



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

MARIA MARTA ARAÚJO FERNANDES

**ANÁLISE DE UM PROTÓTIPO DE TELHADO VERDE EXTENSIVO  
NO SISTEMA INCLINADO**

Tucuruí - PA  
2019

MARIA MARTA ARAÚJO FERNANDES

**ANÁLISE DE UM PROTÓTIPO DE TELHADO VERDE EXTENSIVO  
NO SISTEMA INCLINADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Civil, do Campus Universitário de Tucuruí, da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. MSc. Grazielle Tigre.

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD  
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará  
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

---

F363a Fernandes, Maria Marta Araújo  
Análise de um protótipo de telhado verde extensivo no sistema  
inclinado / Maria Marta Araújo Fernandes. — 2019.  
83 f. : il. color.

Orientador(a): Prof<sup>a</sup>. MSc. Gazielle Tigre de Souza  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Faculdade de  
Engenharia Civil, Campus Universitário de Tucuruí, Universidade  
Federal do Pará, Tucuruí, 2019.

1. Cobertura verde. 2. Resíduo de construção e demolição.  
3. Sustentabilidade. I. Título.

CDD 624

---

MARIA MARTA ARAÚJO FERNANDES

**ANÁLISE DE UM PROTÓTIPO DE TELHADO VERDE EXTENSIVO  
NO SISTEMA INCLINADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Civil, do Campus Universitário de Tucuruí, da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Data da aprovação: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.

Conceito: \_\_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

---

Profª MSc. Grazielle Tigre de Souza (UFPA)  
(Orientadora)

---

Profº MSc. Marlon Braga dos Santos (UFPA)  
(Examinador Interno)

---

Karen Suely Martins Bernardo, MSc. em Infraestrutura e Desenvolvimento Energético  
(Examinadora Externa)

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho principalmente a Deus. À minha família pelo apoio e incentivo. E aos meus amigos pelo companheirismo. A vocês, nossa eterna gratidão.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, por me guiar e permitir a realização de mais um grande sonho.

À minha mãe Maria Francisca e minhas irmãs Érica e Márcia, por propiciarem o que há de mais fundamental na vida, pelo exemplo, amor, incentivo ao longo do caminho e têm sido a grande razão do meu aperfeiçoamento técnico.

À professora MSc. Grazielle Tigre Souza pelo acompanhamento e orientações à conclusão do trabalho.

Ao meu namorado Mateus Mousinho que me estimulou, apoiou e ajudou durante todo tempo.

A todos os professores da Graduação, pela convivência, ensinamentos durante esses anos e pelo respeito. Com certeza, posso dizer que passar um tempo da minha vida com esses profissionais foram de grande aprendizado pessoal e profissional.

E especialmente aos meus amigos pelas horas de estudo, companheirismo, lazer e cumplicidade, Antonio Macedo, Jonatha Araújo, Steffer Guimarães.

A técnica do Laboratório de Engenharia Civil da UFPA Francirene Bonfim, pelo auxílio nos ensaios laboratoriais.

A equipe da empresa ParáTelhas, pelo suporte de maquinário e mão de obra na etapa de trituração do RCD.

Por fim, agradeço a todos que colaboraram de maneira direta ou indireta para a pesquisa, as quais foram essenciais para que eu alcançasse o objetivo final.

## RESUMO

A construção civil se destaca desde o início da civilização, porém as atividades empregadas nesse setor utilizam um consumo excessivo de recursos naturais, além de gerarem elevadas quantidades de resíduos diversificados. Com o intuito de minimizar os impactos ambientais e tornar as residências autossustentáveis, novas técnicas estão sendo empregadas, dentre elas o telhado verde se destaca por ser uma das técnicas ecológicas indicadas para minimizar os distúrbios climáticos decorrentes da urbanização. Neste aspecto o objetivo principal dessa pesquisa é avaliar a viabilidade técnica de um telhado verde extensivo no sistema inclinado, utilizando Resíduos de Construção e Demolição (RCD) na camada drenante, como uma nova opção de reaproveitamento desse resíduo. Para isso, foram produzidos protótipos, a fim de avaliar o desempenho da cobertura verde, após a avaliação das características do RCD com os ensaios de caracterização, tais como, distribuição granulométrica, massa específica, absorção e massa unitária, analisando o desempenho deste material como camada drenante na composição do protótipo de telhado verde. Os resultados obtidos no procedimento experimental, comprovaram a eficiência, tanto da cobertura verde funcionando como isolante térmico, amenizando as variações de temperaturas, como do RCD apresentando um potencial tecnológico e ecológico para uso na camada drenante do sistema, a sobrecarga adicionada na estrutura proveniente da implantação do telhado verde à cobertura, em sua condição extrema (saturada), ao final do protótipo foi de 100,4 Kg/m<sup>2</sup>, dentro dos padrões do sistema extensivo em relação as patologias do sistema de telhado verde empregado se mostrou promissor, pois não notou-se alterações que pudessem comprometer a estabilidade do sistema. Assim, a pesquisa representou alternativas que contribuem para a sustentabilidade na construção civil, visando minimizar impactos negativos causados pelo crescimento repentino do município de Tucuruí – PA, além de incentivar a sustentabilidade na região.

Palavras chave: Cobertura Verde. Resíduo de Construção e Demolição (RCD). Sustentabilidade.

## ABSTRACT

Civil construction has stood out since the beginning of civilization, but the activities employed in this sector use excessive consumption of natural resources and generate high amounts of diversified waste. In order to minimize environmental impacts and make homes self-sustainable, new techniques are being employed, among them the green roof stands out for being one of the ecological techniques indicated to minimize climate disturbances resulting from urbanization. In this aspect the main objective of this research is to evaluate the technical viability of an extensive green roof in the inclined system, using Construction and Demolition Waste (CDW) in the draining layer, as a new option for reuse of this waste. For this, prototypes were produced in order to evaluate the performance of the green cover, after the evaluation of the characteristics of the CDW with the characterization tests, such as particle size distribution, specific mass, absorption and unit mass, analyzing the performance of this material as draining layer in the composition of the green roof prototype. The results obtained in the experimental procedure proved the efficiency of both the green roof acting as a thermal insulator, softening the temperature variations, and the CDW presenting a technological and ecological potential for use in the draining layer of the system, the added overload in the structure from the implementation of the green roof to the roof, in its extreme condition (saturated), at the end of the prototype was 100.4 Kg / m<sup>2</sup>, within the extensive system standards in relation to the pathologies of the green roof system employed was promising, since it did not changes were noted that could compromise system stability. Thus, the research represented alternatives that contribute to sustainability in construction, aiming to minimize negative impacts caused by the sudden growth of the city of Tucuruí - PA, in addition to encouraging sustainability in the region.

Keywords: Green Coverage. Construction and Demolition Waste (RCD). Sustainability.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplos de implantação bem-sucedidas. ....	23
Figura 2 – a) Edifício residencial Waldspirale, Alemanha e b) Academia de Ciências da Califórnia, EUA. ....	24
Figura 3 – a) Universidade de Tecnologia e Design, em Singapura e b) Restaurante do Mc'Donalds, em Singapura. ....	25
Figura 4 – Telhado verde do hotel Fairmont, Vancouver- Canadá. ....	25
Figura 5 – Rancho Fjordland em Pedra Azul - SC. ....	26
Figura 6 – Telhado jardim do Palácio Gustavo Capanema - RJ.....	26
Figura 7 – Sede do Ecotelhado em POA - RS.....	27
Figura 8 – Ponto de ônibus: a) Caxias do Sul - RS; b) Garopaba - SC e c) Salvador - BA.....	27
Figura 9 – a) Nova York, Bus Roots e b) Espanha Move Verde. ....	28
Figura 10 – Processos do ciclo hidrológico.....	34
Figura 11 – Sistema de cobertura verde sobre laje e sobre telhado (inclinado).....	36
Figura 12 – Fluxograma da pesquisa. ....	44
Figura 13 – Mapa de Localização do Município de Tucuruí - PA. ....	44
Figura 14 – Procedência do RCD utilizado no protótipo.....	47
Figura 15 – RCD recolhido e já efetuado a triagem do material. ....	47
Figura 16 – RCD sendo processado em um triturador de mecanismo de mandíbula. ....	48
Figura 17– Agitador mecânico e amostras retidas em cada peneira. ....	49
Figura 18 – Agitador mecânico e amostras retidas em cada peneira.....	49
Figura 19 – Pesagem submersa. ....	50
Figura 20 – Enchimento e rasamento da amostra de RCD em um recipiente cúbico.....	53
Figura 21 – Tradescantia Spathacea (Abacaxi Roxo).....	55
Figura 22 – Aquisição das mudas (Tradescantia Spathacea) utilizadas no protótipo.....	56
Figura 23 – Protótipo 1 e 2 desenvolvidos no programa SketChup 2017.....	57
Figura 24 – Madeira utilizada nos protótipos já com as dimensões corretas.....	58
Figura 25 – Estrutura concluída e confecção e posicionamento da calha.....	58
Figura 26 – Colocação das telhas e calhas. ....	59
Figura 27 – Vedação externa e interna.....	59
Figura 28 – Impermeabilização do telhado e paredes.....	60

Figura 29 – Segunda camada impermeabilizante de lona. ....	61
Figura 30 – Espessura da camada drenante. ....	61
Figura 31 – Tecido utilizado para evitar a passagem do substrato para a camada drenante. ...	62
Figura 32 – Colocação do substrato e espessura final de 4 cm. ....	62
Figura 33 – a) Primeiro dia após o plantio das mudas e b) Desenvolvimento das mudas após 30 dias do plantio. ....	63
Figura 34 – Termômetro infravermelho utilizado para medir as temperaturas dos Protótipos. ....	64
Figura 35 – Protótipo 2 após aproximadamente 3 meses do plantio. ....	72
Figura 36 – Desenvolvimento da Tradescantia Spathacea. ....	73
Figura 37 – a) Enraizamento e b) Espessura de quase 4 cm. ....	73

## LISTA DE TABELA

Tabela 1– Características dos tipos de telhado verde. ....	32
Tabela 2 – Coeficiente de escoamento de telhados verdes. ....	35
Tabela 3 – Definição e composição do telhado de sistema sobre laje e telhado inclinado. ....	37
Tabela 4 – Resultado do desenvolvimento das plantas em ensaio preliminar de agricultura urbana realizado em Porto Alegre - RS, no período do dia 5 de janeiro de 2015 ao dia 5 de março de 2015. ....	38
Tabela 5 – Característica da argila expandida. ....	39
Tabela 6 – Classes do RCD segundo o CONAMA 307. ....	41
Tabela 7 – Dados climatológicos para o município de Tucuruí. ....	45
Tabela 8 – Materiais utilizados nos protótipos. ....	46
Tabela 9 – Quadro comparativo de características gerais da Tradescantia Spathacea e Arachis repens. ....	55
Tabela 10 – Resultados da análise granulométrica. ....	66
Tabela 11 – Resultados obtidos com o ensaio do RCD. ....	67
Tabela 12 – Determinação da massa unitária. ....	68
Tabela 13 – Valor dos materiais utilizados no protótipo de telhado verde. ....	74

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Curva Granulométrica do RCD.....	67
Gráfico 2 – Comparação de temperaturas para o ensaio de desempenho térmico. ....	70

## LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS E MEDIDAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IFPA – Instituto Federal do Pará de Ciência e Tecnologia

IGRA – *International Green Roof Association*

NBR – Norma Brasileira

NM – Norma Mercosul

RCD – Resíduo de Construção e Demolição.

PNMA – Política Nacional do Meio Ambiente

PA – Pará

UFPA – Universidade Federal do Pará

UHE – Usina Hidroelétrica

CO<sup>2</sup> – Dióxido de Carbono

cm – Centímetro

cm<sup>3</sup> – Centímetro cúbico

g – Grama

Kg – Quilo

Km – Quilometro

m – Metro

m<sup>2</sup> – Metro quadrado

m<sup>3</sup> – Metro cúbico

mm – Milímetro

Und. – Unidade

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	15
<b>1.1. Objetivos</b> .....	16
1.1.1. Objetivo Geral .....	16
1.1.2. Objetivos Específicos.....	17
<b>1.2. Justificativa</b> .....	17
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	20
<b>2.1. Sustentabilidade aplicada às edificações</b> .....	20
<b>2.2. Telhados Verdes</b> .....	21
2.2.1. Contexto Histórico .....	22
2.2.2. Legislação.....	28
2.2.3. Tipos e Características de Telhado Verde .....	31
2.2.4. Vantagens e Desvantagens .....	32
2.2.5. Composição do telhado verde.....	36
2.2.6. Custo, manutenção e vida útil dos telhados verdes .....	39
<b>2.3. Resíduos de Construção e Demolição – RCD</b> .....	40
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	43
<b>3.1. Caracterização da Região de Tucuruí - PA</b> .....	44
<b>3.2. Desenvolvimento dos protótipos para análise</b> .....	46
3.2.1. Materiais.....	46
3.2.2. Execução dos protótipos.....	57
Etapa 1: Projeto.....	57
Etapa 2: Estrutura.....	57
Etapa 3: Superestrutura.....	58
Etapa 4: Telhado verde.....	60
<b>4. RESULTADOS</b> .....	66

<b>4.1. Resultados dos Ensaio de Caracterização do RCD</b> .....	66
4.1.1. Análise da distribuição granulométrica .....	66
4.1.2. Resultados do Ensaio de Massa Específica .....	67
4.1.3. Resultados do Ensaio de Massa Unitária e Volume de Vazios.....	68
4.1.4. Resultado do peso excedente relacionado a adição do telhado verde .....	68
<b>4.2. Resultados dos Ensaio de Desempenho e Custo Adicional do Telhado Verde</b> .....	70
4.2.1. Desempenho térmico.....	70
4.2.2. Drenagem .....	71
4.2.3. Patologias relacionados ao telhado verde.....	73
4.2.4. Custo adicional .....	74
<b>5. CONCLUSÃO</b> .....	75
<b>5.1. Sugestões para Trabalhos Futuros</b> .....	76
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	77

## 1. INTRODUÇÃO

A construção civil se destaca desde o início da civilização, com a necessidade de construção de abrigos que proporcionassem segurança e protegessem das intempéries ambientais e armazenamento. A utilização de materiais locais associado às condições ambientais era a forma como se desenvolveram as construções das primeiras civilizações. Com o aumento deste número, tais materiais foram ficando escassos o que gerou uma demanda ainda maior de recursos e conseqüentemente gerando mais impactos ambientais (CHEHEBE, 1997).

Neto (2010) complementa que tais acontecimentos alimentam a pesquisa científica, a qual se baseia na pesquisa e desenvolvimento de novos processos e materiais que gerem menor impacto ao meio ambiente e minimizem o consumo energético. Com o tempo essa prática de construção vem passando por um processo de evolução e aprimoramento de novos métodos e materiais e vem sendo assim até a atualidade.

Essa necessidade de adaptação em relação a construção civil, de acordo com Junior (2013), se deve a sua grande influência no meio urbano, a utilização de muitos dos recursos naturais não renováveis e pelo fato de ser responsável por um significativo percentual dos resíduos sólidos produzidos, onde os mesmos quando dispostos em locais inapropriados contribuem para a degradação da qualidade ambiental.

Segundo Saleiro Filho *et al.* (2015), com a revolução industrial no século XIX, houve um intenso crescimento dos centros urbanos, ocasionando a diminuição das áreas verdes e a impermeabilização do solo, no qual modificou substancialmente o domínio morfoclimático existente. Huang *et al.* (2009), complementa que essas alterações nas propriedades térmicas do solo, altera o balanço de energia na superfície, na circulação do ar atmosférico, gerando uma grande quantidade de calor residual levando a uma série de mudanças no ecossistema urbano.

Tais mudanças têm um efeito direto sobre o clima local das cidades, principalmente as partes centrais mais adensadas, causando um aumento significativo da temperatura do ar e outras alterações conhecidas como os efeitos da ilha de calor resultando em condições climáticas desagradáveis e colocando em perigo a saúde humana, especialmente cidades com climas quentes (KOPPE *et al.*, 2004; WHITE *et al.*, 2001).

Nesse sentido surgiram várias técnicas, novas possibilidades e aprimoramento para o mercado construtivo no desenvolvimento de um país, visando a minimização dos possíveis

impactos ambientais, a fim de conciliar o desenvolvimento com a sustentabilidade, alguns exemplos são: a reciclagem dos Resíduos de Construção e Demolição – RCD, novas fontes de energias renováveis (eólica, solar e biodiesel), novos materiais e métodos construtivos, no qual podemos destacar o telhado verde.

Para minimização dos efeitos negativos da construção civil e compensar o meio ambiente o telhado verde é uma solução eficiente, já vem sendo adotada em muitas partes do mundo, principalmente na Europa, como um meio de minimizar os impactos impostos pela impermeabilização das grandes cidades (SILVA, 2011).

Segundo Rangel *et al.* (2015), telhado verde, consiste em um sistema construtivo eficiente no planejamento urbano, onde tem como função principal o aumento das áreas verdes, auxiliando na diminuição das ilhas de calor e conseqüentemente amenizando as temperaturas internas do imóvel no qual essa cobertura foi empregada, oportunizando, assim, a melhoria da qualidade do meio ambiente.

Em geral, todo tipo de sistema de telhado tem seus benefícios, limitações e cuidados. A adoção desse tipo de sistema de telhado verde, traz vantagens para o meio ambiente e para a sociedade. Uma vez que os impactos negativos causados ao meio ambiente estão diretamente ligados aos efeitos antrópicos, ou seja, provenientes da ação do homem.

No Brasil, esse sistema verde vem sendo mais adotado na Região Sul do país, nas demais regiões essa ideia ainda não é muito difundida. Mas em âmbito no plano nacional, dentre as ações pontuais nos Estados e municípios brasileiros, têm-se exemplos em São Paulo, Rio de Janeiro, Santa Catarina e João Pessoa.

A temática deste trabalho propõe avaliar a possibilidade de implantação de um telhado verde extensivo no sistema inclinado no município de Tucuruí-PA, através de análises de dados provenientes da execução de um protótipo.

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. Objetivo Geral**

Avaliar a viabilidade de implantação de um telhado verde extensivo no sistema inclinado no município de Tucuruí – PA.

### 1.1.2. Objetivos Específicos

- Analisar a viabilidade de utilização de RCD como camada drenante em telhado verde;
- Avaliar o desempenho térmico do sistema;
- Avaliar a drenagem e as possíveis patologias;

## 1.2. Justificativa

Com desenvolvimento de uma cidade, verifica-se menos disponibilidade de áreas verdes, e a impermeabilização por asfalto e calçadas da maioria do espaço aberto aumentando a chance de inundações e o desconforto térmico, entre outros. O papel da natureza urbana na regulamentação do ambiente urbano vem sendo considerada cada vez mais, dentro de suas funções inclui a redução da drenagem urbana, da demanda energética, mitigar o efeito estufa, retirar e reduzir a emissão de gás carbônico (PESSANHA, 2017).

Na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento – CNUMAD (1992), mais conhecida como RIO 92, ficou claro a necessidade de conciliar o desenvolvimento socioeconômico com a utilização dos recursos naturais. Começando a moldar ações com o objetivo de proteger o meio ambiente, onde a conservação ambiental deve ser tratada de igual importância com o desenvolvimento econômico para garantir a qualidade de vida da atual e futura gerações.

Embasados, na Política Nacional do Meio Ambiente – PNMA, Lei nº 6938 (1981), o planejamento e as políticas ambientais têm sido tratadas no Direito Ambiental, fundamentado em vários princípios do desenvolvimento sustentável, do direito à sadia qualidade de vida, da natureza pública, da proteção ambiental e da prevenção.

A partir dessa temática, vem se buscando novas técnicas de construir com responsabilidade e sustentabilidade, o telhado verde veio para dar suporte a esse campo, proporcionando um leque de benefícios quando bem empregados na área urbana, que geram uma mitigação dos impactos ambientais negativos provenientes da urbanização que alteram o microclima urbano, assim desempenhando a regulamentação do ambiente melhorando a qualidade do ar, aumentando a biodiversidade urbana e gerando uma valorização imobiliária (RANGEL, 2015).

Uma vez que os sistemas de coberturas exercem funções importantes nas edificações habitacionais, no qual os mesmos devem ser planejados e executados de forma a proteger os

demais sistemas, os quais contribuem para preservação da saúde dos usuários, proteção do corpo da própria construção, interferindo diretamente na durabilidade e vida útil dos demais elementos que a compõem. Sendo estes requisitos de desempenho exigidos dos sistemas de coberturas especificados pela ABNT NBR 15575-5:2013.

A ABNT 15575-5:2013, define também que o telhado além de desempenhar as principais funções do sistema de cobertura, corresponde ao impedimento da infiltração de umidade proveniente das intempéries, chuvas e radiação solares diretas, devem garantir o conforto térmico dos usuários e minimizar consumo de energia para acionamento de equipamentos de ventilação forçada e/ou condicionamento artificial do ar que são necessários devido a influência direta na carga térmica transmitida aos ambientes no qual gera o desconforto térmico.

Neste cenário, verifica-se que o município de Tucuruí, localizado no estado do Pará sofre com altas temperaturas provenientes do clima equatorial da região. Seguindo a norma Projeto 02:135.07-001/3, a cidade pertence a Zona Bioclimática 8, que deve apresentar as estratégias bioclimáticas F (zona de desumificação), J (zona de ventilação) e K (zona de refrigeração artificial). De acordo com os dados obtidos do *IMET* (2018), a temperatura média no município varia entre 22°C e 35°C não ultrapassando os 38°C, tais valores acarretam uma elevada sensação térmica durante o ano, também devido à alta umidade, a qual varia entre 50% a 90%.

