CHUMBADOR MECÂNICO. AF_04/2019_PS	M	54	523,77	654,71	35.354,34	13,49 %
<b>13</b>			<b>REVESTIMENTO DE PAREDE</b>					<b>414,66</b>	<b>0,16 %</b>
13.2	87792	SINAPI	EMBOÇO OU MASSA ÚNICA EM ARGAMASSA TRAÇO 1:2:8, PREPARO MECÂNICO COM BETONEIRA 400 L, APLICADA MANUALMENTE EM PANOS CEGOS DE FACHADA (SEM PRESENÇA DE VÃOS), ESPESSURA DE 25 MM. AF_08/2022	m <sup>2</sup>	6,8	41,23	51,53	350,40	0,13 %
13.3	87905	SINAPI	CHÁPISCO APLICADO EM ALVENARIA (COM PRESENÇA DE VÃOS) E ESTRUTURAS DE CONCRETO DE FACHADA, COM COLHER DE PEDREIRO. ARGAMASSA TRAÇO 1:3 COM PREPARO EM BETONEIRA 400L. AF_10/2022	m <sup>2</sup>	6,8	7,56	9,45	64,26	0,02 %
<b>14</b>			<b>CALÇAMENTO</b>					<b>32.158,20</b>	<b>12,27 %</b>
14.1	94994	SINAPI	EXECUÇÃO DE PASSEIO (CALÇADA) OU PISO DE CONCRETO COM CONCRETO MOLDADO IN LOCO, FEITO EM OBRA, ACABAMENTO CONVENCIONAL, ESPESSURA 8 CM, ARMADO. AF_08/2022	m <sup>2</sup>	30	92,93	116,16	3.484,80	1,33 %
14.2	94990	SINAPI	EXECUÇÃO DE PASSEIO (CALÇADA) OU PISO DE CONCRETO COM CONCRETO MOLDADO IN LOCO, FEITO EM OBRA, ACABAMENTO CONVENCIONAL, NÃO ARMADO. AF_08/2022	m <sup>3</sup>	30	764,63	955,78	28.673,40	10,94 %

<b>Total sem BDI</b>	<b>209.644,64</b>
<b>Total do BDI</b>	<b>52.404,89</b>
<b>Total Geral</b>	<b>262.049,53</b>

