

**UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI**

**Bacharelado em Engenharia Civil**

**Lucas Pereira Braga**

**COBERTURA VERDE COMO ALTERNATIVA PARA EDIFICAÇÕES NO  
MUNICÍPIO DE TEÓFILO OTONI/MG**

**Teófilo Otoni**

**2019**

**Lucas Pereira Braga**

**COBERTURA VERDE COMO ALTERNATIVA PARA EDIFICAÇÕES NO  
MUNICÍPIO DE TEÓFILO OTONI/MG**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), como parte dos requisitos exigidos para a conclusão do curso.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Me. Iara Ferreira Rezende Costa.

**Teófilo Otoni**

**2019**

**Lucas Pereira Braga**

**COBERTURA VERDE COMO ALTERNATIVA PARA EDIFICAÇÕES NO  
MUNICÍPIO DE TEÓFILO OTONI/MG**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), como parte dos requisitos exigidos para a conclusão do curso.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Me. Iara Ferreira Rezende Costa.

Data da aprovação: \_\_\_\_/\_\_\_\_/2019

---

Prof<sup>ª</sup>. Me. Iara Ferreira Rezende Costa

Instituto de Ciência, Engenharia e Tecnologia - UFVJM

---

Prof. Breno Alcântara Silva

Instituto de Ciência, Engenharia e Tecnologia - UFVJM

---

Prof. Me. Alcino de Oliveira Costa Neto

Instituto de Ciência, Engenharia e Tecnologia - UFVJM

Teófilo Otoni

## **DEDICATÓRIA**

Dedico esse trabalho a Deus. A minha família e minha namorada, cujo apoio incondicional foi imprescindível para execução desse estudo.

## **AGRADECIMENTOS**

Sou grato ao meu Deus por ter me capacitado, fortalecido, concedido sabedoria e iluminar minha mente para absorver os conhecimentos transmitidos por meus sábios e experientes professores.

Agradeço a minha família que sempre estiveram ao meu lado durante essa caminhada, me dando apoio, incentivando e acreditando em meus sonhos. Obrigado por serem compreensivos e pacientes quando as horas incansáveis de estudo substituíram nosso tempo em família.

A minha namorada Larissa pelo amor, confiança, companheirismo e amizade. Obrigado por ter se dedicado ao nosso relacionamento, por estar sempre ao meu lado e acreditado que meu sonho se concretizaria.

Meus agradecimentos também a minha orientadora Prof.<sup>a</sup>. Me. Iara Ferreira Rezende Costa e ao Prof. Me. Alcino de Oliveira Costa Neto por sua excelência como profissionais que serviram de inspiração e incentivo para mim.

Ainda sou grato aos funcionários da G&C Formas e Ferragens por auxiliarem na construção do protótipo do trabalho e disponibilização de espaço físico para execução deste projeto. Muito obrigado a todos que de alguma forma contribuíram para que meu sonho fosse hoje uma realidade!

## RESUMO

A urbanização advinda nos últimos anos acarretou vários agravantes negativos que não eram esperados em detrimento ao crescimento desordenado nos grandes centros, ocasionando problemas como inundações, ilhas de calor, morte da fauna e flora local, dentre outros. À vista disso, vários pesquisadores têm buscado soluções sustentáveis para atenuar esse dano. Esse trabalho propõe a utilização de coberturas verdes na cidade de Teófilo Otoni – MG, no intuito de buscar um melhor conforto térmico para as edificações do município. Para tal finalidade, foram realizadas medições de temperatura em um protótipo que simula uma edificação na cidade, contendo três sistemas de cobertura, que inclui as telhas cerâmicas, a cobertura verde e uma laje maciça de concreto. Após análise comparativa foi verificado que a cobertura verde extensiva é o sistema construtivo mais adequado para cumprir os requisitos de conforto térmico, diante das demais alternativas, considerando as condições climáticas da região em questão.

**Palavras-chave:** Cobertura verde extensivo; Conforto térmico; Cobertura.

## ABSTRACT

Urbanization in recent years has led to several negative aggravations that were not expected in detriment to disorderly growth in large centers, causing problems such as floods, heat islands, death of local flora and fauna, among others. In light of this, several researchers have sought sustainable solutions to mitigate this damage. This work proposes the use of green roofs for the city of Teófilo Otoni - MG, in order to seek a better thermal comfort for the buildings of the municipality. For this purpose, temperature measurements were performed on a prototype that simulates a building in the city, containing three roofing systems, including ceramic tiles, green roofing and a solid concrete slab. After comparative analysis it was verified that the extensive green cover is the most suitable construction system to meet the thermal comfort requirements, considering the other alternatives, considering the climatic conditions of the region in question.