Dessa maneira tem-se a possibilidade de se empregar o telhado verde como uma opção na minimização dessas variações de temperaturas, no qual irá trabalhar como camada de isolante térmico tornando as temperaturas internas mais agradáveis no verão e no inverno. Outros benefícios a serem alcançados seriam um menor gasto com energia elétrica (centrais de ar condicionados), serve de paisagismo e fonte de purificação do ar urbano, minimiza as ilhas de calor e o risco de inundações, sendo considerada uma implantação de baixo custo levando em conta os benefícios.

As camadas do telhado verde além de se comportar como isolante térmico funcionariam também como um filtro natural da água pluvial, que após devidamente armazenada seria utilizada para a irrigação de jardins, nas bacias sanitárias e/ou no chuveiro e com o devido tratamento poderia se cozinhar e beber.

Santos e Gouveia (2014) afirmam ainda que, a Unidade de Propagação e Conservação de Plantas - UPCP, que faz parte do Programa de Germoplasma Ambiental, é responsável pela coleta, beneficiamento e armazenamento das sementes, além catalogação das espécies inserindo-as em um banco de dados, objetivando a doação de mudas e sementes, e promover o desenvolvimento de pesquisas. Porém dentre essas espécies inclusas no projeto, as espécies rasteiras de pequeno porte não foram inseridas, pois a prioridade eram as madeiras de lei de grande porte.

Marinho (2012) desenvolveu um estudo higrotérmico de uma cobertura vegetal na região Amazônica, que visa a formação de pequenos ecossistemas, favorecendo a qualidade do ar, a drenagem urbana, e principalmente a avaliação da eficiência energética. Apesar de desenvolver vários estudos no aspecto de amenizar os impactos ambientais negativos provenientes das atividades antrópicas, a temática Cobertura Verde, na região Norte, ainda é bem carente.

O sistema de telhado verde vem sendo disseminado há algum tempo no Brasil, porém sua utilização tem sido mais crescente na região sul do país, já na região norte sua implantação ainda é tímida. No entanto essa pesquisa, fomenta a necessidade de um estudo de implantação e avaliação desse sistema de telhado verde, através de um sistema construtivo coerente com o clima, plantas e materiais disponíveis da própria região, no qual não há casos confirmados de implantação, até o momento, desse sistema de telhado verde do município de Tucuruí-PA.

Outro fator relevante é a adequação do material empregado na camada drenante, agregado reciclado como material alternativo proveniente do RCD, minimizando a disposição irregular destes resíduos auxiliando na redução do impacto ambiental negativo sobre o ecossistema da região, uma vez que o município não possui um aterro sanitário adequado e muito menos uma destinação correta para esse tipo de resíduo de construção.

A temática da pesquisa, surgiu devido à perda em grande escala da vegetação nativa da região, ocasionada pelo processo de urbanização da cidade que se deu de forma brusca com a construção da Usina Hidrelétrica de Tucuruí, logo com essas perdas e o adensamento populacional, acarretou na potencialização da sensação térmica na região do município. Nesse contexto, baseados nos desafios encontrados diariamente na visão de sustentabilidade, um menor consumo de energia para a utilização do ambiente com conforto e melhorando a qualidade de vida.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Sustentabilidade aplicada às edificações

O princípio da sustentabilidade vem permeando os discursos e sendo difundido como um sinal que reorienta o processo civilizatório da humanidade. Atualmente muito se fala em sustentabilidade em projetos para o reaproveitamento de água, de materiais recicláveis e geração de energia limpa. Essa mentalidade se desenvolveu a partir de 1970 e através das políticas governamentais, as quais priorizam tratar as questões ambientais de modo integrado e introduzir uma abordagem preventiva (BARBIERI, 2007).

Faria (2015), enfatiza que no século XXI a sociedade enfrenta uma complexa crise urbana, compostos pelas crises hídrica e energética, drásticas mudanças climáticas, além do conflituoso quadro econômico. Logo, a necessidade de se buscar soluções significativas que integrem a preservação do meio ambiente e otimização de recursos financeiros.

A Associação Green Building Concil Brasil e a Revista Engenharia (2018), relatam que os resíduos sólidos da construção civil, mesmo oferecendo pouco risco relacionado aos demais, são de grande volume, correspondia a 50% do volume total de resíduos sólidos urbanos onde grande parte é despejada em locais inapropriados, indicando que a indústria da construção civil mundial seria pouco sustentável devido aos recursos naturais utilizados e por ser responsável por cerca de 25% a 30% de gases lançados na atmosfera.

No Art 2º da Política Nacional do Meio Ambiente – PNMA, Lei nº 6.938/81, indica que o objetivo principal da mesma é a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, condições ao desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana para as gerações atuais e futuras, para que esse direito seja cumprido, estipulou alguns princípios que deveriam ser atendidos.

*“I - ação governamental na manutenção do equilíbrio ecológico, considerando o meio ambiente como um patrimônio público a ser necessariamente assegurado e protegido, tendo em vista o uso coletivo;*

*II - racionalização do uso do solo, do subsolo, da água e do ar;*

*III - planejamento e fiscalização do uso dos recursos ambientais;*

*IV - proteção dos ecossistemas, com a preservação de áreas representativas;*

*V - controle e zoneamento das atividades potencial ou efetivamente poluidoras;*

*VI - incentivos ao estudo e à pesquisa de tecnologias orientadas para o uso racional e a proteção dos recursos ambientais;*

*VII - acompanhamento do estado da qualidade ambiental;*

*VIII - recuperação de áreas degradadas;  
IX - proteção de áreas ameaçadas de degradação;  
X - educação ambiental a todos os níveis de ensino, inclusive a educação da comunidade,  
objetivando capacitá-la para participação ativa na defesa do meio ambiente.”*

A sustentabilidade ambiental já vem sendo implantada para melhorar a qualidade de vida da população, principalmente ligada a construção civil já que é uma atividade de suma importância para o desenvolvimento de um país e consome boa parte dos recursos naturais não renováveis. Com isso, se torna crucial essa busca de novas técnicas construtivas e materiais que otimizam a eficácia e eficiência de uma construção e que conseqüentemente minimizem os impactos ambientais.

## **2.2. Telhados Verdes**

O telhado verde é um sistema construtivo que consiste no plantio de vegetais sobre certa espessura de substrato capazes de funcionar como suporte dos mesmos, e estes diretamente sobre telhados, lajes ou estruturas de cobertura com impermeabilização e drenagem adequadas, mas sempre observando se a carga prevista será suportada pela estrutura disponibilizada (VECCHIA, 2005). Reda *et al.* (2012), complementa que essa técnica veio ganhando atenção em função dos benefícios que tem apresentado em relação à gestão urbana ecologicamente correta.

Cormier *et al.* (2008), enfatizam que a infra-estrutura verde pode ser vista como uma rede de espaços interconectados, no planejamento urbano e regional, compostos de áreas naturais e outros tipos de espaços abertos construídos, ao adotarem tais tecnologias, conservam os valores dos ecossistemas naturais, permitindo que a natureza retome seus ciclos e suas funções, tais como os mananciais, o controle ambiental, a regulação climática, a recreação e o lazer, provendo uma ampla gama de benefícios à cidade e à sociedade.

Uma das principais características do telhado verde é que, o mesmo, pode ser aplicado em telhados ou lajes já existentes, convertendo a superfície em um espaço multifuncional, utilizando, para isso, a vegetação. No entanto, deve se levar em consideração, se essa mesma estrutura suportará peso da carga provenientes das camadas de composição do telhado verde, além do cuidado com a impermeabilização e drenagem adequada. Tomando as precauções adequadas no início de implantação do projeto, dificilmente acarretará problemas de patologias que prejudiquem a estrutura do imóvel.

O telhado verde, devido as suas diversas características e particularidades, se torna ajustável e se adapta a qualquer necessidade, a alteração climática entres os países que esse tipo de cobertura foi empregado, é bem visível, e o mesmo se mostrou viável e eficiente. No Brasil, existe uma diferença climática entre as regiões do país que possuem um clima e vegetações bem características, devido sua grande extensão territorial, uma técnica e vegetação utilizada na região sul, por exemplo, pode não funcionar na região norte, logo há a necessidade de se conhecer esses fatores e as necessidades do projeto.

### 2.2.1. Contexto Histórico

Fatos históricos narram que na Mesopotâmia, no século VI a.C., o rei Nabucodonosor ordenou a construção dos Jardins Suspensos na Babilônia, de certa forma foi uma das primeiras concepções do conceito de telhado verde. Os jardins eram compostos por cerca de seis níveis de terraços contendo plantas de pequeno e grande porte, incluindo árvores frutíferas, irrigados pelas águas rio Eufrates, por um sistema de roldanas, segundo Osmundson (1999), e o objetivo daquela civilização, ao fazer uso desta técnica, era manter o ciclo hidrológico e seu ótimo desempenho térmico.

No período de 1970, devido a crescente preocupação ambiental, especialmente em áreas urbanas, ocorreram diversas conferencias mundiais naquela época, como a conferência de Estolcomo em 1972 e a Rio 92, que relataram e abordaram as necessidades de conservação dos ambientes naturais, assim criando oportunidades para introduzir pensamento ambiental, política e tecnologia progressistas, no qual foram a base para a construção de técnicas de conservação na Alemanha.

Heneide (2008), enfatiza que na década de 70, na Alemanha, foram publicados muitos artigos e livros sobre cobertura verde, afim de comprovar a eficiência desse tipo de cobertura, que iam muito além de jardins de cobertura, logo, iniciou-se uma nova fase no processo de desenvolvimento dessa técnica. Essa nova perspectiva se destacou devido ao artigo denominado de “Luxo ou Necessidade?”, escrito por um professor paisagista e arquiteto Hans Luz, que propôs que o telhado verde era parte de uma estratégia de melhoramento ambiental urbano.

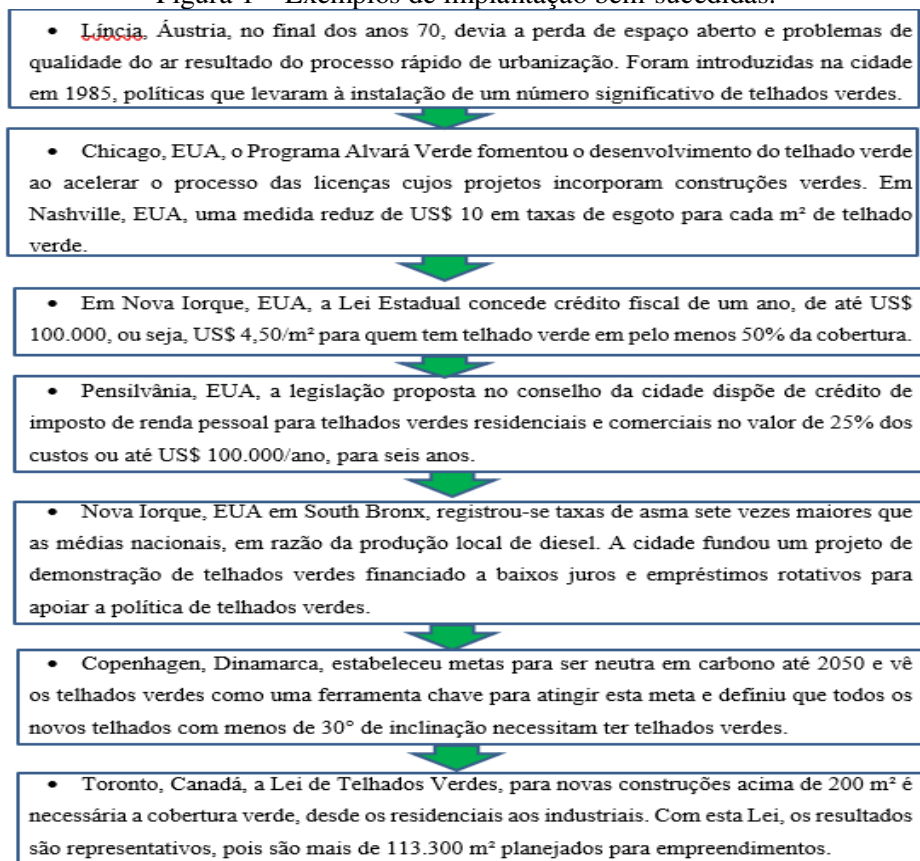
A tecnologia de telhado verde foi rapidamente adotada por causa de seus amplos benefícios ambientais, e a pesquisa interdisciplinar levou a diretrizes técnicas, cujo primeiro volume foi publicado em 1982 pela Sociedade de Paisagem, Pesquisa, Desenvolvimento e

Construção (FLL, 2002). Muitas cidades alemãs, desde então, introduziram programas de incentivo para promover a tecnologia de telhado verde e melhorar os padrões ambientais.

A partir de então esse sistema passou a ser aperfeiçoado e difundido ao redor do mundo. A tecnologia dos telhados verdes vem sendo aplicada de forma crescente, assim como, o aperfeiçoamento das técnicas construtivas, a melhoria e a qualidade dos materiais empregados na implantação do sistema (OHNUMA JR., 2008). Atualmente, devido a esse aprimoramento, existem vários tipos de técnicas e propósitos para os sistemas de telhado verde, que fornecem funções similares, porém são compostos de materiais e modos de implementação diferentes.

Segundo Rangel *et al.* (2015), a Alemanha foi o primeiro país a desenvolver padrões nacionais de telhado verde, pois receberam apoio nos níveis nacional, regional e local, em seu processo de implantação, e atualmente mais de 80 cidades alemãs oferecem programas de incentivo de telhado verde. Nesse sentido mais de 15% do território alemão, aproximadamente 100 mil hectares, possuem telhados verdes. Na Figura 1, tem-se um fluxograma contendo outros exemplos de países que adotaram políticas e programas de desenvolvimento do sistema de telhado verde.

Figura 1 – Exemplos de implantação bem-sucedidas.



Fonte: Rangel *et al.* (2015).

Ainda nesse contexto, um exemplo histórico e arquitetônico é o edifício residencial Waldspirale (Figura 2a), denominado como floresta em espiral, situado em Darmstad na Alemanha, que além de materializar uma arquitetura orgânica, adota o sistema de natureza intensiva, foi desenvolvido pelos arquitetos Hundertwasser e Springmann no período de 1998 a 2000.

A Academia de Ciências da Califórnia, também considerada um marco no desenvolvimento do telhado verde, foi concebida pelo arquiteto Renzo Piano no período de 2000 a 2008, o telhado é uma área ondulada onde são cultivadas 1,7 milhão de plantas nativas, integrando com o lugar e assim o edifício se mescla com a paisagem do Parque Golden Gate (Figura 2b).

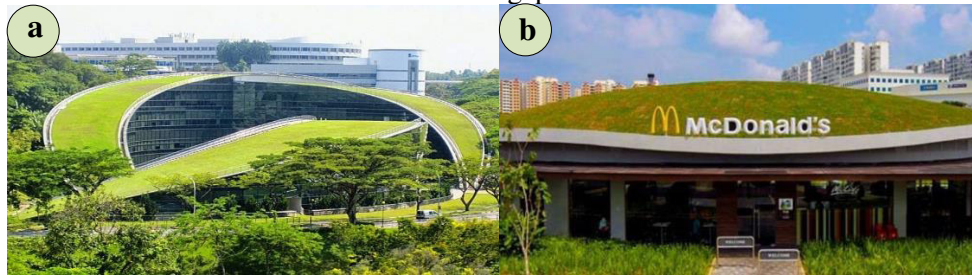
Figura 2 – a) Edifício residencial Waldspirale, Alemanha e b) Academia de Ciências da Califórnia, EUA.



Fonte: a) Turista Ocasional (2012) e b) Academia de Ciências.

Em Singapura, a Universidade de Tecnologia e Design ostenta sua cobertura verde combinado com as curvas, os espaços cheios e vazios da construção com inclinação suave da cobertura e o intuito de criar a impressão de que o prédio e a paisagem do entorno se misturam (Figura 3 a). Outro exemplo, é o restaurante do Mc'Donalds, o qual ganhou uma cobertura ecológica, instalado em um parque local para que se integralizasse no ambiente natural e também para devolver o espaço verde que foi perdido quando o restaurante foi construído (Figura 3 b).

Figura 3 – a) Universidade de Tecnologia e Design, em Singapura e b) Restaurante do Mc'Donalds, em Singapura.



Fonte: PET Engenharia Civil UEM.

Outro exemplo, segundo Rocha (2014), o hotel Fairmont em Vancouver no Canadá, inaugurou em 1991 o primeiro telhado verde na cidade, utilizaram uma laje de área de 2100 m<sup>2</sup> para o cultivo de mais de vinte variedades de folhagens, ervas, temperos, hortaliças, frutas e flores, no qual a maioria dessas espécies de vegetação são utilizadas como produto orgânico na cozinha do hotel, gerando uma economia de mais de 30 mil dólares/ano. O hotel também comporta seis colmeias de abelhas que produzem um mel de altíssima qualidade (Figura 4).

Figura 4 – Telhado verde do hotel Fairmont, Vancouver- Canadá.



Fonte: Rocha (2014).

Em âmbito nacional, o telhado verde, ainda não possui uma grande demanda de implantação, não há incentivos e nem informações necessárias para seu desenvolvimento em todo o país. No entanto percebe-se um avanço nesse tipo de cobertura alguns estados brasileiros principalmente a região sul do país, no qual já foram constados alguns casos de telhado verde.

Como exemplo tem-se uma reportagem para o G1 (2011), no município de Domingos Martins, localizado na região Serrana do Espírito Santo em 1998, no Rancho Fjordland em Pedra Azul, foi implantado a cobertura verde em quase todas as suas instalações, como demonstrado na (Figura 5), de acordo com o engenheiro agrônomo Edimar Binotti.

Figura 5 – Rancho Fjordland em Pedra Azul - SC.



Fonte: [https://www.ferias.tur.br/thumbnailcli/35067/900/500/g\\_3.jpg](https://www.ferias.tur.br/thumbnailcli/35067/900/500/g_3.jpg).

Outro empreendimento que pode ser citado na utilização do sistema de telhado verde é o Palácio Gustavo Capanema (Figura 6), que atualmente é sede do Ministério da Cultura do Rio de Janeiro.

Figura 6 – Telhado jardim do Palácio Gustavo Capanema - RJ.



Fonte: Gazeta do Povo (2015).

No momento existem poucas empresas que se especializaram nesse tipo de comércio, logo o custo de implantação desse tipo de cobertura é elevado. Nesse sentido, em 2005, surgiu a Ecotelhado, uma empresa brasileira, com a missão de devolver o verde para os centros urbanos. Através do desenvolvimento e fornecimento de produtos e serviços criativos e sustentáveis, diminuindo os danos ambientais causados pelo crescimento populacional, pela falta de planejamento e poluição das grandes cidades (Figura 7).

Figura 7 – Sede do Ecotelhado em POA - RS.



Fonte: Ecotelhado Design Biofílico (2018).

A aplicação do sistema de cobertura verde é ampla, ela pode ser empregada em várias áreas dentro de um município. Também há indícios que estes sistemas podem ser implantados nos telhados de pontos de ônibus, os quais em alguns casos sua aplicação é conjunta com placas solares (Figura 8a), (GALDINHO, 2017). A cidade de Garopaba, em uma reportagem da redação Notícias In Foco (2016), também aderiu o telhado verde em 2 pontos de ônibus (Figura 8b), a cidade de Salvador é um outro exemplo (Figura 8c).

Figura 8 – Ponto de ônibus: a) Caxias do Sul - RS; b) Garopaba - SC e c) Salvador - BA.



Fonte: a) Foto de divulgação; b) Ailton Rodrigues (2016) e c) Blog Florisa (2014).

Devido a versatilidade do telhado verde, é possível que possam ser empregados como tetos ecológicos em ônibus urbanos. Segundo Marina Franco (2016), para o Blog Planeta Sustentável, descreve que já existe na cidade de Nova York - EUA o projeto *Bus Roots* (Figura 9a). A Espanha, também adotou esse sistema em alguns ônibus, denominados “Move Verde” (Figura 9b), *website* ARISP (2017). Ambos exemplos mostram que para reduzir

consideravelmente os níveis de emissão de gases poluentes, aumentar a área verde disponível, é uma questão de grande importância.

Figura 9 – a) Nova York, Bus Roots e b) Espanha Move Verde.



Fonte: a) Franco, 2016. e b) Sustentabilidade ARISP (2017).

### 2.2.2. Legislação

Para uma forma correta e com menos riscos de implantação, é necessário a adoção de um planejamento e uma técnica construtiva que ofereça uma segurança, ou seja, devem existir recomendações básicas de construção, normas construtivas, as quais devem ser seguidas dando um respaldo tanto para quem oferece o serviço, como para quem contrata. Uma vez que, como esse tipo de sistema ainda não é bem difundido no país, os modelos construtivos são baseados pelos modelos de sucessos empregados nos outros países.

As bases legais para a construção de telhados verdes, na Alemanha, tiveram um grande efeito na implementação generalizada e no sucesso dessa tecnologia em todo país. Foram aprovadas leis de construção que exigem a implantação de telhados verdes em muitos centros urbanos (KÖHLER e KEELEY, 2005). Com isso, a área de cobertura verde da Alemanha vem aumentando 13,5 milhões m<sup>2</sup> por ano (RANGEL *et al.*, 2015).