## Apêndice 2 – Curva ABC de Serviço.

Banco	Descrição	Tipo	Und	Quant.	Valor Unit	Total	Peso (%)	Peso Acumulado (%)
SINAPI	GUARDA-CORPO DE AÇO GALVANIZADO DE 1,10M, MONTANTES TUBULARES DE 1.1/4" ESPAÇADOS DE 1,20M, TRAVESSA SUPERIOR DE 1.1/2", GRADIL FORMADO POR TUBOS HORIZONTAIS DE 1" E VERTICAIS DE 3/4", FIXADO COM CHUMBADOR MECÂNICO. AF_04/2019_PS	ESQV - ESQUADRIAS/FERRAGENS /VIDROS	M	54,0	R\$ 654,71	R\$ 35.354,34	13,49	13,49
SBC	LAJE PRÉ-FABRICADA TRELIC. P/PISO/COBERTURA BLOCO EPS, 40CM	ESTRUTURA	m²	130,0	R\$ 258,20	R\$ 33.566,00	12,81	26,30
SINAPI	EXECUÇÃO DE PASSEIO (CALÇADA) OU PISO DE CONCRETO COM CONCRETO MOLDADO IN LOCO, FEITO EM OBRA, ACABAMENTO CONVENCIONAL, NÃO ARMADO. AF_08/2022	PISO - PISOS	m³	30,0	R\$ 955,78	R\$ 28.673,40	10,94	37,24
Próprio	PROJETO EXECUTIVO DE ESTRUTURA, APRESENTADO NOS PADROES DA CONTRATANTE, INCLUSIVE AS LEGALIZACOES PERTINENTES	ASTU - ASSENTAMENTO DE TUBOS E PECAS	VB	1,0	R\$ 20.890,63	R\$ 20.890,63	7,97	45,21
SINAPI	CONCRETAGEM DE VIGAS E LAJES, FCK=25 MPA, PARA LAJES MACIÇAS OU NERVURADAS COM USO DE BOMBA - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_02/2022_PS	FUES - FUNDAÇÕES E ESTRUTURAS	m³	20,0	R\$ 740,15	R\$ 14.803,00	5,65	50,86
SINAPI	CONCRETAGEM DE VIGAS E LAJES, FCK=25 MPA, PARA LAJES MACIÇAS OU NERVURADAS COM JERICAS EM CREMALHEIRA EM EDIFICAÇÃO DE MULTIPAVIMENTOS ATÉ 16 ANDARES - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_02/2022	FUES - FUNDAÇÕES E ESTRUTURAS	m³	15,0	R\$ 897,03	R\$ 13.455,45	5,13	56,00
SINAPI	ENCARREGADO GERAL COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	SEDI - SERVIÇOS DIVERSOS	H	273,0	R\$ 45,17	R\$ 12.331,41	4,71	60,70
SINAPI	ENGENHEIRO CIVIL DE OBRA JUNIOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	SEDI - SERVIÇOS DIVERSOS	H	72,0	R\$ 151,00	R\$ 10.872,00	4,15	64,85
Próprio	IMPERMEABILIZAÇÃO DE SUPERFÍCIE COM MANTA ASFÁLTICA ANTIRAIZ, INCLUSIVE APLICAÇÃO DE PRIMER ASFÁLTICO, E=3 MM E E= 4 MM.	IMPE - IMPERMEABILIZAÇÕES E PROTEÇÕES DIVERSAS	m²	180,0	R\$ 55,01	R\$ 9.901,80	3,78	68,63
Próprio	INSTALAÇÃO DE CANTEIRO DE OBRAS	CANT - CANTEIRO DE OBRAS	COTA	1,0	R\$ 8.451,11	R\$ 8.451,11	3,23	71,86
SINAPI	PISO CIMENTADO, TRAÇO 1:3 (CIMENTO E AREIA), ACABAMENTO LISO, ESPESSURA 3,0 CM, PREPARO MECÂNICO DA ARGAMASSA. AF_09/2020	PISO - PISOS	m²	130,0	R\$ 57,75	R\$ 7.507,50	2,86	74,72
SINAPI	PISO CIMENTADO, TRAÇO 1:3 (CIMENTO E AREIA), ACABAMENTO LISO, ESPESSURA 2,0 CM, PREPARO MECÂNICO DA ARGAMASSA. AF_09/2020	PISO - PISOS	m²	130,0	R\$ 45,70	R\$ 5.941,00	2,27	76,99
SCO	Argila expandida com granulometria grossa de 3222. Fornecimento, inclusive transporte.		m³	8,0	R\$ 727,50	R\$ 5.820,00	2,22	79,21
SINAPI	CHAPIM SOBRE MUROS LINEARES, EM GRANITO OU MÁRMORE, L = 25 CM, ASSENTADO COM ARGAMASSA 1:6 COM ADITIVO. AF_11/2020	REVE - REVESTIMENTO E TRATAMENTO DE SUPERFÍCIES	M	25,0	R\$ 225,25	R\$5.631,25	2,15	81,36
SINAPI	DEMOLIÇÃO DE ALVENARIA DE BLOCO FURADO, DE FORMA MANUAL, SEM REAPROVEITAMENTO. AF_09/2023	SERP - SERVIÇOS PRELIMINARES	m³	70,0	R\$ 66,91	R\$4.683,70	1,79	83,15
SINAPI	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE PILARES RETANGULARES E ESTRUTURAS SIMILARES, PÉ-DIREITO DUPLO, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, 8 UTILIZAÇÕES. AF_09/2020	FUES - FUNDAÇÕES E ESTRUTURAS	m²	45,0	R\$ 102,88	R\$ 4.629,60	1,77	84,91
Próprio	LAUDO TÉCNICO DE PEÇAS ESTRUTURAIAS	SERT - SERVIÇOS TÉCNICOS	VB	1,0	R\$ 3.750,00	R\$3.750,00	1,43	86,34
SINAPI	GUINCHO ELÉTRICO DE COLUNA, CAPACIDADE 400 KG, COM MOTO FREIO, MOTOR TRIFÁSICO DE 1,25 CV - CHP DIURNO. AF_03/2016	CHOR - CUSTOS HORÁRIOS DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS	CHP	100,0	R\$ 37,30	R\$3.730,00	1,42	87,77
SINAPI	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE VIGA, ESCORAMENTO METÁLICO, PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA RESINADA, 8 UTILIZAÇÕES. AF_09/2020	FUES - FUNDAÇÕES E ESTRUTURAS	m²	22,0	R\$ 165,20	R\$ 3.634,40	1,39	89,15
SINAPI	EXECUÇÃO DE PASSEIO (CALÇADA) OU PISO DE CONCRETO COM CONCRETO MOLDADO IN LOCO, FEITO EM OBRA, ACABAMENTO CONVENCIONAL, ESPESSURA 8 CM, ARMADO. AF_08/2022	PISO - PISOS	m²	30,0	R\$ 116,16	R\$ 3.484,80	1,33	90,48
SINAPI	PLANTIO DE GRAMA ESMERALDA OU SÃO CARLOS OU CURITIBANA, EM PLACAS. AF_05/2022	URBA - URBANIZAÇÃO	m²	100,0	R\$ 33,11	R\$ 3.311,00	1,26	91,75