**Keywords:** Extensive green roof; Thermal comfort; Roof.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Jardins Suspensos da Babilônia .....	16
Figura 2 -	Modelo de Casa Viking .....	17
Figura 3 -	Ecosistema de cobertura verde mostrando fluxos de energia, água, nutrientes e organismos .....	18
Figura 4 -	Cobertura verde extensivo na empresa Schlumberger no Rio de Janeiro .....	23
Figura 5 -	Cobertura verde intensivo composto por árvores silvestres no centro de convenções da Igreja de Jesus Cristo dos Santos dos Últimos Dias em Salt Lake City, Utah .....	25
Figura 6 -	Composição de uma cobertura verde e sua disposição em camadas .....	26
Figura 7 -	Casa com cobertura no município de Porto Feliz .....	27
Figura 8 -	Vegetação para cobertura verde no Brasil .....	28
Figura 9 -	Vegetação para cobertura verde no Brasil .....	28
Figura 10 -	Centro de Convenções de Vancouver .....	29
Figura 11 -	Across Fukuoka Prefectural International Hall .....	29
Figura 12 -	Bosco Verticale .....	30
Figura 13 -	Corte das madeiras e construção dos locais a receberem as coberturas .....	32
Figura 14 -	Aplicação da chapa de zinco no interior do ambiente .....	32
Figura 15 -	Primeiro protótipo de cobertura feito de telha colonial .....	33
Figura 16 -	Cobertura verde extensivo .....	34
Figura 17 -	Laje de concreto .....	34
Figura 18 -	Termômetro digital infravermelho com mira laser .....	35
Figura 19 -	Vista frontal do experimento concluído .....	36
Figura 20 -	Vista superior do protótipo .....	36
Figura 21 -	Variação de temperatura durante manhãs em °C .....	39
Figura 22 -	Variação de temperatura durante tardes em °C .....	39
Figura 23 -	Variação de temperatura durante noites em °C .....	40
Figura 24 -	Temperaturas médias dos ambientes abaixo dos 3 tipos de coberturas .....	41

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação entre coberturas verdes .....	25
Tabela 2 - Medições matinais realizadas às 8:00h .....	37
Tabela 3 - Medições vespertinas realizadas às 13:00h .....	38
Tabela 4 - Medições noturnas realizadas às 18:30h .....	38
Tabela 5 - Análises estatísticas matutinas .....	42
Tabela 6 - Análises estatísticas vespertinas .....	42
Tabela 7 - Análises estatísticas noturnas .....	43

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>Introdução .....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>Objetivos .....</b>	<b>12</b>
2.1	Objetivo Geral .....	12
2.2	Objetivos Específicos .....	12
<b>3</b>	<b>Justificativa .....</b>	<b>13</b>
<b>4</b>	<b>Organização do Trabalho .....</b>	<b>14</b>
<b>5</b>	<b>Fundamentação Teórica .....</b>	<b>15</b>
5.1	Cobertura Verde .....	15
5.2	História .....	16
5.3	Benefícios .....	18
5.3.1	Enriquecimento e Restauração de Ecossistemas e Biodiversidade.....	18
5.3.2	Arrefecimento de Edifícios e Arredores .....	19
5.3.3	Gerenciamento de Águas Pluviais .....	20
5.3.4	Prevenção e Redução da Poluição .....	21
5.3.5	Saúde Física e Psíquica .....	21
5.3.6	Isolamento Acústico .....	22
5.4	Classificação .....	22
5.4.1	Cobertura Verde Extensivo .....	22
5.4.2	Cobertura Verde Semi-Intensivo .....	23
5.4.3	Cobertura Verde Intensivo .....	24
5.5	Composição .....	26
5.6	Coberturas Verdes no Brasil .....	27
5.7	Coberturas Verdes pelo Mundo .....	29
<b>6</b>	<b>Procedimentos Metodológicos .....</b>	<b>31</b>
<b>7</b>	<b>Resultados .....</b>	<b>37</b>
<b>8</b>	<b>Considerações Finais .....</b>	<b>44</b>
	<b>Trabalhos Futuros .....</b>	<b>45</b>
	<b>Referências Bibliográficas .....</b>	<b>46</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Em tempos recentes, a falta de recursos energéticos promoveu o tema da racionalização da energia em escala mundial e nos diversos ramos de atividades. Apesar de ser um tema largamente pesquisado, há ainda grande ocorrência de ambientes inadequados, gerando custos sociais e gastos com usos de equipamentos condicionadores térmicos nas edificações. Segundo Arantes (2013), a partir da variedade de atividades que podem ser desenvolvidas em edificações destinadas principalmente à habitação, visando o bem-estar de seus usuários para o cumprimento de suas tarefas cotidianas e, considerando, para o pleno desenvolvimento dos trabalhos diários, a busca por bons índices de conforto ambiental no interior de residências deve se tornar item imprescindível a ser aplicado nas soluções projetuais adotadas para os edifícios.