Haemmerle (2002), estimou um crescimento de 14%, de coberturas verdes, em cima dos novos telhados planos na Alemanha e que telhados verdes inclinados também se desenvolveram e se tornando mais acessíveis na revitalização dos bairros. Os projetos de lei que determinam a obrigatoriedade da adoção de tetos verdes em edificações surgem como medida para contribuir com a melhoria do conforto e da saúde humanos e com a redução do consumo de energia nos edifícios.

Para Sharman (2014), no *website* City of Sidney, em matéria denominada “Green Roofs and Walls Policy Implementation Plan”, as políticas indutoras para o estímulo da instalação de

telhados e paredes verdes são os incentivos diretos, tais como subsídios e subvenções, os incentivos financeiros indiretos, como redução de taxas e gratificações, os regulamentos e normas de incentivo e por fim os incentivos intangíveis, como a pesquisa, a educação, prêmios, programas específicos e orientação técnica.

Já em contexto nacional, em 2009, foi aprovado em primeira ordem, no estado de São Paulo, um projeto que prevê a criação do Programa Telhado Verde extensivo a todos os prédios com mais de três andares, porém, com o passar do tempo houve um desestímulo na área, logo não teve o progresso esperado. Alguns edifícios, tais como, o prédio da Prefeitura, o Edifício Conde Matarazzo, e algumas multinacionais na Avenida Brigadeiro Faria Lima, adotaram as áreas ajardinadas em seus telhados (ZANCHETTA E BURGARELLI, 2012).

Nos demais estados brasileiros, já existem leis sancionadas e alguns outros projetos de leis que tratam das ferramentas verdes do urbanismo, nos quais o telhado verde se destaca como principal ferramenta, como por exemplo Santa Catarina com a Lei nº 14.243, de 11 de dezembro de 2007, que dispõe sobre a implementação de sistemas de naturezação, um processo de criação de biótopos no meio da cidade conectados por corredores verdes através da criação de telhados verdes em espaços urbanos afim de trazer benefícios ecológicos para o mesmo.

Como demonstra o Art. 1º, da Lei nº 14.243 (2007), foi criado, no âmbito do Estado de Santa Catarina, o Programa Estadual de Incentivo a Adoção de Telhados Verdes em espaços urbanos densamente povoados objetivando: I - minimizar as chamadas ilhas de calor; II - minimizar a poluição atmosférica; III - criar corredores verdes; IV - reduzir o consumo de energia elétrica; V - atuar como isolantes térmicos e VI - promover o desenvolvimento sustentável.

Dando seguimento a essa ideia, existe o Projeto de Lei nº 1.703 (2011), que dispõe sobre a instalação do denominado "Telhado Verde", que se sucedeu mediante ao cuidado e a preservação do meio ambiente e principalmente a preocupação com o aquecimento global, no Brasil. Essa Lei nº 1.0703 (2011), trouxe como incentivo uma alternativa natural e de preço próximo ao das coberturas convencionais tornando viável sua implantação, conseqüentemente auxiliariam na preservação das mínimas condições necessárias para a manutenção da vida em nosso planeta.

Na cidade de Niterói no Rio de Janeiro, o Projeto de Lei nº 090 (2013), dispõe sobre a instalação de telhados verdes em projetos de edificações residenciais ou não, que tiverem mais

de três andares agrupados verticalmente, e os respectivos incentivos fiscais e financeiros aos que adotarem o telhado verde (GONÇALO, 2013).

Ainda nesse contexto, o estado da Paraíba dispõe de uma Lei Estadual nº 10.047 (2013), bem similar a adotada em Niterói - RJ, porém ela implica uma obrigatoriedade na instalação de telhado verde em áreas específicas, nos termos do seu Art. 1.º, entre elas estão, os projetos de condomínios edificadas, residenciais ou não, com mais de 3 (três) pavimentos, terão que constar com os projetos de telhado Verde para serem protocolizados e aprovados nas Prefeituras dos Municípios Paraibanos a partir da data de promulgação da presente lei.

O Projeto de Lei do Executivo 67 (2013), que prevê telhados verdes nos novos prédios com mais de quatro pavimentos em Recife, foi aprovado na Câmara Municipal com a maioria dos votos. Os prédios não habitacionais com mais de 400 m<sup>2</sup> de área também deverão ter uma camada de vegetação na cobertura do edifício. Com o intuito de ser uma solução climática e de amenizar os problemas em relação à drenagem da cidade, uma vez que praticamente mais de 60% do solo está com problemas de drenagem.

O projeto de Lei do Legislativo nº 00216/14 - PLL 011(2014), que obriga os projetos de construção e de reforma de edificações públicas municipais a prever a instalação de telhado verde, está em tramitação na Câmara Municipal de Porto Alegre. Autor da proposta, o vereador Marcelo Sgarbossa (PT) justifica que a medida segue uma tendência mundial para garantir a sustentabilidade dos prédios públicos, reduzir o consumo de bens naturais e servir de exemplo para a comunidade (CAMARAPOA, 2016).

Em Blumenau, a Lei nº1.030 (2015), complementa o Código de Edificações do Município, consta que cada terreno deve ter, no mínimo, 20% de área permeável, ou seja, área que permite a infiltração das águas no solo. Mais recentemente a cidade conta com um novo benefício, uma nova Lei Complementar nº 1.174 (2018) , prevê que até 50% desses 20% da área permeável obrigatória no terreno possa ser transferida para o telhado verde, seja em laje ou cobertura, logo haverá mais área disponível para a construção de imóveis.

A Lei Complementar nº 1.174 (2018), também define as camadas obrigatórias para que o projeto possa ser definido como telhado verde, de modo a melhorar o aspecto paisagístico, diminuir as ilhas de calor, absorver o escoamento superficial, reduzir a demanda de ar condicionado na região e melhorar seu microclima com a transformação do dióxido de carbono (CO<sup>2</sup>) em oxigênio (O<sup>2</sup>) pela fotossíntese.

A região Norte, em questão o Pará, até o momento não identificou-se nenhuma norma ou incentivos que auxiliem a implantação desse sistema verde no Estado.

### 2.2.3. Tipos e Características de Telhado Verde

Os telhados verdes, conforme Correa e Gonzalez (2002), podem ser promovidos em uma cobertura ou telhado, plano ou inclinado, devidamente impermeabilizado e com um sistema de drenagem para o escoamento superficial excedente, com uma camada de solo ou substrato e outra de vegetação.

Heneide (2008), classifica-os em intensivos, semi-intensivo e extensivos, no qual se diferenciam pela espessura da camada de substrato ou solo e o tipo de vegetação. Também são divididos em coberturas acessíveis (área aberta a circulação de pessoas como jardins suspensos e terraços) ou inacessíveis (não suportam circulação de pessoas).

O sistema verde intensivo, tem aparência de jardins convencionais, substratos profundos, pode se utilizar uma variedade vegetação de maior porte, proporciona espaços de lazer, exige manutenção constante e a estrutura da cobertura deve ser capaz de suportar a carga do substrato, vegetação e o peso excedente de visitação.

Por outro lado, o sistema verde extensivo suporta uma vegetação de menor porte, menor espessura de solo, exige uma menor manutenção e o peso estrutural é bem menor, desenvolvidos por razões estéticas e ecológicas. Nessa classificação tem-se também o semi-intensivo, sendo este uma mesclagem dos sistemas intensivo e extensivo.

Em relação a escolha da vegetação utilizada na cobertura verde, Heneide (2008) disse que depende do meio crescente, da finalidade da cobertura e o grau de dificuldade na realização da manutenção, tais como irrigação, adubagem, jardinagem, devem ser consideradas. Nessa escolha, também devem ser previstos as condições climáticas, altura do substrato, capacidade de carga da estrutura, necessidade de nutrientes, disponibilidade de espécies e interferências do entorno.

Além do sistema estrutural a maior parte dos autores também classifica telhados verdes de acordo com o substrato, Saleiro Filho *et al.* (2015), categoriza os sistemas de cobertura verdes em extensivas ou leves de seção de 5-15 cm para plantas de pequeno porte, e os sistemas intensivos superiores à 20 cm para plantas de médio porte.

Em decorrência desse peso de substrato adiciona-se à estrutura de telhado um peso extra principalmente em sistemas intensivos ou em épocas chuvosas. Minke (2005), telhados verdes são comumente mais encontrados em sistemas de laje pois esses fornecem mais facilidade na execução de um sistema que combina camadas de solo e vegetação, mesmo assim o que se observa hoje são diversas estruturas que podem ser consideradas como telhados verdes.

Tabela 1– Características dos tipos de telhado verde.

<b>Itens</b>	<b>Extensivo</b>	<b>Semi-intensivo</b>	<b>Intensivo</b>
<b>Manutenção</b>	Baixo	Periodicamente	Alto
<b>Irrigação</b>	Não	Periodicamente	Regularmente
<b>Plantas</b>	Sedum, ervas e gramíneas	Gramas, ervas e abustos	Gramado, abustos e árvores
<b>Altura do sistema</b>	60-200 mm	120-250 mm	150-400 mm
<b>Pesos</b>	60-150 Kg/m <sup>2</sup>	120-200 Kg/m <sup>2</sup>	180-500Kg/m <sup>2</sup>
<b>Custos</b>	Baixo	Meio	Alto
<b>Uso</b>	Camada de Proteção ecológica.	Projetado para ser um telhado verde	Parque igual a um jardim

Fonte: *International Green Roof Association – IGRA (2011)*.

As instalações do telhado devem ser agrupadas de modo a causar pouca interferência e facilitar a manutenção. Para telhados com inclinação superior a 10%, existe a necessidade de instalação de malhas, afim de evitar deslizamentos. Em lugares de muito vento deve-se certificar que as camadas de base estejam bem afixadas para evitar o levantamento do sistema (IGRA, 2011).

Estudos de Peck *et al.* (1999), indicam que os telhados verdes, em determinadas situações, podem ser incorporados a coberturas já existentes sem a necessidade de modificações estruturais e podendo ser edificados com inclinações de até 40%.

Uns dos principais fatores preocupantes para a implantação de um telhado verde, são relacionados a sua impermeabilização, drenagem, vegetação e o tipo de estrutura. Os cuidados tomados nessa etapa são essenciais para a eficiência do sistema, deve-se sempre considerar o peso excedente com cálculos estruturais, mesmo sendo considerado para um sistema leve. Esse tipo de sistema verde é um tema muito amplo, seu método construtivo pode ser readequado a cada tipo de necessidade e com a possibilidade de se reutilizar materiais que gerariam entulhos.

#### 2.2.4. Vantagens e Desvantagens

Uhmann (2016), descreve que o telhado verde possui mais vantagens que os telhados tradicionais, minerais ou sintéticos, dentre os benefícios do emprego de telhado verdes em

projetos urbanos pode-se citar: o aumento do nível de conforto e diminuição dos impactos ambientais, mudanças para padrões mais sustentáveis, maior isolamento térmico, criação de novas paisagens urbanas no caráter estético, melhoria da qualidade do ar com a diminuição de emissão de dióxido de carbônico (CO<sup>2</sup>).

Os telhados verdes, na área de isolamento térmico, apresentam uma redução no consumo e custo de energia, bem como redução no efeito das ilhas de calor urbano (SANTAMOURIS *et al.*, 2007). Estes benefícios térmicos são comprovados, como por exemplo os resultados encontrados por Spangenberg (2004), em convênio com a Universidade de São Paulo (USP), a qual constatou-se a redução da temperatura em 1°C ou 2°C nas grandes cidades, na condicionante de aplicação do sistema em larga escala.

Conforme o estudo de Wong *et al.* (2003), o estudo do impacto térmico causado pela utilização dos telhados verdes e telhados convencionais sem a vegetação, revelam o efeito positivo dos telhados verdes, que apresentam diferenças significantes. Outras biografias como Araújo (2007), Oliveira 2009 e Souza (2016) apontam que, além da eficiência energética, esse tipo de sistema de telhado melhora a qualidade do ar, auxilia no isolamento acústico, diminui as ilhas de calor, ajuda na drenagem e em alguns casos podem ser utilizados na captação de água potável.

Outros benefícios a serem considerados nos telhados verdes, além do reaproveitamento da água, é a geração de oportunidades urbanas para a produção de alimentos orgânicos, plantas medicinais e ornamentais, trazendo como vantagem a redução do tempo e distância entre área de colheita e a mesa, diminuindo os custos de transporte de alimentos e assegurando maturação na colheita.

Em alguns países, como o Haiti, Colômbia, Tailândia e a Rússia, utilizam os topos de coberturas com telhados verdes para a produção de frutas, vegetais e até orquídeas (HENEINE, 2008), gerando possibilidade de emprego e renda. A cobertura vegetal tem como principais funções: a retenção de água, a diversidade biológica e o isolamento térmico. A vegetação a ser selecionada depende do meio crescente, bem como das condições locais, manutenção disponível e a aparência desejada.

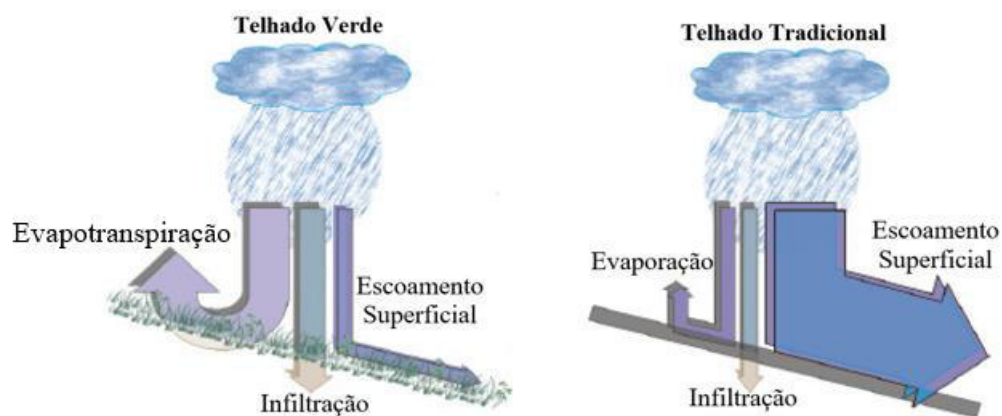
Heneide (2008), complementa que as camadas necessárias para a instalação do telhado verde, acabam funcionando como uma barreira que inibem os ruídos e a transmitância térmica entre o ambiente interno e externo, ou seja, colabora no isolamento térmico e acústico da

residência. Assim resultando em economia com a redução de uso de climatizadores de ar, uma vez que no verão ele reduz a temperatura interna e no inverno mantém o calor dentro do ambiente, acarretando uma valorização do imóvel com o investimento de implantação.

Dentre os principais benefícios proporcionados pelos telhados verdes, destaca-se o potencial para atenuação do escoamento superficial, das águas pluviais (HONGMING, 2010). A vegetação empregada no sistema acaba auxiliando na drenagem da água da chuva, diminuindo a vazão dos sistemas de escoamento e de esgoto, logo, também reduz os riscos de alagamentos e em algumas versões, inclusive, são capazes de captar a água da chuva para reuso.

Os processos do ciclo hidrológico do sistema de telhado verde, segundo Lino *et al.* (2008), se assemelham aos processos hidrológicos naturais, uma vez que grande parte da precipitação pluvial fica retida nas camadas e sendo liberadas lentamente, e gerando um processo de evapotranspiração. Quando comparado a um telhado convencional esse ciclo hidrológico é totalmente diferente, o escoamento superficial ocorre quase que instantaneamente (Figura 10).

Figura 10 – Processos do ciclo hidrológico.



Fonte: Adaptado de Ohnuma Jr. (2008).

Existem várias literaturas de estudo, que ligam o telhado verde com a melhora da drenagem urbana, todas exibem resultados positivos em suas pesquisas. Tais como, Ohnuma Jr. (2008), indica que esse tipo de sistema controlam a poluição hídrica em lotes domiciliares, já Jobim (2013), Korzenieski (2016), Silva (2018), enfatizam que os telhados verdes são uma ótima opção no controle quantitativo da água pluvial, uma vez que retardam o escoamento superficial.

Segundo Kolb (2003), o coeficiente de escoamento superficial em um telhado convencional varia de 0,8 a 1, onde 80 a 100% do volume total precipitado se converte em escoamento superficial. Ainda enfatiza que os telhados verdes extensivos têm capacidade de reduzir esse escoamento superficial em 50 % e no intensivo em 70 % do total das precipitações anuais.

Ohnuma Jr. (2008) dispõe alguns coeficientes de escoamento superficial em cada telhado verde, que podem variar de acordo com a inclinação, espessura do substrato e o tipo de vegetação empregada (Tabela 2). Porém o fator inclinação é pouco pertinente a obtenção do coeficiente de escoamento comparado as espessuras diferentes de substrato, quanto maior essa espessura menor será o coeficiente de escoamento.

Tabela 2 – Coeficiente de escoamento de telhados verdes.

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

Fonte: Adaptado de Ohnuma Jr. (2008).

O enraizamento das plantas fixadas neste sistema também auxilia na diminuição do escoamento superficial, além de proteger as coberturas de erosões e degradações, ou seja a vegetação trabalha como uma barreira impedindo impactos físicos como chuva, bloqueando parte da radiação ultravioleta e ainda protegendo a estrutura de flutuações extremas de temperatura, aumentando, assim, a vida útil do telhado, reduzindo investimentos em manutenção e, portanto, em geração de resíduos da construção civil (ELERO; WOOD, 2013).

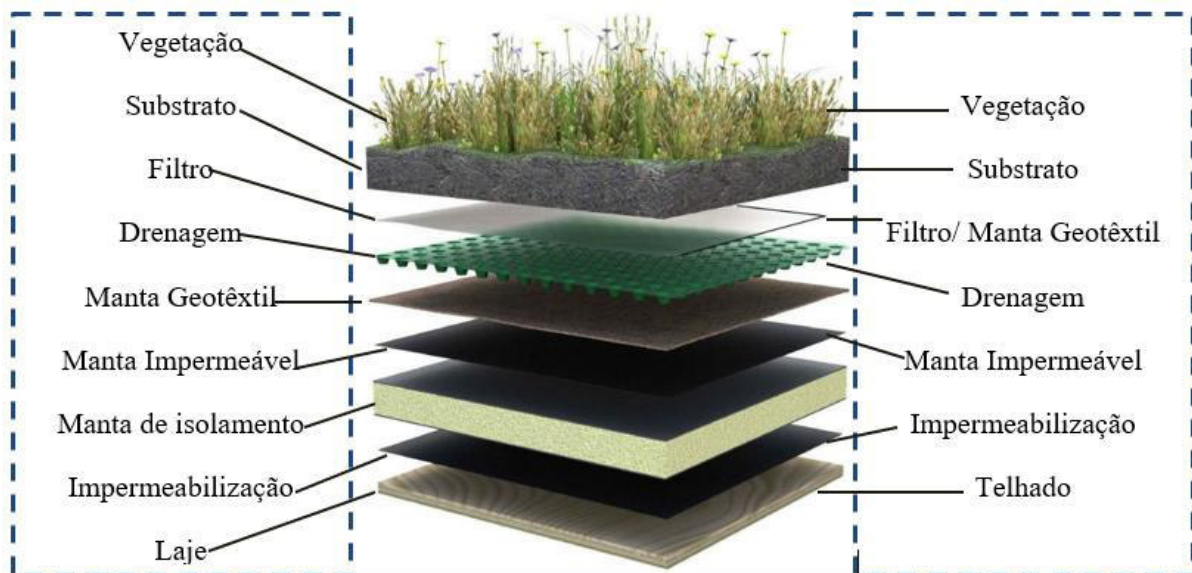
Boni (2015), as desvantagens de implantação dos telhados verdes, depende principalmente do método construtivo, da escolha do sistema, do tipo de vegetação empregada, pois periodicidade de se realizar a manutenção da vegetação varia de acordo com sistema e a espécie escolhida, para mantê-las sempre saudáveis e no tamanho adequado. Se comparado ao

telhado comum o telhado verde tem um investimento financeiro inicial mais elevado, necessidade de mão-de-obra especializada, evitando problemas construtivos, tais como vazamentos, infiltrações e os estruturais.

### 2.2.5. Composição do telhado verde

Segundo Oliveira (2009), os sistemas de telhado verdes podem ser explicados e agrupados de acordo com os dois tipos principais de estrutura de telhado verde que são sobre laje e sobre telhados (inclinado). Basicamente, ainda segundo o autor, a estrutura está disposta conforme mostrado na Figura 11.

Figura 11 – Sistema de cobertura verde sobre laje e sobre telhado (inclinado).



Fonte: Adaptado de Oliveira (2009).

O sistema sobre a laje, deve-se buscar o confinamento da área a ser trabalhada com a impermeabilização e o sistema de drenagem adequados. No entanto, em relação ao sistema inclinado sobre telhados, além da adequada impermeabilização e drenagem, deve-se estar atento, à inclinação do telhado e a sua estrutura, para avaliar a capacidade de carga extra. Outras opções que podem ser empregados são os sistemas modulares, no qual são empregados materiais menos densos. As camadas que comportam um telhado verde estão dispostas na Tabela 3.

Tabela 3 – Definição e composição do telhado de sistema sobre laje e telhado inclinado.