SINAPI	ENSAIO DE RESISTENCIA A COMPRESSAO SIMPLES - CONCRETO	SERT - SERVIÇOS TÉCNICOS	UN	15,0	R\$ 156,46	R\$ 2.346,90	0,90	92,64
SCO	Argila expandida com granulometria fina de 2215. Fornecimento, inclusive transporte.		m³	2,8	R\$ 790,76	R\$ 2.214,12	0,84	93,49
SINAPI	CAIXA D'ÁGUA EM POLIETILENO, 3000 LITROS - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_06/2021	INHI - INSTALAÇÕES HIDROS SANITÁRIAS	UN	1,0	R\$ 2.213,87	R\$ 2.213,87	0,84	94,33
SCO	Preparo de substrato para serviços executados em horto.		m³	100,0	R\$ 19,76	R\$ 1.976,00	0,75	95,09
SCO	Manta Bidim ou similar tipo OP-40 em drenos subterrâneos, gabiões, filtros de transição, drenos profundos ou valetas. Fornecimento e colocação.		m²	100,0	R\$ 19,50	R\$ 1.950,00	0,74	95,83
SINAPI	TUBO DE PVC PARA REDE COLETORA DE ESGOTO DE PAREDE MACIÇA, DN 150 MM, JUNTA ELÁSTICA - FORNECIMENTO E ASSENTAMENTO. AF_01/2021	ASTU - ASSENTAMENTO DE TUBOS E PECAS	M	15,0	R\$ 80,72	R\$ 1.210,80	0,46	96,29
SINAPI	TAPUME COM COMPENSADO DE MADEIRA. AF_03/2024	CANT - CANTEIRO DE OBRAS	m²	10,0	R\$ 120,62	R\$ 1.206,20	0,46	96,75
SINAPI	LUMINÁRIA ARANDELA TIPO MEIA LUA, DE SOBREPOR, COM 1 LÂMPADA LED DE 6 W, SEM REATOR - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_02/2020	INEL - INSTALAÇÃO ELÉTRICA/ELETRIFICAÇÃO E ILUMINAÇÃO EXTERNA	UN	10,0	R\$ 115,85	R\$ 1.158,50	0,44	97,19
SINAPI	GUINCHO ELÉTRICO DE COLUNA, CAPACIDADE 400 KG, COM MOTO FREIO, MOTOR TRIFÁSICO DE 1,25 CV - CHI DIURNO. AF_03/2016	CHOR - CUSTOS HORÁRIOS DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS	CHI	30,0	R\$ 35,90	R\$ 1.077,00	0,41	97,61
SINAPI	(COMPOSIÇÃO REPRESENTATIVA) DO SERVIÇO DE INSTALAÇÃO DE TUBOS DE PVC, SOLDÁVEL, ÁGUA FRIA, DN 20 MM (INSTALADO EM RAMAL, SUB-RAMAL OU RAMAL DE DISTRIBUIÇÃO), INCLUSIVE CONEXÕES, CORTES E FIXAÇÕES, PARA PRÉDIOS. AF_10/2015	INHI - INSTALAÇÕES HIDROS SANITÁRIAS	M	20,0	R\$ 52,85	R\$ 1.057,00	0,40	98,01
SINAPI	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-60 DE 5,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	FUES - FUNDAÇÕES E ESTRUTURAS	KG	50,0	R\$ 17,35	R\$ 867,50	0,33	98,34
SINAPI	(COMPOSIÇÃO REPRESENTATIVA) DO SERVIÇO DE INSTALAÇÃO DE TUBOS DE PVC, SOLDÁVEL, ÁGUA FRIA, DN 25 MM (INSTALADO EM RAMAL, SUB-RAMAL, RAMAL DE DISTRIBUIÇÃO OU PRUMADA), INCLUSIVE CONEXÕES, CORTES E FIXAÇÕES, PARA PRÉDIOS. AF_10/2015	INHI - INSTALAÇÕES HIDROS SANITÁRIAS	M	15,0	R\$ 52,21	R\$ 783,15	0,30	98,64
SINAPI	ENSAIO DE ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE	SERT - SERVIÇOS TÉCNICOS	UN	10,0	R\$ 61,42	R\$ 614,20	0,23	98,87
SINAPI	LIMPEZA DE SUPERFÍCIE COM JATO DE ALTA PRESSÃO. AF_04/2019	SEDI - SERVIÇOS DIVERSOS	m²	243,52	R\$ 2,28	R\$ 555,22	0,21	99,09
SINAPI	REMOÇÃO DE TELHAS DE FIBROCIMENTO, METÁLICA E CERÂMICA, DE FORMA MANUAL, SEM REAPROVEITAMENTO. AF_09/2023	SERP - SERVIÇOS PRELIMINARES	m²	130,0	R\$ 4,17	R\$ 542,10	0,21	99,29
Próprio	(ADAP SINAPI 74209/001) - PLACA DE OBRA EM CHAPA DE AÇO GALVANIZADO	CANT - CANTEIRO DE OBRAS	m²	1,0	R\$ 464,78	R\$ 464,78	0,18	99,47
SINAPI	EMBOÇO OU MASSA ÚNICA EM ARGAMASSA TRAÇO 1:2:8, PREPARO MECÂNICO COM BETONEIRA 400 L, APLICADA MANUALMENTE EM PANOS CEGOS DE FACHADA (SEM PRESENÇA DE VÃOS), ESPESSURA DE 25 MM. AF_08/2022	REVE - REVESTIMENTO E TRATAMENTO DE SUPERFÍCIES	m²	6,8	R\$ 51,53	R\$ 350,40	0,13	99,60
Próprio	(CREA PE) - ART PARA CONTRATO DE OBRA OU SERVIÇO COM VALORES ACIMA DE R\$ 15.000,00 (CONTRATO, FISCALIZAÇÃO E PROJETOS)	SERT - SERVIÇOS TÉCNICOS	UND	1,0	R\$ 328,18	R\$ 328,18	0,13	99,73
SINAPI	(COMPOSIÇÃO REPRESENTATIVA) DO SERVIÇO DE INSTALAÇÃO DE TUBOS DE PVC, SOLDÁVEL, ÁGUA FRIA, DN 50 MM (INSTALADO EM PRUMADA), INCLUSIVE CONEXÕES, CORTES E FIXAÇÕES, PARA PRÉDIOS. AF_10/2015	INHI - INSTALAÇÕES HIDROS SANITÁRIAS	M	5,0	R\$ 62,26	R\$ 311,30	0,12	99,85
SINAPI	(COMPOSIÇÃO REPRESENTATIVA) DO SERVIÇO DE INSTALAÇÃO DE TUBOS DE PVC, SOLDÁVEL, ÁGUA FRIA, DN 40 MM (INSTALADO EM PRUMADA), INCLUSIVE CONEXÕES, CORTES E FIXAÇÕES, PARA PRÉDIOS. AF_10/2015	INHI - INSTALAÇÕES HIDROS SANITÁRIAS	M	3,0	R\$ 42,21	R\$ 126,63	0,05	99,90
SINAPI	TOMADA BAIXA DE EMBUTIR (1 MÓDULO), 2P+T 20 A, SEM SUPORTE E SEM PLACA - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_03/2023	INEL - INSTALAÇÃO ELÉTRICA/ELETRIFICAÇÃO E ILUMINAÇÃO EXTERNA	UN	4,0	R\$ 27,92	R\$ 111,68	0,04	99,94