Entre as medidas para os projetos residenciais bioclimáticos, está a implantação das coberturas verdes. Este modelo de cobertura tem como aplicação o uso de espécies vegetais variadas sobre a cobertura das habitações, a fim de proporcionar maior conforto térmico no seu interior, reduzindo assim, os gastos com energia para aquecimento ou resfriamento dos ambientes. A cobertura é um elemento chave no conforto térmico das edificações, elemento que recebe a radiação solar, durante todo o dia, e tem uma significativa importância no transmissão de calor para as edificações térreas. A carga térmica recebida pela cobertura pode atingir valores de 72,3%, em detrimento das fachadas e do piso (MASCARÓ e MASCARÓ, 1992).

A cobertura verde torna a cobertura mais densa com o uso do substrato e da própria vegetação, permitindo que o calor transmitido ao ambiente seja menor nos períodos mais quentes, assim como a perda de calor pela cobertura seja baixa nos períodos mais frios, diminuindo o consumo energético da edificação em relação ao condicionamento térmico. Um projeto racional e com bons níveis de qualidade do ar depende, sobretudo da ideal especificação dos elementos construtivos. A partir deste panorama, o presente trabalho se propõe avaliar as alterações de temperatura em ambientes internos de um protótipo instalado na cidade de Teófilo Otoni, simulando uma edificação térrea com três tipos de cobertura: telhas cerâmicas, cobertura verde e uma laje maciça de concreto. As medições da temperatura nesse protótipo permitem aferir as características térmicas de possíveis edificações no município, a fim de determinar qual é a mais eficiente para o conforto térmico. A hipótese adotada e a ser defendida é que a cobertura verde proporciona melhor conforto térmico comparado com coberturas usais.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

O objetivo desse trabalho é avaliar a implantação de cobertura verde como alternativa para edificações na cidade de Teófilo Otoni, comparando-o com outros dois modelos (tipos) de cobertura.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Construir um protótipo de coberturas, composto por uma cobertura colonial, uma cobertura verde e uma laje;
- Coletar a temperatura dos ambientes abaixo das coberturas e armazenar os dados angariados;
- Verificar a viabilidade de se usar coberturas verdes no município de Teófilo Otoni devido as condições climáticas verificadas na cidade.

### 3 JUSTIFICATIVA

Diante do presente cenário que a urbanização tem causado ao planeta com relação às edificações, novas técnicas construtivas têm sido empregadas no ramo construção civil, a fim de proporcionar projetos mais ecológicos e sustentáveis.

As grandes cidades trazem consigo vários problemas, tais como a formação de ilhas de calor, a poluição e a destruição de ambientes verdes, provocando um efeito cadeia que prejudica a saúde humana e a fauna/flora do local.

Com isso, ideias vêm sendo aplicadas para atenuar esse efeito, dentre elas tem-se coberturas verdes e jardins verticais para melhorar a refrigeração. Coberturas verdes proporcionam uma melhoria no ambiente originando uma diminuição da temperatura no local de tal forma que a utilização de mecanismos como ares condicionados e ventiladores se faz menos imprescindível.

Portanto, visando aplicar a técnica de coberturas verdes na cidade de Teófilo Otoni, Minas Gerais, esse trabalho busca justificar e verificar essa aplicação utilizando de um protótipo exposto às condições climáticas do município em questão.