Camada	Definição	Sistema	
		Laje	Inclinado
<b>Impermeabilização</b>	Impedir a infiltração de água na laje ou telhado. Exemplos de materiais, filme plástico, mistura de água cimento e látex ou sika, manta asfáltica, impermeabilizantes próprios e outros produtos comerciais, além de produtos químicos ante raiz;	✓	✓
<b>Isolamento Térmico</b>	Pode ser dispensável, pois a própria composição do telhado verde completa, pode funcionar eficientemente para o conforto térmico das construções;	✓	
<b>Proteção Mecânica</b>	Impede danos na impermeabilização. Normalmente se utiliza argamassa simples (areia + cimento) de traço 6:1;	✓	
<b>Drenagem</b>	Regula a retenção de água auxiliando o processo de drenagem e eficiente do excesso desta. Os materiais são diversos e de diferentes densidades, será empregado o que mais tiver de acordo com o projeto, exemplo, argila expandida brita, RCD, entre outros;	✓	✓
<b>Filtragem (facultativo)</b>	Impede a passagem dos substratos, para a camada de drenagem, o que prejudicaria o sistema de drenagem e a circulação do ar. Os materiais que são normalmente utilizados manta geotêxtil comercial e até mesmo areia de diversas granulometrias;	✓	✓
<b>Substrato</b>	Camada de solo ou substrato, onde se encontram os nutrientes que dão suporte à vegetação, retendo e absorvendo água. O tipo utilizado, bem como a altura do mesmo, que varia conforme a vegetação escolhida e o tipo de telhado. Os telhados extensivos, normalmente se utiliza a altura do substrato será de 4 a 15 cm e acima deste valor são telhados intensivos;	✓	✓
<b>Vegetação</b>	Consiste na cobertura vegetal, que vai depender do tipo de telhado verde proposto, em função da altura do solo e substrato disponível, calculado pelo projetista e principalmente se ele é apropriado para o clima da região. Nos telhados extensivos as espécies que podem ser utilizadas apresentam maior resistência ao estresse hídrico e menor taxa de crescimento vegetativo demandando baixa manutenção.	✓	✓

Fonte: Adaptado de Oliveira (2009).

Saleiro Filho *et al.* (2015), ressalta que além de se atentar ao cuidado de se manter a granulometria do dreno e do substrato, por entender o sistema como algo vivo, deve-se haver uma estrutura que suporte as camadas que compõe o telhado, outra curiosidade é adicionar uma camada de prevenção de impermeabilização anti-raiz, pois embora se escolha espécies de raízes rasas em projeto é necessário se considerar o enraizamento de espécies espontâneas deslocadas pela ação do vento ou por pássaros.

Hoje em dia, existem uma variedade de empresas que trabalham com esse tipo de telhados oferecendo diversos modelos, materiais e técnicas de aplicação. Sem esquecer que para o sucesso de implantação do telhado verde é necessário a escolha de plantas que se adequem a esse sistema inclinado extensivo e existem vários tipos possíveis, desde ornamentais, leguminosas, hortaliças, ervas medicinais e aromáticas. Alguns exemplos de espécies cultivadas em um estudo preliminar realizado em Porto Alegre (Tabela 4), onde indica a condição ideal de incidência de sol.

Tabela 4 – Resultado do desenvolvimento das plantas em ensaio preliminar de agricultura urbana realizado em Porto Alegre - RS, no período do dia 5 de janeiro de 2015 ao dia 5 de março de 2015.

Tipo de plantas	Incidência solar		Substrato
	Sol Pleno	Meia-sombra	
	<i>(temperos, ervas medicinais e aromáticas)</i>		
<b>Alecrim</b>	(+)	(-)	Substrato+EVA
<b>Arruda</b>	(-)	(+)	Substrato+EVA
<b>Boldo</b>	(+)	(+)	Substrato+EVA
<b>Cebolinha</b>	(+)	(+)	Substrato+EVA
<b>Coentro</b>	(0)	(0)	Substrato+EVA
<b>Hortelã</b>	(+)	(+)	Substrato+EVA
<b>Lavanda</b>	(0)	(+)	Substrato+EVA
<b>Manjeriço</b>	(+)	(+)	Substrato+EVA
<b>Menta</b>	(+)	(+)	Substrato+EVA
<b>Salsa</b>	(+)	(0)	Substrato+EVA
<b>Sálvia</b>	(0)	(+)	Substrato+EVA
	<i>(hortaliças)</i>		
<b>Tomate</b>	(+)	(-)	Substrato+EVA
<b>Pimentão</b>	(+)		Substrato+EVA
<b>Morango</b>	(+)	(+)	Substrato+EVA
<b>Alface-verde</b>	(+)	(-)	Substrato+EVA
<b>Alface-roxo</b>	(-)	(-)	Substrato+EVA
<b>(+) Desenvolvimento bom das plantas; (-) Problemas no desenvolvimento das plantas; (0) Morte da planta.</b>			

Fonte: Miguel Verran (2015).

Outro ponto importante a ressaltar é que, na camada drenante, na maioria dos casos dos sistemas verdes implantado se utilizou argila expandida. A qual é obtida através da mistura da

argila e de folhetos, rocha argilosa folheada, que se expandem sob temperatura elevada, formando grãos arredondados de diversos tamanhos que são equivalentes a agregados, porém com peso específico inferiores em até 2,5 vezes menor que um agregado comum (Tabela 5).

Tabela 5 – Característica da argila expandida.

<b>Tamanho</b>	<b>Diâmetro</b>	<b>Equivalência</b>	<b>Densidade (seca/saturada)</b>
<b>Grande (3222)</b>	22 a 32 mm	Brita 2	400/480 kg/m <sup>3</sup>
<b>Médio (2215)</b>	15 a 22 mm	Brita 1	450/530 kg/m <sup>3</sup>
<b>Fino (1506)</b>	6 a 15 mm	Brita 0	580/660 kg/m <sup>3</sup>
<b>Restolho (500)</b>	< de 6 mm	Areia Grossa	800/880 kg/m <sup>3</sup>

Fonte: Adaptado de Aba Acústica.

#### 2.2.6. Custo, manutenção e vida útil dos telhados verdes

O Conselho Brasileiro de Construção Sustentável – CBCS (2004), em seu posicionamento sobre telhados verdes no Brasil, especulam que os mesmos têm custos de instalação, manutenção e desmontagem superiores a outras soluções. Os custos de manutenção, de acordo com o sistema escolhido, são variáveis em função da necessidade de irrigação, tipo de espécies, controle da vegetação e de raízes e replantios.

O custo do telhado verde, Boni (2015), possui uma variação de preço entre R\$100,00 a 150,00/m<sup>2</sup> dependendo do tipo e região, e é certamente um custo de implantação inicial maior do que telhados convencionais ou lajes impermeabilizadas, já que utilizam de materiais específicos dos e mão de obra especializada. Entretanto, seu ciclo de vida é em média o dobro tempo das opções convencionais, em torno de 20 anos sem manutenção total, apesar de exigir cuidados específicos e periódicos, protegendo os telhados e as lajes, concentrando e suportando as diferenças de temperatura e insolação.

O sistema extensivo é de baixo custo comparado aos demais, já o sistema intensivo os materiais empregados são superiores em quantidade e a estrutura deve comportar o peso extra sem ocasionar danos e a manutenção com mais frequência. Por fim, o sistema semi-intensivo, seu custo é médio, pois seu método construtivo alterna entre o extensivo e o intensivo.

De acordo com IGRA (2011), em função do tipo de sistema implantado haverá a necessidade de pouca, média e alta necessidade de manutenção. A mesma se dá devido a necessidade de retirada de ervas daninhas, poda ou replantio da vegetação, troca ou

enriquecimento do substrato ou solo, desobstrução dos dutos de drenagem, em geral, é feita a verificação e correção de possíveis patologias, caso haja.

No sistema extensivo a manutenção, de acordo com Silva (2011), é mais branda podendo até ser chamada de inspeção, sendo realizada anualmente ou a cada 18 meses devido à pouca demanda de cuidados com a vegetação, já no sistema intensivo, devido a cultura ser parecida com um jardim convencional, o período de manutenção não pode exceder o período de 6 meses, e por fim, o sistema semi-intensivo, o qual é uma mesclagem dos dois sistemas anteriores e o tipo de vegetação empregada o período é de 12 meses.

Baldessar (2012) enfatiza que em relação a sua vida útil também é variável, pois depende de como e quais cuidados foram adotados na sua construção e a vida útil dos materiais empregados também é de grande influência. Nos EUA, considerando um período de 50 anos de uso, o custo de telhados verdes se iguala ao custo de outras soluções tais como tetos brancos e impermeáveis, fato que ocorre quando da substituição dos componentes dos demais sistemas, porém, havendo a necessidade de avaliar o tempo de vida útil dos telhados verdes empregados no Brasil (CBCS, 2014).

### **2.3. Resíduos de Construção e Demolição – RCD**

Segundo a resolução do CONAMA 307:2002 os RCD's, são definidos como resíduos provenientes de construções, reformas, reparos, escavações de terrenos e demolições de obras de construção civil. No qual também se estipula a gestão dos resíduos da construção civil, através de diretrizes, critérios e procedimentos para essa gestão dos resíduos da construção civil, com a implantação de ações necessárias de forma a minimizar os impactos ambientais negativos.

Os resíduos sólidos da construção civil, no Brasil, são regulamentados pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e a Resolução do CONAMA 307:2002, que foi o grande marco para a reutilização do RCD. Onde determina que os geradores de resíduos da construção civil devem ser responsabilizados pela gestão e destinação final dos resíduos das atividades de construção, reforma, reparos e demolições de estruturas e estradas, bem como por aqueles resultantes da remoção de vegetação e escavação de solos. Além de classificar os mesmos entre A, B, C e D de resíduos provenientes da construção e demolição (Tabela 6).

Tabela 6 – Classes do RCD segundo o CONAMA 307.

<b>Classe</b>	<b>Descrição do Resíduo</b>	<b>Exemplo</b>	<b>Utilização</b>
<b>A</b>	Materiais que podem ser reciclados ou reutilizados como agregado em obras de infraestrutura, edificações e canteiro de obras.	Tijolos, telhas e revestimentos cerâmicos; blocos e tubos de concreto e argamassa.	Reciclados como agregados na Construção Civil.
<b>B</b>	Materiais que podem ser reciclados e ganhar outras destinações.	Vidro, gesso, madeira, plástico, papelão e outros.	Reutilizados, reciclados ou encaminhados a aterros temporários.
<b>C</b>	Itens para o qual não existe ou não é viável aplicação econômica para recuperação ou reciclagem.	Estopas, lixas, panos e pincéis desde que não tenham contato com substância que o classifique como D.	Armazenados, transportados e destinados conforme as normas técnicas específicas.
<b>D</b>	Aqueles compostos ou em contato de materiais/substâncias nocivos à saúde.	Solvente e tintas; telhas e materiais de amianto; entulho de reformas em clínicas e instalações industriais que possam estar contaminados.	Armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.

Fonte: Adaptado do CONAMA 307 (2002).

Assim, fazendo com que seja considerado uma viabilidade técnica e econômica de produção e uso de materiais provenientes da reciclagem de resíduos da construção civil. Onde uma gestão integrada desses resíduos proporcionando benefícios de ordem social, econômica e ambiental, preservando os recursos naturais e a qualidade de vida.

A utilização de resíduos de RCD vem sendo difundida após o fim da Segunda Guerra Mundial, com a necessidade de reconstrução das cidades destruídas e cobertas de escombros. O autor De Paw e Lauritzen (1994) e Lima (1999), comentam que foram reciclados aproximadamente 115 milhões de m<sup>3</sup> de resíduos de construção e demolição na Alemanha, os quais foram utilizados na construção de aproximadamente 175 mil unidades habitacionais.

De acordo com Pinto (1999), um levantamento realizado na cidade de Santo André – SP, os resíduos de construção e demolição (RCD) aparecem como 58% do total em massa dos resíduos sólidos urbanos (RSU), com apenas 33% de participação dos resíduos domiciliares no qual a tendência é de crescimento desse valor. A primeira usina de reciclagem de entulho do hemisfério Sul, foi implantada em novembro de 1991, localizada na zona sul de São Paulo (ZORDAN, 1997).

A reutilização do RCD reciclado como agregados na construção civil, é mais ativa na região sul do país, pois possuem uma infraestrutura mais adequada que englobam essa temática,

os demais estados estão em desvantagens nesse quesito, minimizando a utilização desse sistema de reciclagem.

Visando a ideia de sustentabilidade, redução do custo de matéria prima e ofertar uma destinação correta aos resíduos de construção civil do município, foi realizado a reutilização do RCD, como matéria prima na camada drenante, em um protótipo de implantação de um telhado verde.

Afonso (2005), fez um estudo no qual utilizava o RCD em camadas drenantes de aterros sanitários, na substituição de recursos naturais, a partir dos resultados gerados através da pesquisa demonstraram que o material, sem restrição, é tecnicamente adequado para uso em sistemas de drenagem.

Não foi possível encontrar literaturas com utilização do RCD na camada drenante, porém em uma entrevista, o Eng. Paulo Palha (2016) diretor geral da Neoturf , uma empresa portuguesa especialista em instalação de telhados verdes em Portugal, comenta sobre os benefícios e as técnicas que eles empregam no sistema, o RCD é utilizado como matéria prima na produção de substrato técnico, visando reduzir a compactação e perda de solo, além do surgimento de ervas daninhas.

### 3. METODOLOGIA

O desenvolvimento da pesquisa decorreu no período de abril de 2018 a fevereiro de 2019. Os procedimentos de caracterização do RCD e desempenho do sistema de telhado verde, foram realizados afim de se analisar a viabilidade, os benefícios e a eficiência do comportamento do mesmo ao município, sendo assim, foi necessário a confecção de dois protótipos, para fins comparativos, um com o telhado convencional e o outro com a aplicação da cobertura verde.

Para se efetuar a análise do desempenho do telhado verde, foi necessário um monitoramento das temperaturas provenientes dos protótipos. O tipo de telhado implantado nos protótipos foi o sistema de inclinado, o qual é característico da maioria das residências do município de Tucuruí, logo sua implantação será mais provável de se replicar e a vegetação utilizada foi a extensiva, que é a mais adequada para o sistema de telhado inclinado.

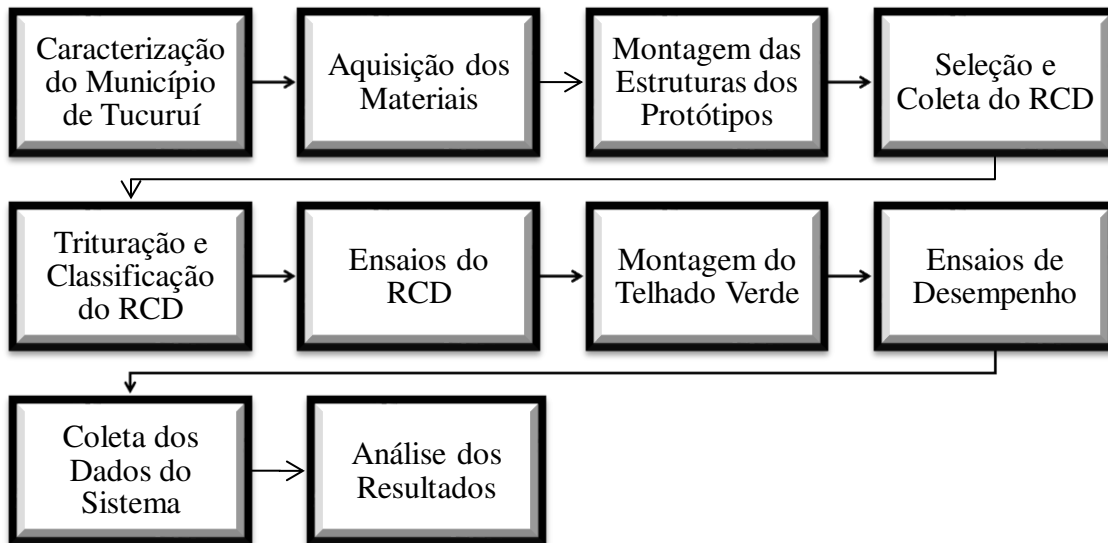
Inicialmente, para a caracterização do município de Tucuruí-PA, foi realizado um levantamento de dados demonstrando as condições da cidade em termos de localização, população e condições climáticas, que posteriormente resultou na escolha dos materiais empregados nos protótipos, onde parte foi comprada em lojas de materiais de construção e a outra cedida pelo Instituto Federal de Ciências e Tecnologia do Pará - IFPA, Campus Tucuruí, sendo o RCD proveniente da reforma de um bloco.

A seleção do RCD, que seria empregado no protótipo, foi executada durante a coleta do mesmo, onde posteriormente executou-se a sua classificação e caracterização e após as etapas de aquisição dos materiais e caracterização do RCD realizou-se a montagem dos protótipos.

Com a execução dos protótipos concluída, necessitou-se um período de adaptação e desenvolvimento das mudas até as condições ideais para que os ensaios de desempenho e análise de dados entre os protótipos fossem efetuados, com a finalidade de verificar a eficiência do sistema, estabelecendo-se assim, as conclusões da pesquisa.

O fluxograma, conforme a Figura 12, dispõe de forma sintetizada as atividades desenvolvidas na presente pesquisa, dando ênfase no processo de desenvolvimento e análise dos resultados obtidos dos protótipos.

Figura 12 – Fluxograma da pesquisa.

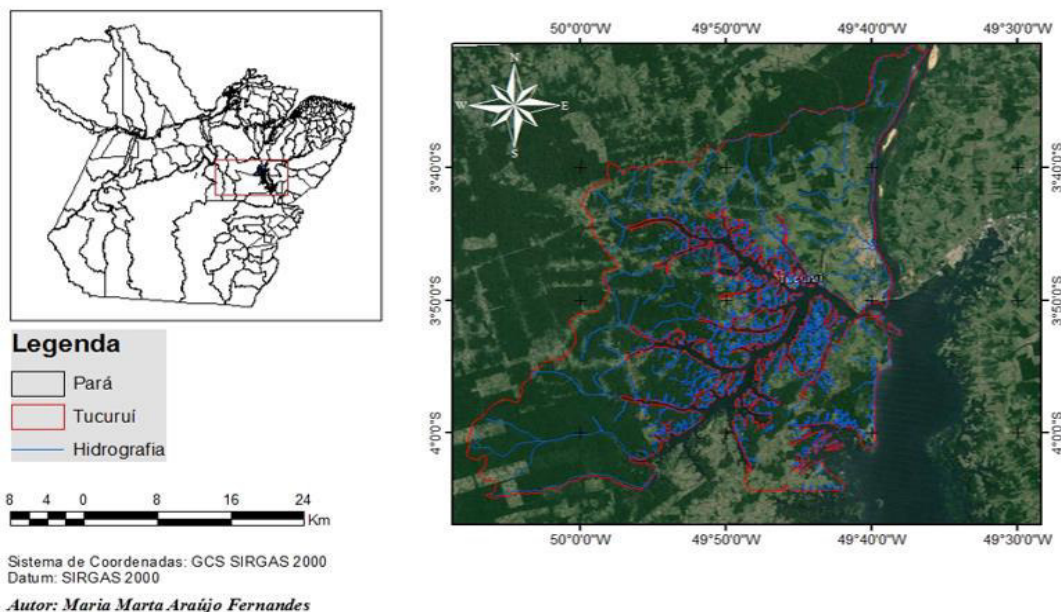


Fonte: Autor (2018).

### 3.1. Caracterização da Região de Tucuruí - PA

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2018), o município de Tucuruí, se localiza no estado do Pará, na região Norte do país, com latitude: 03° 45' 58" S e longitude: 49° 40' 21" W, comporta aproximadamente 112.148 mil habitantes, com uma área de 2086,189 Km<sup>2</sup> e uma densidade demográfica de 46,56 hab./km<sup>2</sup> (Figura 13).

Figura 13 – Mapa de Localização do Município de Tucuruí - PA.



Fonte: Autor (2018).

Vale ressaltar que o município de Tucuruí-PA, sofreu um adensamento populacional de forma abrupta devido a construção da Usina hidrelétrica – UHE, além disso, com a formação

do lago da UHE houve perdas consideráveis de território, de fauna e flora da região. Logo a cidade se desenvolveu de forma inapropriada sem seguir um plano diretor, o que gerou uma infraestrutura deficiente em saneamento ambiental, com grave problemas na distribuição de água potável, no esgotamento sanitário e na drenagem urbana.

Em relação ao saneamento ambiental é comprovado que apenas 15% dos domicílios possuem esgotamento sanitário adequado e que 12,4% das vias públicas possuem uma urbanização adequada com presença de bueiro, calçada, pavimentação e meio-fio (IBGE, 2019). A arborização também é inadequada devido a aglomeração das residências e comércios, influenciando significativamente nas ilhas de calor, assim elevando a sensação térmica para os moradores. A região de Tucuruí apresenta, conforme a Tabela 7, as seguintes características climatológicas anuais.

Tabela 7 – Dados climatológicos para o município de Tucuruí.

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
<b>Temperatura média (°C)</b>	26,7	26,9	27	27,3	27,3	27,3	27,5	27,8	28	27,6	27,5	27,3
<b>Temperatura mínima (°C)</b>	22,1	22,3	22,4	22,4	22,1	21,6	21,7	22,2	22,5	22,3	22,3	22,1
<b>Temperatura máxima (°C)</b>	31,4	31,5	31,7	32,3	32,6	33	33,3	33,5	33,5	33	32,7	32,5
<b>Chuva (mm)</b>	343	429	450	395	211	95	35	28	31	76	113	221

Fonte: Adaptado do *website* CLIMATE-DATA.ORG (2018).

Fazendo o comparativo entre dos dados do *website* da CLIMATE-DATA.ORG (2018), o *website* de medição de temperatura *Weather Spark* (2018) e o *IMET* (2019) observa-se que as temperaturas apresentadas variam entre 23 °C a 35 °C e raramente são inferiores a 22 °C e superiores a 38 °C, e com a umidade relativa do ar variando entre os 50% à 90% torna o clima durante o ano inteiro opressivo até mesmo nos meses chuvosos.