SINAPI	CHAPISCO APLICADO EM ALVENARIA (COM PRESENÇA DE VÃOS) E ESTRUTURAS DE CONCRETO DE FACHADA, COM COLHER DE PEDREIRO. ARGAMASSA TRAÇO 1:3 COM PREPARO EM BETONEIRA 400L. AF_10/2022	REVE - REVESTIMENTO E TRATAMENTO DE SUPERFÍCIES	m <sup>2</sup>	6,8	R\$ 9,45	R\$ 64,26	0,02	99,96
SINAPI	ASSENTAMENTO DE TUBO DE PVC DEFOFO OU PRFV OU RPVC PARA REDE DE ÁGUA, DN 150 MM, JUNTA ELÁSTICA INTEGRADA, INSTALADO EM LOCAL COM NÍVEL ALTO DE INTERFERÊNCIAS (NÃO INCLUI FORNECIMENTO). AF_11/2017	ASTU - ASSENTAMENTO DE TUBOS E PECAS	M	10,0	R\$ 6,02	R\$ 60,20	0,02	99,99
SINAPI	(COMPOSIÇÃO REPRESENTATIVA) DO SERVIÇO DE INSTALAÇÃO TUBOS DE PVC, SOLDÁVEL, ÁGUA FRIA, DN 32 MM (INSTALADO EM RAMAL, SUB-RAMAL, RAMAL DE DISTRIBUIÇÃO OU PRUMADA), INCLUSIVE CONEXÕES, CORTES E FIXAÇÕES, PARA PRÉDIOS. AF_10/2015	INHI - INSTALAÇÕES HIDROSANITÁRIAS	M	1,0	R\$ 37,15	R\$ 37,15	0,01	100,00

<b>Total sem BDI</b>	<b>R\$</b>	<b>209.644,64</b>
<b>Total do BDI</b>	<b>R\$</b>	<b>52.404,89</b>
<b>Total Geral</b>	<b>R\$</b>	<b>262.049,53</b>

#### Legenda da curva ABC

	<b>CURVA A</b>		<b>CURVA B</b>		<b>CURVA C</b>
---	----------------	---	----------------	---	----------------