A cidade se encontra na bacia do rio Mucuri, que está localizada no Leste de Minas Gerais, possui dimensões de 285 x 195 km e área aproximada de 23.104 mil km<sup>2</sup>. O rio Mucuri drena uma região localizada no Polígono da Seca definido pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), apresenta altos índices de temperatura; possui baixos índices pluviométricos, que variam entre 700mm e 1200mm anuais e estão concentrados entre os meses de dezembro a março, sendo mais abundantes nas proximidades da divisa com o Espírito Santo (PEDERASSI *et al*, 2011).

O município trata-se do principal e mais importante centro econômico da região, por isso este foi o escolhido para fazer as implantações iniciais, no intuito de proporcionar e levar a ser conhecida esse tipo de cobertura para as demais cidades da região.

#### **4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO**

Este trabalho foi organizado da seguinte forma no intuito de proporcionar uma melhor leitura e compreensão do tema tratado: o Capítulo 5 apresenta uma fundamentação teórica que trata dos conceitos primordiais sobre coberturas verdes e locais onde essa técnica já foi aplicada no Brasil e no mundo. O Capítulo 6 apresenta o processo metodológico empregado na construção do protótipo e para a coleta de dados. Em seguida encontra-se o Capítulo 7, que apresenta os resultados obtidos de forma objetiva e visual. Por fim, o capítulo 8 é composto pelas conclusões levando em conta os resultados obtidos.

## 5 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 5.1 Cobertura Verde

Segundo Liptan e Strecker (2003), e Rangel *et al.* (2015), cobertura verde é um ecossistema vegetativo de solo leve e vegetação autossustentável, biologicamente vivo e, como tal, fornece uma cobertura protetora para o edifício, utilizando de elementos naturais como sol, vento e chuva para se sustentar. Esta proteção permite que o sistema tenha um acréscimo em sua vida útil de 30 a 40 anos. Além de ser uma alternativa estética e ecológica, o mesmo requer pouca manutenção e desenvolve atributos não encontrados em coberturas convencionais.

De acordo com Santos *et al.* (2017) a cobertura verde é uma técnica construtiva que consiste na aplicação e uso de uma cobertura vegetal feita com grama e/ou plantas e que, é instalado em lajes ou coberturas de residências, fábricas, escritórios e outras edificações.

Como descrito por Costa *et al.* (2012), coberturas verdes, tetos verdes, coberturas vivas, eco coberturas ou coberturas ajardinadas, dentre outras denominações encontradas na literatura, consiste em uma técnica da Arquitetura que busca aplicar solo e vegetação sobre estruturas de cobertura impermeável, em diversos tipos dessas coberturas e de edificações.

Seus principais benefícios são um melhor conforto térmico tanto para o ambiente logo abaixo da cobertura vegetal, quanto para suas proximidades devido à diminuição das ilhas de calor; além de conforto acústico para os cômodos inferiores, devido ao isolamento concedido pelo solo e o substrato empregado na concepção da estrutura vegetativa; também concede aumento da permeabilidade da água de chuva nas áreas urbanas, contribuindo assim para diminuir a demanda das estruturas de captação de águas pluviais; outorga absorção e redução de CO<sub>2</sub> através da fotossíntese das árvores, plantas e vegetação; além disso, traz uma estética diferente e orgânica para as cidades, fornecendo um aconchego visual; e por fim pode ser usado tanto para fazer cultivo de pequenas hortas caseiras, como para plantio de espécies nativas ou que correm risco de extinção.

Para que esse método seja eficaz e que não se perca nenhum dos seus prós, é necessário que cada processo seja feito com um rigoroso controle em todas as suas etapas, caso contrário a cobertura vegetal pode causar mais patologias a estrutura do que realmente benefícios. É imperativo então conhecer todos os componentes para não se cometer equívocos.

Seus principais componentes incluem uma membrana impermeável ou material que impede a entrada de água no edifício; material drenante como tecido geotêxtil que permite com que a

água flua para os drenos quando o substrato está saturado; e solo ou substrato leve. Por fim se da escolha da vegetação que será implementada na cobertura com base no local, condições climáticas e estéticas (LIPTAN e STRECKER, 2003).

## 5.2 História

Não existe uma data específica de quando se começou a utilização de cobertura vegetal sobre habitações humanas, no entanto há várias civilizações antigas que relatam o uso desse tipo de cobertura em suas residências.