### 3.2. Desenvolvimento dos protótipos para análise

#### 3.2.1. Materiais

Para o dimensionamento da estrutura do telhado do protótipo, foi levado em consideração os telhados comumente utilizados na cidade de Tucuruí, em sua maioria são confeccionados em duas águas e cobertos com telhas cerâmicas ou telhas de fibrocimento. Logo, essas características foram dispostas na construção dos protótipos, porém o tipo de telha utilizado, no telhado convencional, foi o tipo com telha de fibrocimento, já que possuem uma alta transmitância térmica, assim atenuando a alta sensação térmica interna das residências.

Os materiais utilizados na produção dos dois protótipos foram selecionados e adaptados de acordo com a disponibilidade existente na região de Tucuruí-PA, os quais estão dispostos na Tabela 8.

Tabela 8 – Materiais utilizados nos protótipos.

Quantidade		Materiais	Telhado Comum (Protótipo 1)	Telhado Verde (Protótipo 2)
4	Und.	Caibros 5x5 cm (1,00 m);	X	X
6	Und.	Caibros 5x5 cm (0,85 m);	X	X
4	Und.	Caibros 5x5 cm (1,10 m);	X	X
3	Und.	Caibros 5x5 cm (0,13 m);	X	X
6	Und.	Ripas 5x3 cm (1,10 m);	X	X
2	Und.	Tábuas 20x3 cm (1,10 m);		X
4	Und.	Tábuas 20x3 cm (0,72 m)		X
2	m <sup>2</sup>	Folhas de compensado de 12 mm (2,20 x 1,60m);	X	X
2	Und.	Telha de fibrocimento (Brasilit) 0,75m x1,10 m;	X	X
0,6	L	Impermeabilizante para telhas;	X	X
8	Und.	Parafusos para telhas;	X	X
2	Und.	Lonas 1,10x1,70 m;		X
3	Und.	Calhas de alumínio 0,4x1,20 m;		X
2	Und.	Joelhos 90° PVC 50 mm;		X
2	Und.	Tubos PVC 50 mm de 1,05 m;		X
0,04	m <sup>3</sup>	Resíduo de Construção e Demolição (RCD);		X
1,65	m <sup>2</sup>	Filtro de tecido 1,10x1,50 m;		X
0,066	m <sup>3</sup>	Substrato (Terra Preta 80% + matéria orgânica 20%);		X
200	Und.	Vegetação - <i>Tradescantia Spathacea</i> (Abacaxi Roxo).		X

Fonte: Autor (2018).

### 3.2.1.1. Coleta e beneficiamento do Resíduo de Construção e Demolição

Nesta etapa da pesquisa, foi coletado o RCD proveniente da reforma do bloco de salas do IFPA campus Tucuruí (Figura 14), com o intuito de utilizá-lo como uma alternativa no sistema de drenagem do telhado verde, foi realizado um processo de beneficiamento como um agregado graúdo e de baixo custo, assim viabilizando sua utilização na camada drenante do sistema.

Figura 14 – Procedência do RCD utilizado no protótipo.



Fonte: Autor (2018).

Para isso, foram coletados aproximadamente 100 quilos de material, sendo composto por apenas resíduos de demolição, de acordo com a Classe A, segundo os critérios do CONAMA 307:2002, tais como resíduos de alvenaria de parede, blocos e telhas, sendo feita uma triagem para que não houvesse material contaminantes, como resíduos provenientes de plástico, vidro e metal (Figura 15). Esses resíduos, após triturados, foram utilizados na cobertura e nos ensaios de caracterização do RCD.

Figura 15 – RCD recolhido e já efetuado a triagem do material.

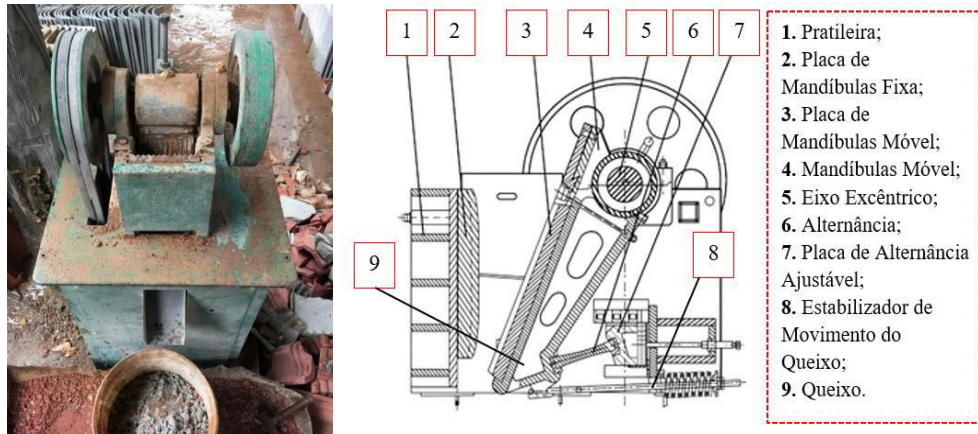


Fonte: Autor (2018).

Após a coleta do resíduo de construção civil, foi realizado o beneficiamento do material para que se obtivesse uma granulometria mais uniforme, este procedimento foi efetuado de

forma mecanizada através de um triturador com mecanismo de mandíbula (Figura 16). Esta etapa foi realizada, na empresa de fabricação de telhas de concreto Pará Telhas, localizada no município vizinho, Breu Branco – PA, com o auxílio dos próprios funcionários.

Figura 16 – RCD sendo processado em um triturador de mecanismo de mandíbula.



Fonte: Autor (2018).

#### 3.2.1.1.1. Ensaios de caracterização

Para a determinação das características do RCD utilizado no protótipo como camada drenante, foram executados alguns ensaios que ofereceriam resultados relevantes a necessidade do projeto, como os ensaios de granulometria, peso específico e massa unitária. Os quais foram indispensáveis para a determinação da carga suportada pela estrutura do Protótipo, que comporta o telhado verde, e os mesmos foram efetuados com o auxílio e supervisão da técnica do Laboratório de Engenharia Civil da UFPA - Campus de Tucuruí.

As amostras utilizadas nos os ensaios de caracterização passaram por um peneiramento manual para a retirada excedente dos finos, conforme as características que foram empregadas no protótipo do telhado verde, essas amostras foram coletadas e separadas obedecendo aos critérios da ABNT NBR NM 26:2009, a qual descreve este processo. Estas amostras foram posteriormente misturadas e quarteadas visando atender as especificações da ABNT NBR NM 27:2001, que prescreve o processo de redução da amostra de campo de agregados para ensaios laboratoriais.

### 3.2.1.1.1. Ensaio de determinação da composição granulométrica

Para análise granulométrica do agregado graúdo, baseou-se nas recomendações da ABNT NBR NM 248:2003, que determina a composição granulométrica de agregados, através de ensaios de peneiramento, o qual indicou a distribuição granulométrica do material.

Esse processo foi realizado após a devida separação e secagem das amostras, com a utilização de peneiras de série normal, com aberturas entre 25mm e a 4,75mm, e o auxílio de um agitador mecânico. Após o ensaio, o material retido em cada peneira foi pesado, utilizando uma balança de precisão de 0,01g (Figura 17).

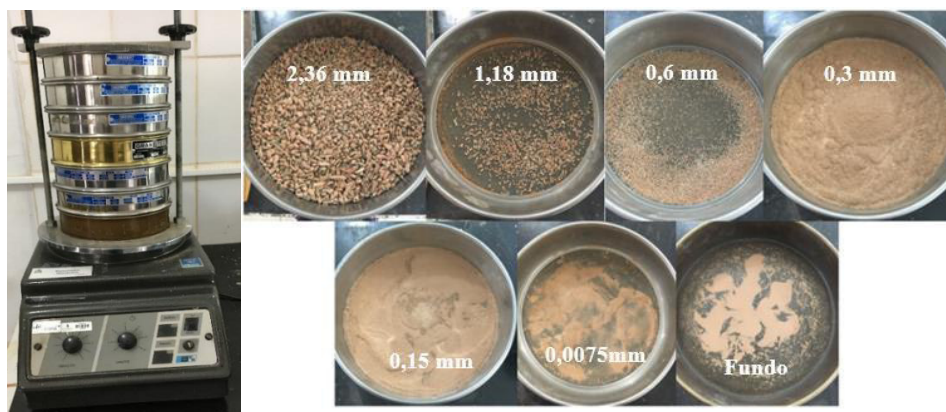
Figura 17– Agitador mecânico e amostras retidas em cada peneira.



Fonte: Autor (2018).

Com o material depositado no fundo, apesar de não influenciar no resultado final da utilização do agregado, deu-se continuidade ao ensaio para preenchimento da tabela granulométrica, com um conjunto de peneiras de série normal, por sua vez, com aberturas entre 2,36mm e 0,0075mm e com um agitador mecânico adequado as peneiras (Figura 18).

Figura 18 – Agitador mecânico e amostras retidas em cada peneira.



Fonte: Autor (2018).

Após o ensaio de peneiramento completo, fez-se o preenchimento da tabela granulométrica e determinação do módulo de finura e o diâmetro máximo do agregado.

#### 3.2.1.1.1.2. Ensaio de determinação da massa específica

Realizou-se o ensaio de acordo com as recomendações da ABNT NBR NM 52:2009, obedecendo todas as etapas de preparação das amostras até o procedimento do ensaio. A princípio, com as amostras previamente quarteadas verificou-se que, o passante pela peneira de 4,75 mm por via seca, não excedeu os 2% estabelecidos nesta norma.

Para definir a massa mínima de amostra a ser ensaiada, a NBR NM 53:2002 define que a quantidade de material para a realização do ensaio seria determinada pela numeração da abertura da peneira que o RCD fosse retido, logo foi a de abertura de 25mm, portanto a quantidade de material necessário para a realização do ensaio em cada amostragem foi de 4 Kg.

Com as duas amostras devidamente pesadas e prontas para os ensaios, realizou-se a lavagem de ambas separadamente, para a retirada de todo o pó e material flutuante para que não influenciem no resultado de caracterização. Posteriormente as amostras foram imersas em água, em repouso, por 24 horas.

Após esse processo as amostras foram secas uniformemente por um pano absorvente, retirando todo o excesso de água visível das face do agregado, os fragmentos de maior diâmetro foram secos individualmente. Em seguida, foi realizado a pesagem da amostra, assim obtendo o valor do agregado saturado com superfície seca ( $m_s$ ). Essa mesma amostra foi colocada em um recipiente vazado e submersa em um reservatório de água para a realização de sua pesagem (Figura 19), equivalente a massa em água ( $m_a$ ). O procedimento foi repetido na segunda amostra.

Figura 19 – Pesagem submersa.



Fonte: Autor, (2018).

Por conseguinte, as amostras foram alocadas em estufa para a secagem, seguido por um processo de desaquecimento natural, conforme a norma, até que o agregado ficasse a uma temperatura que permitisse sua manipulação para a pesagem do agregado seco ( $m$ ).

Com a aquisição dos valores obtidos através dos ensaios, e seguindo as recomendações da ABNT NBR NM 53:2002, que determina a massa específica do agregado seco, a massa específica do agregado saturado com superfície seca, a massa específica e por fim o índice de absorção de água de agregados graúdos. As formulas utilizadas foram:

- Massa específica do agregado seco.

Calculado utilizando a Equação 1.

$$d = \frac{m}{m_s - m_a} \quad \text{Equação 1}$$

onde:

$d$ : é a massa específica do agregado seco, em gramas por centímetro cúbico;

$m$ : é a massa ao ar da amostra seca, em gramas (g);

$m_s$ : é a massa ao ar da amostra na condição saturada superfície seca, em gramas (g);

$m_a$ : é a massa em água da amostra, em gramas (g).

- Massa específica do agregado na condição saturado superfície seca.

Calculado utilizando a Equação 2.

$$d_s = \frac{m_s}{m_s - m_a} \quad \text{Equação 2}$$

$d_s$ : é a massa específica do agregado na condição saturado superfície seca, em gramas por centímetro cúbico ( $\text{g/cm}^3$ );

$m_s$ : é a massa ao ar da amostra na condição saturada superfície seca, em gramas (g);

$m_a$ : é a massa em água da amostra, em gramas (g).

- Massa específica aparente

Calculado utilizando a Equação 3.

Equação 3

$$da = \frac{m}{m - ma}$$

Onde:

da: é a massa específica aparente, em gramas por centímetro cúbico(g/cm<sup>3</sup>);

m: é a massa ao ar da amostra seca em estufa, em gramas (g);

ma: é a massa em água da amostra saturada, em gramas (g).

- Absorção de água

Calculado utilizando a Equação 4.

$$A = \frac{ms - m}{m} \times 100 \quad \text{Equação 4}$$

onde:

A: é a absorção de água, em porcentagem (%);

ms: é a massa ao ar da amostra na condição saturada superfície seca, em gramas(g);

m: é a massa ao ar da amostra seca, em gramas (g).

#### 3.2.1.1.1.3. Ensaio de determinação da massa unitária e volume de vazios

A determinação da massa unitária e do volume de vazios do RCD foi baseada na ABNT NBR NM 45: 2006, que estabelece o método para a determinação da densidade a granel e do volume de vazios de agregados miúdos, graúdos ou de uma mistura dos dois, em estado compactado ou solto. Com a amostra de ensaio devidamente seca, selecionou-se aproximadamente 30 quilos de RCD já processado e previamente peneirado (abertura de malha de 4mm), uma vez que o material empregado na camada drenante continha essa característica.

Por conseguinte, iniciou-se o ensaio pelo enchimento de um recipiente, com peso e volume pré-determinado, com o resíduo triturado, utilizando uma concha, sendo despejado de forma uniforme a uma altura de 15cm acima da borda do recipiente (Figura 20 **a**). Com o recipiente cheio transbordando (Figura 20 **b**), foi feito o rasamento com o auxílio de uma placa metálica até o nivelamento dos agregados com a borda do recipiente (Figura 20 **c**), em seguida foi feito a aferição do peso desse recipiente mais a amostra.

Figura 20 – Enchimento e rasamento da amostra de RCD em um recipiente cúbico.



Fonte: Autor, (2018).

Para a determinação da massa unitária e o volume de vazios foi adotado os cálculos previstos na NBR NM 45:2006, expostos a seguir:

- Massa Unitária

A massa unitária foi calculada pela Equação 5.

$$\rho_{ap} = \frac{m_{ar} - m_r}{V} \quad \text{Equação 5}$$

onde:

$\rho_{ap}$ : é a massa unitária do agregado, em quilogramas por metro cúbico (Kg/m<sup>3</sup>);

$m_{ar}$ : é a massa do recipiente mais o agregado, em quilogramas (Kg);

$m_r$ : é a massa do recipiente vazio, em quilogramas (Kg);

$V$ : é o volume do recipiente, em metros cúbicos (m<sup>3</sup>).

Porém o resultado final será uma média dos valores obtidos das repetições.

- Índice de Volume de Vazios

Para calcular o índice do volume de vazios nos agregados, utilizamos a Equação 6.

$$E_v = \frac{100[(d_{1\rho w}) - \rho_{ap}]}{d_{1\rho w}} \quad \text{Equação 6}$$

onde:

$E_v$ : é o índice de volume de vazios nos agregados, em porcentagem (%);

$d_1$ : é a massa específica relativa do agregado seco ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ), determinada conforme as NM 52 e NM 53;

$\rho_w$ : é a massa específica de água, em gramas por centímetro cúbico ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ),  $\gamma_{\text{água}} = 1 \text{ g}/\text{cm}^3$ ;

$\rho_{ap}$ : é a massa unitária média do agregado, em gramas por centímetro cúbico ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ).

#### 3.2.1.1.1.4. Peso excedente relacionado ao telhado verde

Nessa etapa, com a quantidade utilizada de cada material multiplicada pelos os valores dos pesos específicos da camada de substrato, vegetação e do RCD, foi possível calcular o peso total por metro quadrado proveniente do telhado verde.

#### 3.2.1.2. Vegetação

Como o sistema de telhado verde escolhido para a pesquisa foi o extensivo, as espécies de plantas resistentes a ausência ou excesso de água, com características robustas capazes de suportar altas e baixas temperaturas são as mais indicadas. Desta forma, as plantas de pequeno porte são preferência as que apresentam alta perenidade, baixa manutenção, capacidade de retenção de água e de maior disponibilidade no mercado.

A escolha da espécie de vegetação foi realizada com muito critério, pois deveriam se adaptar às características climáticas da região. Assim sendo, foi realizado uma visita na Ilha Germoplasma a procura dessas espécies de pequeno porte nessa reserva, uma vez que a mesma é uma reserva ecológica de espécies de plantas nativas. Porém as espécies existentes na reserva são constituídas somente de espécies de grande porte, afim de auxiliar na recuperação de áreas alteradas na região através da disponibilização gratuita de sementes e mudas de qualidade.

Contudo, para a vegetação empregada no sistema extensivo, buscou-se espécies ornamentais, já utilizadas em jardins públicos do próprio município, que não demandassem de cuidados frequentes como rega, podas e replantio. Desse modo se identificou duas espécies de vegetação de pequeno porte que se sobrepõe as necessidades do projeto: a *Tradescantia Spathacea* - Abacaxi Roxo e o a *Arachis Repens* - Grama Amendoim.

Tabela 9 – Quadro comparativo de características gerais da *Tradescantia Spathacea* e *Arachis repens*.

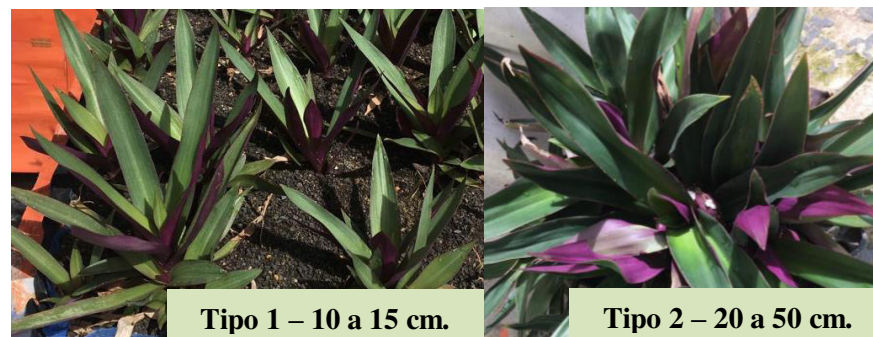
<b>Nome Científico</b>	<i>Tradescantia Spathacea</i>	<i>Arachis repens</i>
<b>Nomes Populares</b>	Abacaxi-roxo, Moisés-no-berço, Espada-de-iansã	Gramma-amendoim, Amedoim-forrageiro, Amendoim-rasteiro, Amendoinzinho
<b>Família</b>	<i>Commelinaceae</i>	<i>Fabaceae</i>
<b>Categoria</b>	Cactos e Suculentas, Folhagens, Forrações à Meia Sombra, Forrações ao Sol Pleno, Gramados e Forrações	Forrações à Meia Sombra, Forrações ao Sol Pleno
<b>Clima</b>	Equatorial, Mediterrâneo, Oceânico, Subtropical, Tropical	Equatorial, Subtropical, Tropical
<b>Origem</b>	América Central, América do Norte, Belize, Guatemala, México	América do Sul, Brasil
<b>Altura</b>	0,1 a 0,4 metros e 0,4 a 0,5 metros	0,1 a 0,3 metros
<b>Luminosidade</b>	Luz Difusa, Meia Sombra, Sol Pleno	Meia Sombra, Sol Pleno
<b>Ciclo de Vida</b>	Perene	Perene
<b>Cuidados</b>	Não tem	Excesso de chuva e em períodos longos de estiagem
<b>Irrigação</b>	Nem sempre	Sim

Fonte: Adaptado de Raquel Patro (2015).

#### 3.2.1.2.1. *Tradescantia Spathacea* - Abacaxi Roxo

A *Tradescantia Spathacea*, segundo Raquel Patro (2015), é uma planta herbácea, rizomatosa, de folhagem perene e colorida, cultivada em diferentes regiões tropicais do mundo por suas qualidades como ornamental (Figura 21).

Figura 21 – *Tradescantia Spathacea* (Abacaxi Roxo).



Fonte: Autor (2018).

Normalmente, as folhas apresentam duas cores a parte superior verde oliva e a inferior violeta e forma rosetas densas e simétricas, com suas folhas eretas, côncavas e lanceoladas,

sua floração ocorre na primavera e verão. Porém existem outras variedades da espécie como a Concolor, folhas totalmente verdes, e a Vittata, folhagem mista com listras vermelhas e amarelas. A espécie possui alta adaptabilidade, pode ser cultivada em diferentes condições de luminosidade e substratos, desde aos solos ricos à solos pobres e rochosos.

Alguns dos cuidados como irrigação, são mais necessários nos primeiros meses após o plantio, após tornando -se tolerante a curtos períodos de estiagem. Já questão de manutenção seria somente uma poda drástica anual no início da primavera, objetivando o rejuvenescimento da planta, que se dá através do crescimento de novos brotos, renovando o vigor e a beleza da folhagem. Multiplica-se facilmente por divisão das touceiras, estaquia dos ramos e/ou por sementes e em determinadas situações pode se tornar invasiva.

Devido sua seiva ser tóxica, a insetos, animais e humanos, deve-se utilizar luvas durante a manipulação, além de se manter fora do alcance de crianças e animais domésticos, pois pode ocasionar irritações e queimaduras na pele.

Logo, para implantação no protótipo de telhado verde, foi escolhida a *Tradescantia Spathacea* (Abacaxi Roxo). Uma vez que a mesma já é de grande utilização nos jardins na região de Tucuruí por sua alta adaptabilidade, crescimento rápido, resistência a períodos de estiagem e de muita chuva, e tóxica a insetos e pragas, comparada a *Arachis repens* (grama amendoim), o abacaxi roxo possui uma maior resistência.

A vegetação utilizada na pesquisa foi coletada do Laboratório de Engenharia Civil, as mudas eram compostas por tamanhos mistos de 5 a 10 cm (Figura 22) para serem replantadas no telhado verde.

Figura 22 – Aquisição das mudas (*Tradescantia Spathacea*) utilizadas no protótipo.



Fonte: Autor (2018).

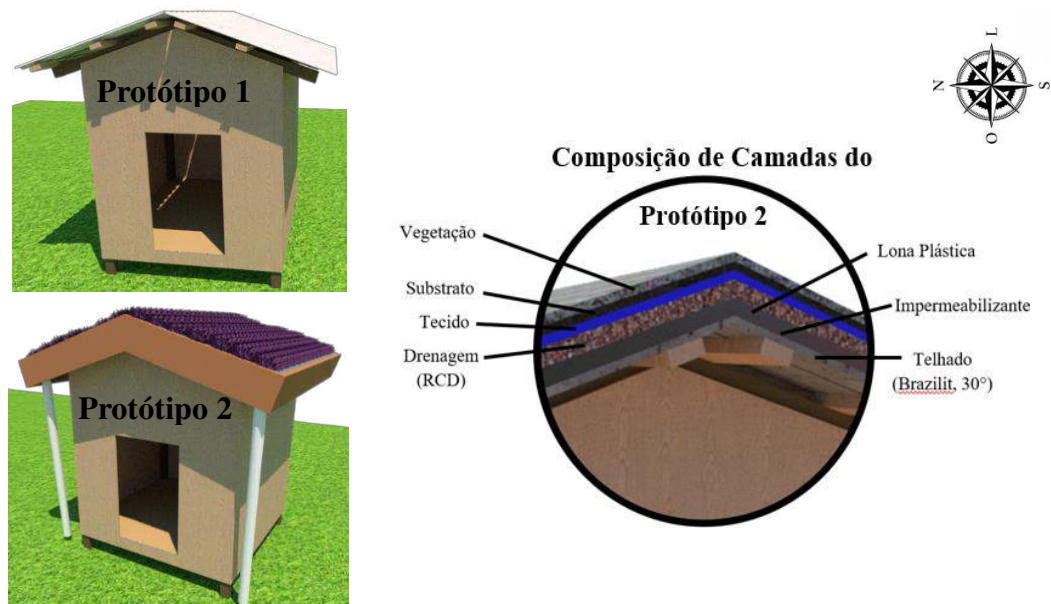
### 3.2.2. Execução dos protótipos

O processo de confecção dos protótipos, dividiu-se em quatro etapas: projeto, estrutura, superestrutura e finalizando com a montagem das camadas que constituem o telhado verde.

#### Etapa 1: Projeto

Os protótipos foram efetuados com as seguintes dimensões 1,50 m de altura e com as dimensões laterais de 1,04 m x 0,84 m (Figura 23). O telhado, de ambos, foi instalado em duas águas e com uma inclinação de 30°, as dimensões do telhado foram de 1,50 m x 1,10 m, totalizando uma área de 1,65 m<sup>2</sup>.

Figura 23 – Protótipo 1 e 2 desenvolvidos no programa SketChup 2017.



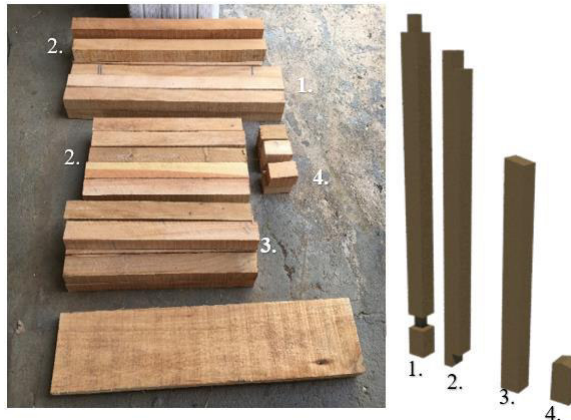
Fonte: Autor (2018).

Na pesquisa o Protótipo 1 é caracterizado pelo tipo de cobertura que representou o telhado convencional, já o Protótipo 2 representa o telhado verde com a adição das camadas e a inclusão de alguns acessórios que auxiliaram para a implantação das camadas do telhado verde, tais como a adição de rufos de madeira para a proteção nas laterais, além de um sistema simples de drenagem.

#### Etapa 2: Estrutura

Para iniciar a armação da estrutura dos protótipos, foram efetuados os cortes necessários para encaixe das peças de madeira (caibros), conforme a Figura 24.

Figura 24 – Madeira utilizada nos protótipos já com as dimensões corretas.

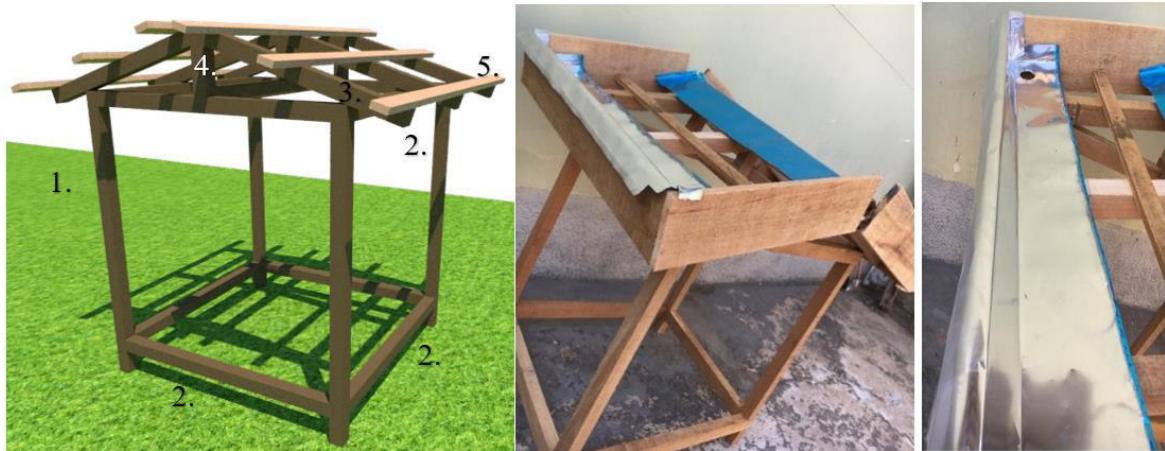


Fonte: Autor (2018).

Após os cortes efetuados, seguiu-se com a execução das junções das peças com pregos com tamanhos respectivos para cada necessidade (Figura 25) para a formação das estruturas e recebimento das paredes de vedação e do telhado.

Figura 25 – Estrutura concluída e confecção e posicionamento da calha.

1. Apoios; 2. Travamentos; 3. Banzos Superiores; 4. Montantes e 5. Ripas.



Fonte: Autor (2018).

As cargas adicionais decorrentes do telhado verde foram consideradas para um espaçamento adequado da armação do madeiramento, que funcionou como base de sustentação do sistema de telhado verde. Com isso, obteve-se um espaçamento de 23 cm entre as ripas, semelhante aos utilizados em telhas cerâmicas, com a finalidade de comportar o peso excedente das camadas do telhado verde.

### Etapa 3: Superestrutura

Com a base da estrutura da parede e do telhado prontos, foi realizado os cortes das telhas de fibrocimento (Brazilit) em seus respectivos tamanhos e posteriormente realizado sua

devida colocação nos protótipos. Porém no protótipo 2, antes processo de armação da telha, foi necessário a adição de um rufo de madeira em todo o perímetro do telhado e um sistema de calha de alumínio nas laterais com a inserção de canos de PVC de 50mm para efetuar o escoamento das calhas, a Figura 26 mostra a finalização da colocação do telhado em ambos os protótipos.

Figura 26 – Colocação das telhas e calhas.



Fonte: Autor (2018).

Subsequentemente realizou-se a vedação das paredes e pisos, com os recortes e aplicação das folhas de compensado 12 mm no formato exato para uma melhor vedação (Figura 27).

Figura 27 – Vedação externa e interna.



Fonte: Autor (2018).

Com a construção do protótipo, foi realizado a impermeabilização do telhado de ambos os protótipos com três demãos de impermeabilizante líquido a base de água, próprio para telhados, finalizando com a adição de uma chapa de alumínio (0,20 m x 1,10 m) na cumeeira para auxiliar a base de sustentação das camadas do telhado verde. Posteriormente se efetuou a pintura das paredes externas dos protótipos (Figura 28).

Figura 28 – Impermeabilização do telhado e paredes.



Fonte: Autor (2018).

#### Etapa 4: Telhado verde

Nesta etapa iniciou-se a aplicação das camadas que compõe o telhado verde empregadas apenas no Protótipo 2, já com a telha devidamente impermeabilizada procedeu-se a montagem de uma sequência de cinco camadas de: impermeabilização de reforço, drenagem, filtro, substrato e vegetação.

1. Impermeabilização de reforço ou camada protetora: foi composta por duas camadas de lona plástica preta, depositada acima da telha impermeabilizada, cobrindo toda a extensão da área do telhado. Essa camada destina-se em auxiliar na impermeabilização do sistema, desempenhando um papel de escoamento e direcionamento da água excedente até os dutos do sistema de drenagem, localizados nas laterais do telhado, além de fornecer uma proteção física como barreira antirraiz, mantendo a integridade da base de sustentação do telhado verde (Figura 29).

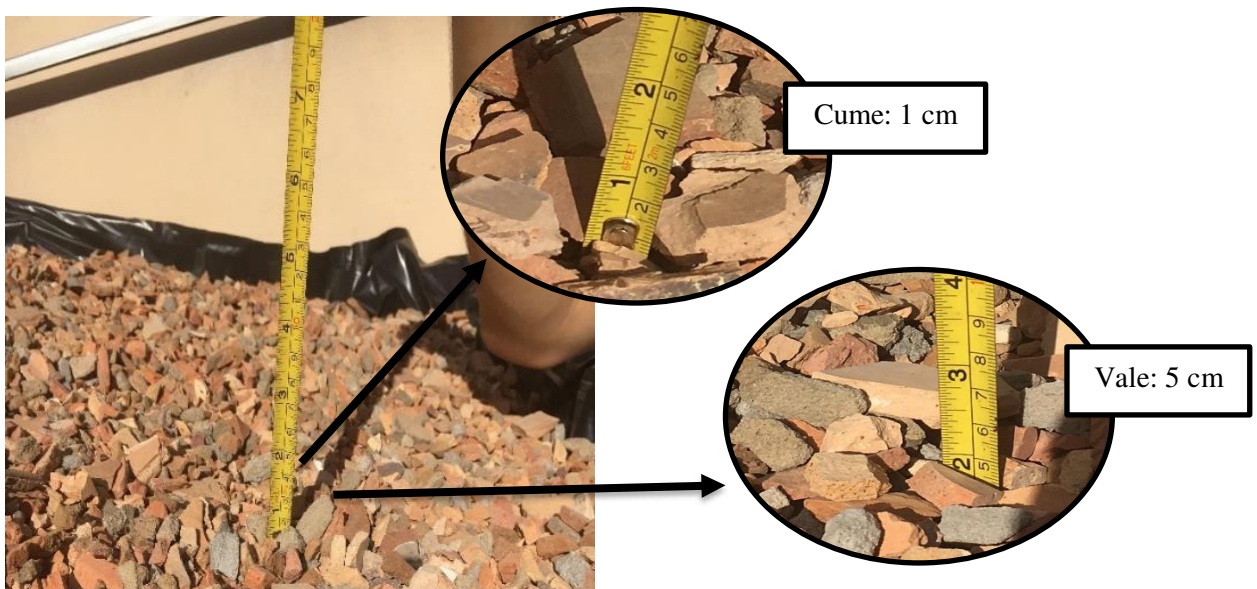
Figura 29 – Segunda camada impermeabilizante de lona.



Fonte: Autor (2018).

2. Camada drenante: camada constituída pelo RCD beneficiado e previamente passado na peneira de abertura de 4 mm, depositado cuidadosamente sob a impermeabilização de reforço, para que não houvesse cortes que compromettesse a mesma. Devido as ondulações provenientes da telha de fibrocimento, as espessuras da camada drenante foram variadas, sendo que a espessura da camada nos vales das ondulações da telha foi de 5 cm, já nos cumes das ondulações obteve-se espessuras médias de 1cm garantindo a percolação e escoamento da água (Figura 30).

Figura 30 – Espessura da camada drenante.



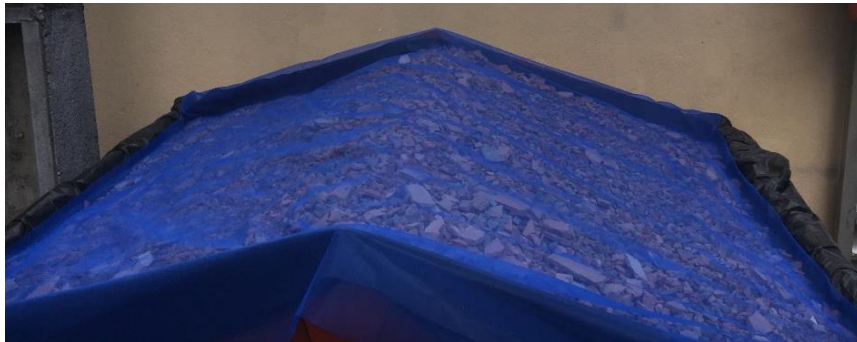
Fonte: Autor (2018).

O RCD beneficiado, também foi utilizado no preenchimento das calhas para auxílio da drenagem. Considerando o preenchimento das ondulações da telha e da calha, o volume utilizado foi aproximadamente de 0,04 m<sup>3</sup> de RCD triturado utilizado no protótipo.

3. Camada de tecido: necessário para garantir a separação da camada de substrato da camada drenante, no qual foi adicionado entre elas uma camada de tecido, popularmente

conhecido como tecido volta ao mundo 100% Poliamida (Figura 31). O mesmo funciona como filtro, garantindo somente a passagem da água, evitando que o substrato seja conduzido extraviando-se ou até mesmo ocasionando obstruções nos dutos de drenagem e também auxilia como um sistema de malhas, onde as raízes da vegetação ancoram, evitando o descarrilamento do substrato em precipitações mais fortes.

Figura 31 – Tecido utilizado para evitar a passagem do substrato para a camada drenante.



Fonte: Autor (2018).

Substrato: essa camada funciona como base para o plantio da vegetação, adicionada logo após o tecido filtrante, o qual foi recoberto com uma camada de 4 cm de substrato (Figura 32), como a área do telhado ficou aproximadamente igual a 1,65 m<sup>2</sup>, o volume de substrato utilizado foi de 0,066 m<sup>3</sup>.

Figura 32 – Colocação do substrato e espessura final de 4 cm.



Fonte: Autor (2018).

A composição do substrato utilizado na pesquisa se constituiu em uma mistura no qual 80% de seu volume é composto por material inerte e o restante por material orgânico. Assim diminuindo a perda de volume de substrato decorrente do processo de decomposição e com isso, a necessidade de ações de manutenção de reposição do mesmo reduzidas. O peso específico do substrato completamente saturado é cerca de 800 kg/m<sup>3</sup>.

Após a conclusão dessa etapa recortou-se o excedente da lona plástica e do tecido filtrante para que então posteriormente se efetuasse o plantio da vegetação.

4. Vegetação: formada pela espécie de vegetação *Tradescantia Spathacea* (Abacaxi Roxo), o processo de plantio das mudas ocorreu no mês 12/2018. O plantio ocorreu em 15 fileiras com 13 mudas cada, com o espaçamento aproximado de 10 cm entre elas, sendo necessário um total de 195 mudas (Figura 33). Cada muda com o peso aproximado de 50g cada, estimando um valor final de 10 Kg, aproximadamente 6,06 Kg/m<sup>2</sup>.

Figura 33 – a) Primeiro dia após o plantio das mudas e b) Desenvolvimento das mudas após 30 dias do plantio.



Fonte: Autor (2018).

### 3.2.2.1. Ensaios de desempenho e custo adicional do Telhado Verde (Protótipo 2)

#### 3.2.2.1.1. Ensaio de desempenho térmico

O ganho térmico em edificações, se dá principalmente através da radiação solar que é um dos fatores que mais contribui, as regiões tropicais e de baixas latitudes, sofrem mais com esse ganho térmico, como é o caso do Brasil. Essas trocas de energia entre os meios exterior e interior das edificações dependerão, da envoltória construtiva e de suas propriedades termo físicas, em especial a propriedade de absorvância para os componentes opacos.

Ao que diz respeito ao conforto térmico dos protótipos a ANBT NBR 15575:2005, em sua parte 5, especifica como requisito para desempenho térmico a isolamento térmica da cobertura que utiliza como critério a transmitância térmica de acordo com zonas climáticas predefinidas na norma.

Já para os métodos de utilização dessa norma, foram utilizados os métodos dispostos na NBR 15520 – 2:2005, para assim avaliar a absorvância, que é a razão entre o fluxo da radiação absorvida por uma superfície e o fluxo incidente sobre a mesma, ou seja, um fator de absorção, do sistema do telhado em relação à incidência do ambiente.

Logo faz-se necessário a comparação gráfica dos dados obtidos nas aferições dos protótipos e os dados obtidos no ambiente que foram fornecidos por estações meteorológicas na região através Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), órgão do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, que realiza o monitoramento, análise e previsão de tempo e de clima, temperatura, umidade relativa do ar, direção e velocidade do vento, pressão atmosférica, precipitação, entre outras variáveis.

Graficamente também é possível visualizar e comparar as diferenças entre o amortecimento térmico, variação de temperatura e desempenho térmico, entre o ambiente e entre os protótipos. Para desempenhar o ensaio térmico, com o protótipo 2 já em condições ideais de folhagem da vegetação, iniciou-se a coleta de dados da temperatura externa, interna dos protótipos 1 e 2, com o auxílio de um termômetro infravermelho IT INSTRUTEMP ITTI 550 (Figura 34), cedido pelo laboratório de Engenharia Civil da UFPA.

Figura 34 – Termômetro infravermelho utilizado para medir as temperaturas dos Protótipos.



Fonte: Autor (2018).

Além das aferições efetuadas nos protótipos, foi necessário a utilização dos dados do *website Weather.com* (2019), que indicou as temperaturas médias atuante durante o dia no município de Tucuruí-PA.

O processo de coleta de dados consistiu em medições no intervalo de tempo de uma em uma hora, no período de sete dias, no intervalo de 8:00 às 20:00 horas, ao todo foram efetuadas treze medições ao dia. Para se realização das temperaturas médias, buscou-se uma padronização dentre as temperaturas aferidas, assim os resultados foram expressados em gráficos para melhor entendimento.

#### 3.2.2.1.2. Drenagem

Para abordagem desse ensaio, realizou-se a observação e a medição de tempo do escoamento pluvial do telhado convencional como base e do telhado verde em períodos de chuvas intensas.

Foram utilizados como resultado as médias de um total de sete medições. Sendo também efetuado o cálculo da vazão de contribuição da área de drenagem dos protótipos. Vale ressaltar que nessa análise os resultados obtidos foram efetuados de forma teórica, devido a falta de equipamentos específicos de medições não foi possível ser realizada detalhadamente.

#### 3.2.2.1.3. Patologias relacionadas ao telhado verde

Sabe-se que algumas patologias recorrentes são geradas, em sua maioria, por falta de cuidados na fase de implantação desse sistema de cobertura. Um dos aspectos é a consideração do peso excedente gerado pela aplicação das camadas que constituem o telhado verde. Outras patologias mais relevantes que foram observadas durante o período da pesquisa, tais como o surgimento de ervas daninhas, descarregamento do substrato e o estancamento da estrutura.

Para essa análise foi efetuado um acompanhamento detalhado a partir do plantio e após períodos de precipitações intensas. Neste sentido, vale ressaltar que a qualidade dos materiais empregados e a falta de manutenção estão diretamente ligados a qualquer tipo de patologia, uma vez que, todo telhado mesmo os convencionais precisam de manutenção, só que os que possuem o sistema de telhado verde exige mais atenção devido aos cuidados com a vegetação.

#### 3.2.2.1.4. Custo adicional do telhado verde

O custo adicional decorrente da implantação do telhado verde, deu-se pela somatória do custo e a quantidade de cada material utilizado nas camadas do mesmo, tais como a camada impermeabilizante, tecido filtrante, calhas, canos 50 mm e rufos. Já os materiais como o RCD, o substrato e a vegetação não teve custo um adicional.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Resultados dos Ensaio de Caracterização do RCD

#### 4.1.1. Análise da distribuição granulométrica

A análise granulométrica do RCD consiste na determinação das dimensões das partículas e das proporções relativas em que elas se encontram na composição. No qual é de grande importância para a camada de drenagem, pois para determinar o volume de vazios que irá auxiliar na infiltração e escoamento da água provenientes de chuvas. A análise visual do RCD revelou que, suas partículas são compostas predominantemente por material de tijolos cerâmicos com uma pequena fração de material cimentício de formas e rugosidades variadas.

Os resultados da análise granulométrica estão apresentados na Tabela 10.