O relato mais antigo é da Babilônia, em que apesar haver controvérsias de sua existência, seus jardins suspensos construídos por Nabucodonosor II em 605 a.C., são considerados com uma das sete maravilhas do mundo antigo. Esses jardins eram vários terraços construídos de forma a suportar até mesmo grandes árvores e alguns cursos d'água que eram bombeados do rio Eufrates (PERES e BARBOSA, 2010).

Como bem assegura Oliveira (2001) esses jardins são uma das poucas obras da história que não foram feitas no intuito de louvor a um deus ou enaltecer um povo, mas sim como um presente de amor do rei Nabucodonosor II a sua amada, Amytis, que nasceu e cresceu entre as montanhas da Pérsia, no entanto ficava deprimida e abatida com a paisagem babilônica, que era plana e despida de vegetação. A figura 1 representa como esses jardins eram de acordo com os estudos e relatos.

**Figura 1 - Jardins Suspensos da Babilônia**



Fonte: Quintella (2012)

Seguindo na história, encontram-se as construções Vikings por volta dos anos 900 d.C., que se misturavam com a vegetação local de tal forma que suas edificações eram totalmente cobertas pela mesma. Construíam casas com um único cômodo, em que tinham basicamente

camas, lareira central para a preparação de alimentos, local para as mulheres tecerem, uma cadeira para o chefe do lar em local de destaque e coberturas cobertos por lama, madeira e grama para melhorar o conforto térmico, já que viviam na Escandinávia e passavam por rigorosos invernos (GATTO, 2012). Esse tipo de construção é mostrado na figura 2.

**Figura 2 - Modelo de Casa Viking**



Fonte: Figueiredo (2011)

Como descrito por Gatto (2012), na Idade Média e na Renascença alguns mosteiros e residências na França, Alemanha, Rússia e Itália aplicaram vegetação em suas coberturas para proporcionar um melhor conforto térmico e fazer cultivo de algumas frutas e vegetais. Como exemplos têm-se a Abadia Beneditina de Saint Michel na França em 1228; a casa do cardeal Johan van Lamberg em Passau datada em 1600; a Torre de Guinigs em 1384 na Itália; e o Palácio do Kremlin em Moscou, que possuía mais de 40.000 m<sup>2</sup> de jardins com cobertura verde intensiva.

Ainda de acordo com Gatto (2012), nas Américas os descobridores relataram ao Rei Carlos I uma cidade Asteca, Tenochtitlán, em 1519, que também se fez valer dessa solução, pois era uma cidade situada em uma ilha, o que por sua vez não dispunha de grande espaço territorial para cultivo de alimentos.

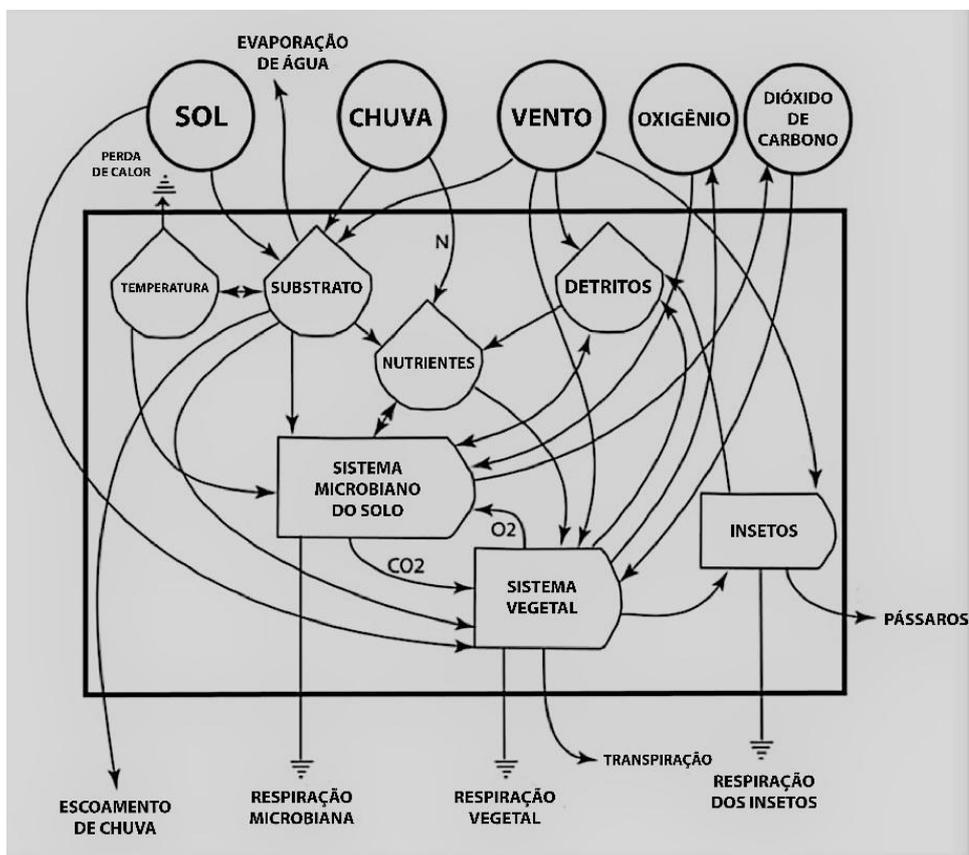
Com o descobrimento do concreto utilizando cimento Portland, em 1828 por Joseph Aspdin, as construções passaram a possuir coberturas como conhecidas hoje, no entanto os estudos e a busca por construções mais ecológicas e amigáveis com a natureza não pararam. Hoje em todo o mundo existem profissionais que lutam e se dedicam para que esse tipo de cobertura seja implantado e visto como uma solução ecológica a ser pensada.

### 5.3 Benefícios

Sua utilização traz benefícios sociais, econômicos e ambientais, como descritas em Sutton (2015), há várias razões postuladas para a promoção de políticas que incluem coberturas verdes como parte de uma construção sustentável, já que é possível notar que seus benefícios se sobrepõem, em muito, seus possíveis malefícios.

A figura 3 consiste em um diagrama que apresenta como funciona o ecossistema de uma cobertura verde e alguns dos seus benefícios para a estrutura de forma simples e esquemática, onde é possível notar que as benesses de uma cobertura vegetal estão interligadas de forma direta. Podendo se destacar os seguintes tópicos:

Figura 3 - Ecossistema de cobertura verde mostrando fluxos de energia, água, nutrientes e organismos



Fonte: Adaptado de Sutton (2015)

#### 5.3.1 Enriquecimento e Restauração de Ecossistemas e Biodiversidade

Não é de se espantar que a biodiversidade vem se deteriorando com o decorrer e avanço da urbanização, já que a cada vez mais é necessário espaços maiores para o crescimento das cidades, com isso a fauna e a flora têm sido brutalmente afetadas. No entanto, soluções simples,

como plantar algumas árvores, arbustos e flores podem ajudar a reverter este quadro e trazer de volta insetos, animais e a vegetação nativa de uma região.

De acordo com Baldessar (2012), mesmo que seja para insetos e pássaros, a cobertura verde funciona como um reforço do ecossistema. Como resultado desejado de qualquer projeto de construção, tem-se uma paisagem e um ecossistema que são regenerados e aperfeiçoados como uma consequência de projeto.

Segundo Li e Yeung (2014) 45% das coberturas verdes premiadas usam plantas nativas em sua composição e 59% das coberturas vegetais já aplicadas no mundo seguem esse mesmo conceito. Em uma cobertura verde é possível se plantar qualquer coisa, desde que seguidas às recomendações de implantação e que se tenha a manutenção necessária. Apesar de possuir esse benefício magnífico, o emprego dessa cobertura não é uma carta aberta para o desmatamento e destruição do natural, trata-se apenas de uma proposta no auxílio da reversão do dano já causado.

### **5.3.2 Arrefecimento do Edifício e Arredores**

Segundo Viera (2008), para que homem se sinta termicamente confortável em um ambiente, uma série de variáveis devem ser levadas em consideração: temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar, umidade do ar, atividade desenvolvida e vestimenta utilizada, contudo outras variáveis subjetivas como sexo, idade e forma do corpo também devem ser consideradas.

Um das características principais da cobertura verde é a melhoria da sensação térmica dos edifícios em que está instalado e em torno do mesmo, fazendo com que nos dias quentes a temperatura interna do ambiente diminua e nos dias mais frios que não se perca calor, devido a sua elevada inércia térmica, isso ocorre devido à sua eficiência energética.