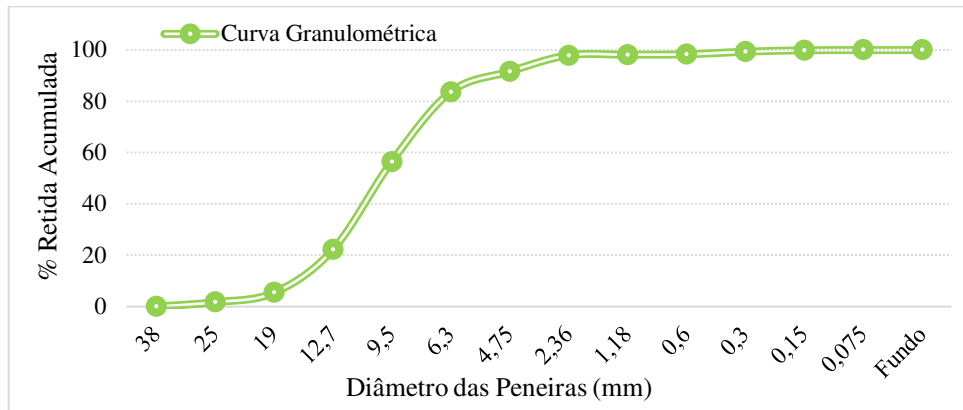
Tabela 10 – Resultados da análise granulométrica.

<b>Abertura Malha (mm)</b>	<b>Amostra 1 (g)</b>	<b>Amostra 2 (g)</b>	<b>MÉDIA (g)</b>	<b>%retida (%)</b>	<b>%retida acumulada (%)</b>	<b>Passante (%)</b>
<b>38</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
<b>25</b>	175,50	168,80	172,15	1,73	1,73	98,27
<b>19</b>	380,40	354,70	367,55	3,69	5,42	94,58
<b>12,7</b>	1615,50	1710,90	1663,20	16,71	22,13	77,87
<b>9,5</b>	3301,80	3540,10	3420,95	34,36	56,49	43,51
<b>6,3</b>	2600,30	2807,30	2703,80	27,16	83,65	16,35
<b>4,75</b>	853,20	738,50	795,85	7,99	91,65	8,35
<b>2,36</b>	808,60	451,10	629,85	6,33	97,97	2,03
<b>1,18</b>	33,40	10,50	21,95	0,22	98,19	1,81
<b>0,6</b>	16,00	14,50	15,25	0,15	98,35	1,65
<b>0,3</b>	83,50	121,30	102,40	1,03	99,38	0,62
<b>0,15</b>	65,40	44,10	54,75	0,55	99,93	0,07
<b>0,075</b>	8,50	3,50	6,00	0,06	99,99	0,01
<b>Fundo</b>	1,60	1,10	1,35	0,01	100,00	0,00
<b>Total</b>	9943,70	9966,40	9955,05	100,00		

Fonte: Autor (2018).

A partir dos dados obtidos, observa-se que a dimensão máxima característica (DMC) se encontra na malha de abertura de 25mm, que correspondente à abertura nominal da malha da peneira, na qual o agregado apresentou uma porcentagem retida acumulada imediatamente inferior a 5% em massa. A curva granulométrica, exposta no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Curva Granulométrica do RCD.



Fonte: Autor (2018).

O resultado do ensaio, demonstrou uma graduação contínua, sendo possível observar que houve uma maior concentração entre as peneiras de malha de 19mm à 2,36mm. Logo, devido a sua caracterização de tamanhos e formas variadas, o tipo de material se adequa perfeitamente na utilização na aplicação de uma camada de filtro como indicado na proposta da pesquisa.

#### 4.1.2. Resultados do Ensaio de Massa Específica

De acordo com os procedimentos de execução de ensaio com o RCD, conforme preconiza a ABNT NBR NM 52:2009, foram obtidos os resultados da massa específica apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 – Resultados obtidos com o ensaio do RCD.

Ensaio	Resultado		
	RCD - 01	RCD - 02	Média
Massa Específica Aparente do Agregado Seco - d1 (g/cm <sup>3</sup> )	1,9174	1,9154	<b>1,9164</b>
Massa Específica do Agregado Saturado Superfície Seca (SSS) - d2 (g/cm <sup>3</sup> )	2,1701	2,1719	<b>2,1710</b>
Massa Específica do Agregado – d3 (g/cm <sup>3</sup> )	2,5656	2,5763	<b>2,5710</b>
Absorção de água (%)	13,1765	13,3934	<b>13,2850</b>

Fonte: Autor (2018).

Os ensaios seguiram as recomendações determinadas pela norma NBR, que define a massa específica do agregado seco e saturado com superfície seca, além da massa aparente e a absorção de água. O resultado do ensaio para a massa específica média encontrada na condição saturada foi de 2,571 g/cm<sup>3</sup> ou 2571 Kg/m<sup>3</sup>.

#### 4.1.3. Resultados do Ensaio de Massa Unitária e Volume de Vazios

Os resultados obtidos no ensaio estão relacionados na Tabela 12, para o RCD triturado, considerando três determinações com os valores mais aproximados, a massa unitária do material foi de 1,0816 g/cm<sup>3</sup> ou 1081,6 Kg/m<sup>3</sup>.

Tabela 12 – Determinação da massa unitária.

Determinação	Volume do recipiente V (m <sup>3</sup> )	Massa do recipiente + amostra mar (Kg)	Massa do recipiente mr (Kg)	Massa Unitária $\rho_{ap}$ (g/cm <sup>3</sup> )
1º	0,0175	26,6	7,638	1,083
2º	0,0175	26,5	7,638	1,078
3º	0,0175	26,6	7,638	1,083
<b>Média</b>	0,0175	26,57	7,64	<b>1,082</b>

Fonte: Autor (2018).

No entanto, esse valor só foi uma duplicada do valor de massa seca específica e veio a confirmar os valores encontrados no ensaio de massa específica e demonstrar o valor do índice de volume de vazios do RCD foi de 43,56 % obtido através da (Equação 6). Diante deste resultado, percebeu-se que o material utilizado na camada drenante do telhado verde tende a facilitar a absorção e o escoamento pausadamente a água proveniente da precipitação da região do município de Tucuruí-PA.

Salienta-se ainda que, o beneficiamento do RCD abre um espaço para a utilização de um material alternativo, preservando as reservas naturais, que com o adequado manejo, os agregados reciclados podem ser usados em outras atividades da construção civil, devendo, assim, o poder público incentivar o beneficiamento e a reutilização dos resíduos de construção em benefício do meio ambiente e da própria população.

#### 4.1.4. Resultado do peso excedente relacionado a adição do telhado verde

Com esses dados, podemos estimar o peso de RCD utilizado no Protótipo 2, como o volume já calculado de RCD de 0,04 m<sup>3</sup>, multiplicou-se esse valor pela massa específica saturada de 2571 Kg/m<sup>3</sup>, resultou em um peso total de 102,84 Kg, dividindo esse valor pela área do telhado de 1,65 m<sup>2</sup>, têm-se aproximadamente 62,33 Kg/m<sup>2</sup>.

A absorção de água do RCD ficou em torno de 13,3%, uma propriedade diretamente relacionada com a porosidade do material, facilitando a percolação da água e o escoamento.

Realizando, teoricamente, os mesmos aspectos de cálculo para a determinação de peso para a utilização de argila expandida na substituição do RCD, a qual possui um peso específico saturado de  $660 \text{ Kg/m}^3$ , resultaria em uma carga de 26,4 Kg ou  $16 \text{ Kg/m}^2$ .

Para determinar o peso total proveniente da sobrecarga exercida pela composição do telhado verde realizou-se a somatória dos pesos das camadas que exerciam mais influência de peso no sistema:

- Peso saturado do RCD,  $62,33 \text{ Kg/m}^2$  ou Peso saturado da argila expandida,  $16 \text{ Kg/m}^2$ ;
- Peso saturado do substrato,  $32 \text{ Kg/m}^2$ ;
- Peso vegetação,  $6,06 \text{ Kg/m}^2$ ;

Com a somatória do RCD + Substrato + Vegetação, têm-se  $100,4 \text{ Kg/m}^2$ , já com a somatória da Argila expandida + Substrato + Vegetação, obteve-se  $54,1 \text{ Kg/m}^2$ . Logo, observa-se que o telhado composto por argila expandida exerce um peso menor, verificando que o composto pelo RCD possui quase dobro do peso. Porém, a utilização do RCD se tornaria viável, pois se enquadrou dentro das especificações de telhado verde extensivo, entre  $60 - 150 \text{ Kg/m}^2$  de acordo com IGRA (2011).

Outro fator relevante é a disponibilidade do RCD na região, incentivando o reaproveitamento minimizando os impactos ambientais causados pela geração e descarte, do mesmo, em locais inapropriados, assim apresentando vantagens para o meio ambiente e para a população. Já a argila expandida geraria um custo a mais, uma vez que esse tipo de material não é produzido na região, logo aumentaria o valor final de implantação da cobertura verde.

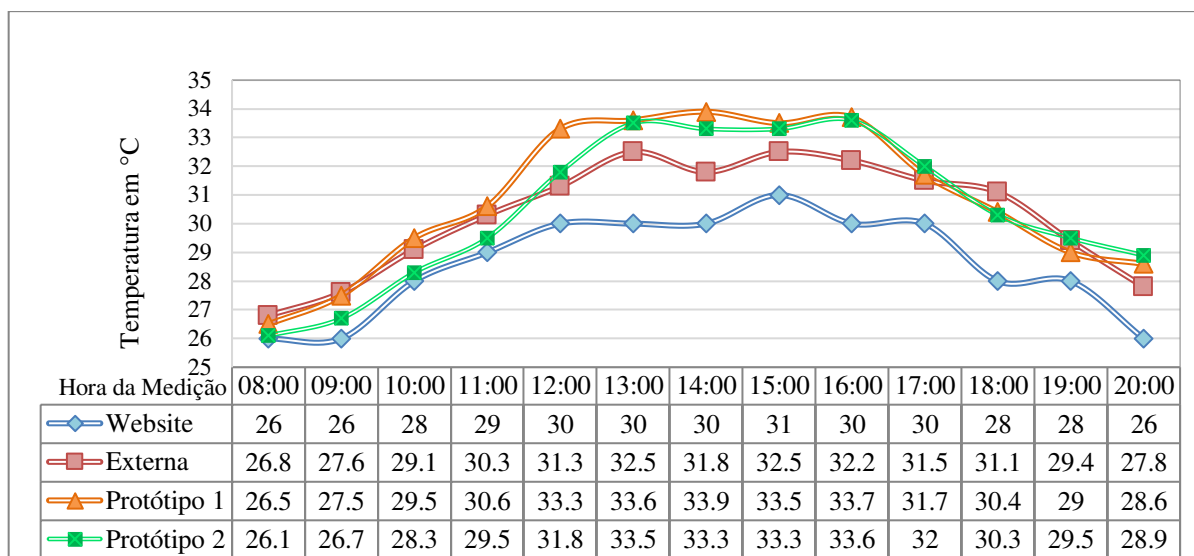
Portanto, além do aproveitamento de resíduos da construção civil apresentar vantagens sob o aspecto da sustentabilidade, ressalta um fator positivo para o meio ambiente. A viabilidade desse tipo de cobertura comprova que os benefícios gerados com a implantação do sistema para a sociedade, compensam o custo inicial do projeto a médio e longo prazo.

## 4.2. Resultados dos Ensaios de Desempenho e Custo Adicional do Telhado Verde

### 4.2.1. Desempenho térmico

Com as medições dos sete dias de acompanhamento obteve-se a média das temperaturas em seus respectivos horários, o Gráfico 2 demonstra os resultados através de gráficos comparativos do desempenho entre os Protótipos 1 e 2, da temperatura externa e a dada pelo *website Weather.com* (2019).

Gráfico 2 – Comparação de temperaturas para o ensaio de desempenho térmico.



Fonte: Autor (2019).

Conforme pode ser observado no Gráfico 2, durante o dia a temperatura do Protótipo 2 (telhado verde) variou entre 26,1 °C a 33,6 °C e a diferença de temperatura entre os protótipos 1 e 2 variou entre 0,1°C à 1,2°C. O Protótipo 2, comparado ao Protótipo 1(convencional), se manteve com a temperatura inferior entre o período das 8:00 as 12:00 horas, a partir do horário de 13:00 às 18:00 horas se manteve com os valores bem próximos, porém entre 19:00 às 20:00 horas a temperatura tornou-se superior e se manteve assim conservando o calor acumulado durante o dia.

Apesar de não demonstrar um desempenho térmico significativo, o protótipo que continha o telhado verde demonstrou uma amenização na tramitância térmica, assim as temperaturas internas se mostraram inferiores na maioria das aferições no decorrer do dia.

Contudo, a temperatura fornecida pelo *website Weather* (2019) ser uma média geral, não havia como ter uma comparação precisa, devido a discrepância no comparativo das

medições. Logo, a média dos dados da medição externa foi a que mais se aproximou da realidade dos protótipos.

Uma problemática observada, durante o período de análise, está relacionada ao revestimento utilizado para a vedação das paredes, constituído por madeira de compensado 12 mm, pois este absorveu o calor no período de 15:30 às 17:00 horas, momento de incidência direta do sol nas paredes, o que influenciou diretamente nos valores dos resultados.

Todavia, observou-se que em temperaturas elevadas a cobertura verde amenizou em horários de pico e quando houve uma queda na temperatura externa o sistema manteve a temperatura interna, logo possivelmente, se projetado em uma residência, seria mais possível a comprovação desse atraso térmico, amenizando a necessidade de gasto de energia elétrica e também aumentaria a área verde da cidade, assim reduzindo a poluição do ar pela a captação do CO<sup>2</sup> melhorando a qualidades do meio ambiente, conseqüentemente aumentando a qualidade de vida para os habitantes.

#### 4.2.2. Drenagem

Durante o período de observação, não foi identificado problemas em relação a drenagem do sistema, destacando-se que, a camada de RCD se manteve estável e obteve uma ótima percolação de água.

Para a análise do tempo de escoamento superficial relacionado aos protótipos, foi utilizado uma média de tempo de precipitação de 85 minutos. O telhado convencional apresentou um escoamento a partir de 1 minuto em média após as precipitações, já a respeito do telhado verde esse tempo médio foi de 12 minutos, ou seja, houve um retardamento considerável de 8,3% desse fluxo de escoamento superficial.

Com a análise da vazão de contribuição relacionados aos protótipos, com uma precipitação média de 343 mm, obtido do *website* CLIMATE-DATA.ORG (2019), obteve-se para o telhado convencional  $1,23 \times 10^{-4}$  l/s já para o telhado verde esse valor foi de  $2,25 \times 10^{-6}$  l/s uma diferença de 1,83% entre eles. Assim, comprovou-se que a vazão, em superfícies com características similares ao de um relevo natural, diminui em relação a áreas construídas, onde em sua maioria se trata de áreas impermeáveis aumentando o escoamento e a vazão.

Com a utilização em massa desse sistema de cobertura verde, promoveria uma restrição no volume da vazão sendo posteriormente liberada lentamente, assim dando auxílio ao sistema

de drenagem pública evitando o seu sobrecarregamento. Porém o município de Tucuruí-PA não possui um sistema de drenagem pública completo, logo a implementação de telhados verdes também se tornaria viável nesse aspecto.

Para a verificação da integridade e funcionamento das camadas, especialmente na questão de percolação da água provenientes das precipitações, se realizou a retirada do rufo, beiral de proteção, após três meses do plantio da *Tradescantia Spathacea* (Figura 35 a), observou-se que as camadas se mantiveram estáveis e desempenharam suas funções como planejado (Figura 35 b).

Figura 35 – Protótipo 2 após aproximadamente 3 meses do plantio.



Fonte: Autor (2019).

Esse tipo de sistema verde, caso fosse utilizado em grande porcentual dentro de uma cidade, minimizaria o sobrecarregamento do sistema de drenagem urbana e os riscos de enchentes. Pois, o sistema de camadas do telhado verde imita as condições naturais de um solo, provocando um retardamento no processo de escoamento da precipitação até os sistemas de drenagem urbano, devido a percolação e retenção da água, sendo liberadas lentamente pelo processo de percolação e evapotranspiração, quanto maior a espessura do substrato maior o retardamento do escoamento superficial.

#### 4.2.3. Patologias relacionados ao telhado verde

As patologias detectadas estiveram relacionadas apenas a presença de ervas daninhas nos primeiros dois meses, como era previsto (Figura 36 a), porém com o desenvolvimento da vegetação empregada houve a supressão das ervas daninhas que deixaram de se manifestar (Figura 36 b). A vegetação se desenvolveu perfeitamente as quais não excederam o tamanho de 15 cm (Figura 36 c).

Figura 36 – Desenvolvimento da *Tradescantia Spathacea*.



Fonte: Autor (2019).

Destaca-se também que não houve problemas com o descarrilamento do solo, sendo que a inclinação e o enraizamento da vegetação propiciaram estabilidade e segurança da camada (Figura 37 a). Outra questão detectada refere-se a uma leve compactação na camada de substrato, porém não prejudicou de forma busca a percolação da água precipitada (Figura 37 b).

Figura 37 – a) Enraizamento e b) Espessura de quase 4 cm.



Fonte: Autor (2019).

Referente a infiltração, não foi identificado problema de estanqueidade com o acompanhamento o interior do Protótipo 2, após grandes intervalos de chuvas fortes, a estrutura interna permaneceu intacta.

Os cuidados na confecção dos protótipos, foram de grande influência na ausência de patologias referente a estrutura do telhado verde extensivo, havendo as devidas precauções dificilmente a estrutura apresentará problemas nesse aspecto, uma vez que são projetadas para durarem cerca de 20 a 30 anos, uma vez que as camadas servem de proteção da base do telhado reduzindo os efeitos sofridos pelo intemperismo, normalmente gerados pela exposição as forças físicas da natureza .

#### 4.2.4. Custo adicional

Para melhor entendimento os valores dos materiais foram expostos na Tabela 13.

Tabela 13 – Valor dos materiais utilizados no protótipo de telhado verde

Quantidade		Materiais	Valor /m (R\$)	Valor x qtd. (R\$)
5,08	Und.	Tábuas 20 x 3 cm	3,50	17,78
1,20	m	Lona (dupla) 1,20 x 4 m;	3,50	4,20
2,40	m	Calhas de alumínio 0,4 x 2,4 m;	22,40	53,76
2	Und.	Joelhos 90° PVC 50 mm;	2,00	4,00
2,10	m	Tubos PVC 50 mm;	7,30	15,33
0,04	m <sup>3</sup>	Resíduo de Construção e Demolição (RCD);	0,0	0,0
1,20	m	Filtro de tecido 1,20 x 1,50 m;	11,40	13,68
0,06 6	m <sup>3</sup>	Substrato (Terra Preta 80% + matéria orgânica 20%);	0,0	0,0
200	Und.	Vegetação - <i>Tradescantia Spathacea</i> (Abacaxi Roxo).	0,0	0,0
<b>Valor total (R\$)</b>				<b>108,75</b>

Fonte: Autor (2018).

Os valores são correspondentes ao valor pago pelos materiais empregados, o valor total foi de R\$ 108,75 reais, o qual dividido pela área de 1,65 m<sup>2</sup> do telhado resultou em um valor de R\$ 65,90 /m<sup>2</sup>.

Caso se utilizasse argila expandida na composição do telhado verde no protótipo, seria acrescido do valor da argila expandida vezes a quantidade utilizada mais o acrescimo do frete, pois a região não dispõe desse tipo de produto.

## 5. CONCLUSÃO

Com a análise entre os protótipos e os ensaios empregados, observou-se que há uma redução da transmitância térmica, já que as próprias camadas, que constituem o telhado verde extensivo, funcionam como isolante térmico. Em relação a vegetação empregada, auxilia na captação dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) reduzindo a poluição do ar.

A utilização e desempenho do RCD no sistema de telhado verde se mostrou viável, com os resultados dos ensaios de caracterização do RCD, com o volume de vazios equivalente a 43,56 %, sua absorção de 13,30 % e o de seu peso específico em sua pior hipótese (saturado) sendo de 2571  $\text{Kg/m}^3$ , constatou-se a viabilidade de implantação o RCD reciclado na camada drenante.

O peso excedente total proveniente das camadas do telhado verde, no protótipo, foi de 100,4  $\text{Kg/m}^2$ , se enquadrando na classificação de telhado verde extensivo, proposto por IGRA (2011), onde o qual varia de 60 a 150  $\text{Kg/m}^2$ . Assim comprovando que o RCD, além de obter um alto potencial de utilização na construção civil em geral, também pode ser utilizado para a execução de telhados verdes, reduzindo o custo de matéria prima em sua implantação.

Em relação a drenagem urbana relacionada a utilização dos telhados verdes, houve um resultado superficial positivo, seguindo os resultados de diversos estudos mais aprofundados, expostos ao longo da pesquisa, que comprovam essa eficiência. O RCD não prejudicou a drenagem do sistema, devido ao seu alto índice de vazios, por serem constituídos por tamanhos variados e desregulares.

Quanto a ocorrência de patologias no protótipo quase não foi identificada, a única foi a presença de ervas daninhas no início, porém com a inspeção, no decorrer do desenvolvimento da vegetação empregada, o problema foi sanado.

A problemática mais pertinente identificada foi a falta de legislação e de norma de implantação desse sistema na região norte. Assim, existindo poucos casos de implantação, levando em consideração a extensão territorial do país, e os mesmos estão concentrados na região sul, onde algumas legislações empregadas incentivam e auxiliam no desenvolvimento desse sistema. Ou seja, deve haver um aprofundamento no estudo crítico em relação à legislação, promovendo discussões sobre a criação de programas de incentivo para incorporar, na cidade de Tucuruí e região, o uso de telhados verdes.