De acordo com Lamberts *et al.* (1997), a eficiência energética pode ser entendida como a obtenção de um serviço com baixo dispêndio de energia. Com isso, um edifício é considerado mais competente termicamente do que outro se esta edificação oferece as mesmas condições ambientais com menor consumo de energia.

Como explicado por Maclavor e Lundholm (2011), esse desempenho vai variar de acordo com o tipo de vegetação e modelo utilizado, nada obstante independente do material escolhido essa afirmação se faz verdadeira.

Heneine (2008) relata que esse resultado é devido às propriedades das plantas na absorção de calor e sua competência em reduzir a evaporação superficial. Rivero (1986) expõe a vegetação como sendo um elemento que possui inúmeras capacidades, podendo ser a responsável pela harmonia entre as edificações, a população e a natureza, além de proporcionar um controle do microclima do prédio.

Ainda com relação a esse tema, houve o surgimento das ilhas de calor, que segundo Saddi e Moura (2010), surgem nas áreas urbanas devido aos muros, a pavimentação e as coberturas das edificações. Devido a esse fenômeno é necessário a utilização de equipamentos para a refrigeração das construções, trazendo um aumento no consumo de energia, contudo coberturas verdes podem ser a chave para que isso deixe de ocorrer, já que melhoram a capacidade térmica devido a ação da vegetação e do substrato.

A cidade de Chicago, no estado de Illinois, nos Estados Unidos da América, tem sido um exemplo claro disso. Estudos comprovam que com a utilização de coberturas vegetais nos prédios públicos, como já tem sido feito, a cidade economizará cerca de 720 Megawatts nos horários de pico de energia devido ao emprego dessa técnica, já que o consumo com ar condicionado se faz pouco necessário. Isso trará ao município uma economia de \$100 milhões de dólares em 10 anos (MACDONAGH, 2005).

Todo esse mecanismo é devido a capacidade de absorção da radiação solar que incide sobre a cobertura. De acordo com os autores Rivero (1986) e Morais e Roriz (2005), 60% desta é absorvida pelas plantas, 27% refletida para a atmosfera e somente 13% são transmitidas para os locais abaixo da cobertura.

### **5.3.3 Gerenciamento de Escoamento de Águas pluviais**

O escoamento de águas pluviais é um grande problema para as cidades brasileiras, até porque não há uma norma que especifica como esse mecanismo deve ser feito. Os cursos d'água recebem uma vazão maior do que as suportadas devido às grandes áreas impermeáveis das cidades, causando assim vários transtornos à população com enchentes e transbordamentos. Alguns trabalhos de divulgação e discussão apresentados como Banting *et al.* (2005); MacDonagh (2005); Tolderlund (2010); Baldessar (2012); Li e Yeung (2014) e Joseph (2015), apresentam coberturas verdes como sendo uma solução para os problemas de captação e adução de águas pluviais.

Coberturas verdes têm a capacidade de reter de 40% a 60% da precipitação total que incide sobre ele, vai depender basicamente da intensidade da chuva e da época do ano, já que períodos chuvosos afetam a absorção dessas águas (BANTING *et al.* 2005).

#### **5.3.4 Prevenção e Redução da Poluição**

Coberturas Verdes funcionam como um filtro ou um sumidouro para Nitrogênio, Chumbo e Zinco (GREGOIRE e CLAUSEN, 2011), além de outros metais pesados existentes nos gases que geram o efeito estufa e partículas de poeira e fuligem. De acordo com Loreche *et al.* (2004), o metro quadrado de cobertura vegetal retém por dia até 200g de partículas em suspensão no ar.

As plantas também realizam um fenômeno chamado fotossíntese que acontece nos cloroplastos, organela está presente apenas em algas, plantas e algumas bactérias, que absorvem dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) emitido principalmente por automóveis e geram gás oxigênio (O<sub>2</sub>), limpando e purificando assim o ar das cidades.

#### **5.3.5 Saúde Física e Psíquica**

Várias pessoas sofrem com problemas bronco-respiratórios, como asma e bronquites, a purificação do ar traz benefícios diretos a elas, com isso é possível perceber que os melhoramentos trazidos pelas coberturas verdes abrangem e unem várias áreas do cotidiano.