Contudo, os resultados apresentados atenderam aos requisitos exigidos, favorecendo o aproveitamento deste resíduo considerando como um novo material de utilização como camada drenante incorporado no sistema de cobertura verde extensiva e provavelmente também poderá ser utilizado nos demais sistemas, semi-intensivo e intensivo.

A presente pesquisa propôs em se buscar soluções alternativas para o município, proporcionando uma amortização de alguns impactos ambientais negativos, como redução das ilhas de calor, recuperação de áreas verdes, diminuição dos gases de CO<sub>2</sub>, redução na utilização de energia, entre outros benefícios que trariam uma valorização para a cidade e imóveis, ou seja, seria um sistema excelente como aliado na melhoria da qualidade de vida da população, na valorização dos empreendimentos residenciais e comerciais.

Conforme os resultados obtidos e as discussões apresentadas, identifica-se a contribuição da pesquisa para uma nova alternativa de um sistema de telhado verde no sistema intensivo empregando o RCD na camada drenante, o qual apresenta alto potencial de utilização.

### **5.1. Sugestões para Trabalhos Futuros**

Considerando a importância do estudo de coberturas verdes e seus múltiplos benefícios gerados como um grande apoio para a difusão da sustentabilidade, algumas sugestões de aplicabilidade, tais como:

- Continuidade da pesquisa no período correspondente ao período de verão da região verificando o desempenho da cobertura e a necessidade de complementar um sistema de irrigação;
- Analisar uma forma de implantar projetos de sistemas de telhados verdes junto ao poder público em escolas do município ou em áreas de utilização comum, tais como as paradas de ônibus, assim difundindo a educação ambiental e a sustentabilidade;
- Desenvolver estudos e tratamento do caroço de açaí que possibilitem sua utilização na camada drenante no sistema de telhados verdes, como realizado com o RCD nesta pesquisa e
- Analisar a possibilidade de desenvolver um tipo de substrato técnico a partir do RCD ou do caroço de açaí, uma vez que a vegetação empregada em um telhado verde extensivo, em sua maioria, não necessita de solos ricos, aumentando a estabilidade do substrato, minimizando as manutenções e a sobrecarga atuante na estrutura.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABA ACÚSTICA. Empresa de Construção Civil e Execuções Especializadas. Argila Expandida. Disponível em: <http://www.abaacustica.com.br/argila.pdf>. Acesso em: 27 fev. 2019.

AFONSO, F. J. de A. Caracterização de Agregados Reciclados de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) para Uso em Camadas Drenantes de Aterros de Resíduos Sólidos. Tese (Mestre em Ciências) – Faculdade de Engenharia Civil – UFRJ. Rio de Janeiro – RJ, 2005.

ARAÚJO, S. R. de. As Funções dos Telhados Verdes no Meio Urbano, na Gestão e no Planejamento de Recursos Hídricos. Monografia (Doutorado) curso de Engenharia Florestal – UFRJ. Seropédica – RJ, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-2. Desempenho térmico de edificações. Parte 2: Método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Brasília – DF, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-5. Edificações habitacionais - Desempenho - Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas. Brasília – DF, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 26: Amostragem de agregados. Rio de Janeiro – RJ, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 27: Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório. Rio de Janeiro – RJ, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 45: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro- RJ, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 52: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro – RJ, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 53: Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro – RJ, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro – RJ, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575: Edificações habitacionais: desempenho. Brasília – DF, 2012.

BALDESSAR, S. M. N. Telhado Verde e sua Contribuição na redução da Vazão da Água Pluvial Escoda. Programa (Pós-Graduação) em Engenharia da Construção Civil, Área de

Concentração em Ambiente Construído, Departamento de Construção Civil, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná. Curitiba – PR, 2012.

BARBIERI, J. C. Gestão ambiental empresarial: conceito, modelos e instrumentos. 2.ed. São Paulo. Editora Saraiva, 2007.

BONI, F. Telhado Verde Guia Completo – UGREEN, crescimento sustentável. 2015. Disponível em: <https://www.ugreen.com.br/wp-content/uploads/2016/03/UGREEN-01-Telhados-Verdes.pdf>. Acesso em: 16 fev. 2019.

BUILDING LOGICS. Envirotech roof systems. Virginia Beach, VA 23452, 103 Downshire Chase, 2002.

BLOG FLORISA. Salvador instala primeiro teto verde em ponto de ônibus. 2014. Disponível em: <http://www.florisa.com.br/2016/11/salvador-instala-primeiro-teto-verde-em-ponto-de-onibus/>. Acesso em: 16 fev. 2019.

CARAMAPOA. Câmara Municipal de Porto Alegre. Telhados verdes poderão ser obrigatórios em prédios públicos. Porto Alegre, 2016. Disponível em: <http://www.camarapoa.rs.gov.br/noticias/telhados-verdes-poderao-ser-obrigatorios-em-predios-publicos/>. Acesso em: 20 jan. 2019.

CBCS. Conselho Brasileiro de construção Sustentável. Posicionamento telhados verdes no Brasil. Junho de 2014. Disponível em: [http://www.cbcs.org.br/\\_5dotSystem/userFiles/posicionamentos/CBCS\\_Posicionamento\\_Telhados-Verdes.pdf](http://www.cbcs.org.br/_5dotSystem/userFiles/posicionamentos/CBCS_Posicionamento_Telhados-Verdes.pdf). Acesso em: 20 jan. 2019.

CHEHEBE, J. R. B. Análise de Ciclo de Vida de Produtos. Ed. Qualitymark. Rio de Janeiro – RJ. 1997.

CLIMATE-DATA.ORG. Clima Tucuruí. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/para/tucurui-880055/>. Acesso em: 20 dez. 2018.

CORMIER, N.; PELLEGRINO, P. & MESQUITA, R. “Infra-estrutura Verde: Uma Estratégia Paisagística para a Água Urbana. Paisagem e Ambiente.” São Paulo – SP: Ensaios, 2008.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. RESOLUÇÃO CONAMA nº 307, de 5 de julho. 2002. Publicada no DOU no 136, de 17 de julho de 2002, Seção 1, páginas 95-96. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Disponível em: [http://www.mma.gov.br/estruturas/a3p/\\_arquivos/36\\_09102008030504.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/a3p/_arquivos/36_09102008030504.pdf). Acesso em: 20 dez. 2018.

CORREA, C. B.; GONZALEZ, F. J. N. O uso de coberturas ecológicas na restauração de coberturas planas. In: NÚCLEO DE PESQUISA EM TECNOLOGIA DE ARQUITETURA E URBANISMO – NUTAU. Anais. São Paulo: Pró – reitoria de pesquisa, Universidade de São Paulo – SP, 2002.

DE PAUW, C.; LAURITZEN, E.K. Disaster planning, structural assessment, demolition and recycling (RILEM REPORT 9). Londres, E&FN Spon, 1994.

DURHMAN, A.; ROWE, D. B.; EBERT-May D; RUGH, C. L. Evaluation of crassulacean species on extensive green roofs. Paper presented at the Second Annual Greening Rooftops for Sustainable Communities Conference, Awards and Trade Show; 2 – 4 June 2004, Portland, Oregon.

ECOTELHADO. Mais que ideias soluções verdes. Disponível em: [www.ecotelhado.com.br](http://www.ecotelhado.com.br). Acesso em: 14 abr. 2018.

ELERO, K. K.; WOOD, L. B. Análise Comparativa e Comportamental de Materiais Utilizados Como Substrato Rígido para Telhado Verde. Trabalho (Conclusão de Curso) em Engenharia Civil, Setor de Tecnologia, Departamento de Construção Civil da Universidade Federal do Paraná, 2013.

EM DISCUSSÃO. Conferência RIO – 92 sobre o Meio Ambiente do Planeta: Desenvolvimento Sustentável dos Países. Em Discussão!. Revista de audiência pública do Senado Federal. Ano 3 – nº 11. Jun. 2012. Disponível em: [http://www.senado.gov.br/NOTICIAS/JORNAL/EMDISCUSSAO/upload/201202%20-%20maio/pdf/em%20discuss%C3%A3o!\\_maio\\_2012\\_internet.pdf](http://www.senado.gov.br/NOTICIAS/JORNAL/EMDISCUSSAO/upload/201202%20-%20maio/pdf/em%20discuss%C3%A3o!_maio_2012_internet.pdf). Acesso em: 05 fev. 2019.

FARIA, F. Integração, colaboração e evolução em busca de um mesmo propósito, um futuro mais sustentável. Revista Green building council brasil, edição nº 06. São Paulo, 2015.

FERRAZ, I. L.; LEITE, B. C. C. VI Encontro Nacional e IV Encontro Latino-americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis. Vitória – ES, set. 2011.

FERRAZ, I. L.; LEITE, B. C. C. Amendoim no telhado: O comportamento da grama-amendoim (*Arachis repens*) na cobertura verde extensiva. VI Encontro Nacional e IV Encontro Latino-americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis. Vitória – ES. Set. 2011. In: INTERNACIONAL GREEN ROOF ASSOCIATION – IGRA. *Green Roof Types*. 2011. p. 3.

FERRAZ, I. L. O desempenho térmico de um sistema de cobertura verde em comparação ao sistema tradicional de cobertura com telha cerâmica. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo – SP, 2012.

FILHO, M. S., *et al.* "Além de Um Diálogo Reservado com as Estrelas: O Processo de Formação e Transformação do Terraço Jardim ao Telhado Verde." RCT-Revista de Ciência e Tecnologia, Rio de Janeiro – RJ, 2015.

GALDINO, A. K. Ponto de ônibus com teto verde que produz energia solar é instalado em Caxias do Sul. Engenharia. Abr. 2014. Disponível em: <http://engenhariae.com.br/meio-ambiente/ponto-de-onibus-com-teto-verde-que-produz-energia-solar-e-instalado-em-caxias-do-sul/>. Acesso em: 16 fev. 2019.

GONÇALO, O. S. Prédios poderão ganhar telhado verde em Niterói. Rio de Janeiro, 2013.

HENEINE, S. A. C. M. Cobertura Verde. Monografia (Especialização) em Construção Civil da Escola de Engenharia, UFMG, 2008.

HONGMING, H. C. Y. Jim. Simulation of thermodynamic transmission in green roof ecosystem. *Ecological Modelling*, v. 221, p. 2949-295, 2010.

HUANG, S.; TANIGUCHI, M.; YAMANO, M.; WANG, C. Detecting urbanization effects on surface and subsurface thermal environment — A case study of Osaka. *Science of the total environment*. n.407, p.3142–3152, 2009.

INMET, INDEM; INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa. Brasília – DF, 2012.

IMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Estações convencionais. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesconvencionais>. Acesso em: 28 jan. 2019.

JOBIM, A. L. Diferentes tipos de telhados verdes no controle quantitativo da água pluvial. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, área de concentração em recursos hídricos e saneamento ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM – RS. Set. 2013.

JOHN, V. M.; CBCS, Conselho Brasileiro de Construção Sustentável. Posicionamento Telhados verdes no Brasil - Parecer sobre o Projeto de Lei nº 1.703, de 2011. Jul. 2014. Disponível em: <[http://www.cbcs.org.br/\\_5dotSystem/userFiles/posicionamentos/CBCS\\_Posicionamento\\_Telhados-Verdes.pdf](http://www.cbcs.org.br/_5dotSystem/userFiles/posicionamentos/CBCS_Posicionamento_Telhados-Verdes.pdf). Acesso em: 27 jan. 2019.

JUNIOR, J. V. B.; ROMANEL, C. Sustentabilidade na indústria da construção: uma logística para reciclagem dos resíduos de pequenas obras. *Revista Brasileira de Gestão Urbana (Brazilian Journal of Urban Management)*, v. 5, n. 2, p. 27-37, jul./dez. 2013.

KÖHLER M.; KEELEY M. The green roof tradition in Germany: The example of Berlin. Pages 108–112 in Hoffman L, McDonough W, eds. *Green Roofs: Ecological Design and Construction*. New York: Schiffer, 2005.

KOPPE, C., KOVATS, S., JENDRITZKY, G. AND MENNE, B. Health and global environmental change; heat-waves: risks and responses. Series no. 2, Energy, Environment and Sustainable Development. World Health Organization, Copenhagen, 2004.

KORZENIESKI, C. P. Avaliação da influência do uso de telhados verdes no escoamento superficial em um loteamento de Pelotas - RS. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Pelotas – RS, 2016.

LIMA, J.A.R. Preposição de diretrizes para produção e normalização de resíduo de construção reciclados e de suas aplicações em argamassas e concretos. São Carlos, 1999. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

LINO, D. M.; CASTRO, S. A.; GOLDENFUN, A. J. Uso de telhado verdes no controle quali-quantitativa do escoamento superficial urbano. Universidade Federal Rio Grande do Sul, 2008.

MINKE, G. Techos verdes - Planificación, ejecución, consejos prácticos. Uruguay: Editora Fin de Siglo, 2005.

NETO, F. G. F. Deposições irregulares de resíduos da construção civil na cidade de Parnaíba – PI. Programa (Pós-Graduação) em Geografia da Universidade Estadual Paulista – UNESP, Campus Rio Claro. Rio Claro – SP, 2010.

NOTÍCIAS IN FOCO. Pontos de ônibus de Garopaba são destaque em revista do segmento industrial. Jun. 2016. Disponível em: <https://www.noticiasinfoco.com.br/artigo/pontos-de-onibus-de-garopaba-sao-destaque-em-revista-do-segundo-industrial>. Acesso em: 16 fev. 2019.

OHNUMA JR., A. A. Medidas não convencionais de reservatório d’água e controle da poluição hídrica em lotes domiciliares. Tese (Doutorado) em Ciências da Engenharia Ambiental – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2008.

OLIVEIRA, E. W. N. de. Telhados verdes para habitações de interesse social: retenção das águas pluviais e conforto térmico. 2009. 86f. Dissertação (Mestrado) do curso de Engenharia Ambiental – UFRJ, Rio de Janeiro – RJ, 2009.

OSMUNDSON, T. (1999) “Roof Gardens: History, Design and Construction”. New York: W. W. Norton & Company Inc., 1999.

PALHA, P. Neoturf, Empresa portuguesa especializada na instalação de coberturas verdes, 2016. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=ob63HAZTHI4>. Acesso em 15 nov. 2018.

PARAÍBA. Lei n.º 10.047, de 09 de julho de 2013. Dispõe sobre a obrigatoriedade da instalação do “Telhado Verde” nos locais que especifica, e dá outras providências. Disponível em: [http://201.65.213.154:8080/sap/sap\\_documentos/norma\\_juridica/10763\\_texto\\_integral](http://201.65.213.154:8080/sap/sap_documentos/norma_juridica/10763_texto_integral). Acesso em: 12 set. 2018.

PATRO, R. Abacaxi-roxo – *Tradescantia Spathacea*. Jardineiro.net em 14 de setembro de 2015. Disponível em: <https://www.jardineiro.net/plantas/abacaxi-roxo-tradescantia-spathacea.html>. Acesso em: 15 nov. 2018.

PATRO, R. Grama-amendoim – *Arachis repens*. Jardineiro.net em 11 de março de 2015. Disponível em: <https://www.jardineiro.net/plantas/grama-amendoim-arachis-repens.html>. Acesso em: 10 dez. 2018.

PECK, S.W.; CALLAGHAN, C.; KUHN, M.E.; BASS, B. *Status report on benefits, barriers and opportunities for green roof and vertical garden technology diffusion*. Canada mortgage and housing Corporation. Canadá, 1999.

PESSANHA, L. B. Proposta de Implantação de um Telhado Verde Extensivo Utilizando a Técnica de *wetland*, na escola Politécnica – UFRJ, 2017.

PROJETO DE LEI Nº 1.703, DE 2011. Dispõe sobre a instalação do denominado “Telhado Verde” e dá outras providências. Do Sr. Jorge Tadeu Mudalen – DEM/SP, 2011.

RANGEL, A. C. L. da C.; ARANHA, K. C.; SILVA, M. C. B. C. da. Os telhados verdes nas políticas ambientais como medida indutora para a sustentabilidade. DMA - Desenvolvimento e Meio Ambiente, v. 35, p. 397-409, 2015.

RECIFE. Câmara Municipal de Recife. Jurandir Liberal quer aprofundar debate sobre Telhado verde. Abril de 2014. Disponível em: [http://www.recife.pe.leg.br/noticias\\_antigas/jurandir-liberal-quer-aprofundar-debate-sobre-telhado-verde](http://www.recife.pe.leg.br/noticias_antigas/jurandir-liberal-quer-aprofundar-debate-sobre-telhado-verde). Acesso em: 20 jan. 2019.

REDA, A. L. L.; TANZILLO, A. A.; COSTA, G. B. Telhados Verdes: uma proposta econômica em busca do desenvolvimento urbano sustentável. In: Congresso Brasileiro de Avaliação de Impacto, São Paulo – SP, 2012.

REVISTA ENGENHARIA. Campo Mourão/PR. Ano 02 – Edição 01 – outubro de 2018. Disponível em: <http://www.crea-pr.org.br/ws/wp-content/uploads/2018/09/PDF-revista-engenharia-2018.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2018.

ROCHA, S. Hotel Produz Comida no Telhado e economiza mais de 30 mil dólares por ano. Blog Cidade Jardim. Agosto de 2014. Disponível em: <https://institucidadejardim.wordpress.com/2014/08/20/hotel-produz-comida-no-telhado-e-economiza-mais-de-30-mil-dolares-por-ano/>. Acesso em: 21 jan. 2019.

SALEIRO FILHO, M. de O.; ALVES, L. A. dos R.; SCHUELER, ROLA, S. Além de um Diálogo Reservado com as Estrelas: O Processo de Formação e Transformação do Terraço Jardim ao Telhado Verde. RCT - Revista de Ciência e Tecnologia, [S.l.], v. 1, n. 1, nov. 2015. ISSN 24477028. Disponível em: <https://revista.ufr.br/rct/article/view/2540/1801>. Acesso em: 25 out. 2018.

SANTA CATARINA. Lei nº 14.243, de 11 de dezembro de 2007. Dispõe sobre a implementação de sistemas de naturalização através da criação de telhados verdes em espaços urbanos de Santa Catarina. ALESC/Coord. Documentação Procedência: Dep. Professor Grandó. Florianópolis, Natureza: PL. 170/07 DO: 18.265, dez. 2007.

SANTAMOURIS, M.; PARAPONIARIS, K.; MIHALAKAKOU, G. Estimating the ecological footprint of the heat island effect over Athens, Greece. *Climate Change*. 2007, Vol. 80, pp. 265-276.

SANTOS, M. B. dos; GOUVEIA, F. P. Tecnologia e Materiais Utilizados na Concepção de Telhados Verdes: Uma Adequação ao Município de Tucuruí – PA. 21º CBECIMAT - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais 09 a 13 de nov. de 2014, Cuiabá - MT. p. 8279-8286, 2014.

SAVI, A. C. Telhados Verdes: análise comparativa de custo com sistemas tradicionais de cobertura. 2012. 125 Folhas. Monografia (Construções Sustentáveis) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba – PR.

SHARMAN, L. *City of Sidney: Green Roofs and Walls Policy Implementation Plan*. 2014. Disponível em: <http://www.cityofsydney.nsw.gov.au/vision/sustainable-sydney-2030/strategic-directions/a-leading-environmental-performer/greening-the-city/green-roofs-and-walls>. Acesso em: 17 de set. 2018.

SILVA, N. da C. Telhado Verde: Sistema Construtivo de maior Eficiência e menor Impacto Ambiental, 2011.

SILVA, M. P. da. Análise de um protótipo de telhado verde como técnica compensatória em drenagem urbana. Projeto de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro – RJ, 2018.

SOUZA, C. R. B. Telhado verde e sua contribuição para a redução da temperatura ambiente em construções para Cascavel – PR. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura. Cascavel – PR, 2016.

SPANGENBERG, J. Melhoria do clima urbano nas metrópoles tropicais: estudo de caso. 2004.

SUSTENTABILIDADE ARISP. Paredes e telhados verdes ganham espaço no Brasil e no mundo, 2017. Disponível em: <http://sustentabilidade.registradores.org.br/noticias/paredes-e-telhados-verdes-ganham-espaco-no-brasil-e-no-mundo.html>. Acesso em: 16 fev. 2019.

VECCHIA, F.; Cobertura verde leve (CVL): ensaio experimental. VI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído (ENCAC) e IV Encontro Latino-americano sobre Conforto no Ambiente Construído (ELACAC). Maceió – AL, 2005.

WEATHER SPARK, Condições meteorológicas médias de Tucuruí. 2019. Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/y/30000/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Tucuru%C3%AD-Brasil-durante-o-ano>. Acesso em 30 jan. 2019.

WHITE, K. S. ET AL. Technical summary, climate change 2001: impacts, adaptation and vulnerability. In: J.J. McCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken and K.S. White, Editors, Climate change 2001: impacts, adaptation and vulnerability, United Nations' Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Cambridge University Press, Cambridge, pp. 19 –73, 2001.

WONG, N. H.; CHEN, Y. ONG, C. L.; SAI, A. Investigation of termal benefits of rooftop garden in the tropical enviroment. *Building and Enviroment*. v. 38, n. 2, 2003.

ZANCHETTA, D.; BURGARELLI, R. Programa telhado verde de 2009 está parado. In: O Estado de São Paulo, 2012.

ZORDAN, E. Z. Utilização do entulho como agregado, na confecção do concreto. Dissertação (Mestrado) – UEC, Faculdade de Engenharia Civil. Campinas – SP, 1997.