Do mesmo modo atividades de jardinagem auxiliam pessoas com depressão, síndrome do pânico, diminui o estresse do dia a dia e aumenta o bom humor (SANTOS, 2016). Campos *et al.* (2009), com o auxílio da jardinagem e horticultura como terapia ocupacional, desenvolveram um projeto que ajuda e reabilita dependentes químicos no município de Ilha Solteira, São Paulo.

De acordo com Tolderlund (2010) a acessibilidade a um lugar ao ar livre e convivência com ambientes naturais têm um alto impacto positivo na saúde humana. Estudos descobriram que mesmo o acesso visual a um ambiente natural resulta em uma redução do estresse, diminuição de licenças médica por doenças psicossomáticas, aumento da satisfação no trabalho e produtividade elevada.

Ainda segundo Tolderlund (2010) a interação de indivíduos com um ambiente natural demonstrou aumentar a autoestima, além de incentivar a atividade social e física. Ter um senso de lugar é um catalisador para a construção da comunidade e tem sido correlacionado com uma redução no comportamento discriminatório, violento e o vandalismo.

### **5.3.6 Isolamento acústico**

Coberturas verdes têm a capacidade de absorção de ruído externo, como por exemplo, o barulho da chuva sobre a cobertura ou a dilatação térmica de telhas metálicas, além do som de veículos e do tráfego aéreo. De acordo com Peck *et al.* (1999), essa absorção chega até a 50 decibéis.

Uma cobertura verde (e paredes verdes) pode reduzir o nível de ruído dentro do edifício entre 40 a 60 decibéis. A espessura, o tipo de vegetação e o meio de crescimento influenciam a eficácia da cobertura verde, parede verde ou jardim vertical, para reduzir o ruído nos níveis seguintes da estrutura (JOSEPH, 2015).

## **5.4 Classificação**

A diferenciação entre coberturas verdes é devido ao tipo de vegetação e a altura da camada de solo em que será empregada a camada verde. Com isso podemos ter uma cobertura verde extensivo, intensivo ou semi-intensivo. Isso irá influenciar diretamente na manutenção, carga aplicada sobre a cobertura, benefícios que a mesma trará e as possibilidades proporcionadas pela cobertura vegetal.

### **5.4.1 Cobertura Verde Extensivo**

Os Coberturas Verdes Extensivos são os que apresentam uma vegetação mais rasteira, com uma camada de substrato variando de 6 a 20 centímetros de espessura, necessitam de pouca manutenção e não suportam raízes muito profundas, também podem ser suportados por estruturas leves, ainda que estejam em estado saturado.

Coberturas verdes extensos imitam a natureza e exigem pouca entrada externa para manutenção ou propagação. As plantas, normalmente musgos, suculentas, plantas herbáceas e gramíneas, são cuidadosamente escolhidos para serem capazes de se regenerar e se manterem longos períodos de tempo, bem como para suportar as condições adversas em coberturas, como exposição ao frio extremo, calor, seca e vento. Coberturas verdes extensos têm relativamente camada superficial de meio de crescimento leve, com baixo teor de matéria orgânica e alto substrato mineral (JOSEPH, 2015).

Geralmente é pouco acessível para o uso diário, a visitação é apenas para a manutenção do sistema, com isso pode ser aplicado a vários tipos de estruturas, como por exemplo, coberturas metálicas, madeira, e coberturas mais frágeis, já que não precisa necessariamente suportar a

carga de um ser humano, mesmo a manutenção pode ser feita de forma externa, utilizando-se de escadas e andaimes.

Esse tipo de cobertura vegetal tem sido uma das mais utilizadas, porquanto quase todos os benefícios de uma cobertura verde são encontrados nela. Quando não se tem a pretensão de usar a cobertura como uma área adicional à edificação, este se torna o recurso ideal.

A figura 4 mostra a cobertura do prédio da Schlumberger no Rio de Janeiro que utiliza desse tipo de cobertura vegetal.

**Figura 4 - Cobertura verde extensivo na empresa Schlumberger no Rio de Janeiro**



Fonte: <http://rioverde.net.br/pt/corporativo/obras/schlumberger>

#### **5.4.2 Cobertura Verde Semi-Intensivo**

Trate-se de um tipo de cobertura verde subsequente, as diferenças entre os mesmos vão progredindo com a vegetação e quantidade de solo. Semi-intensivo suporta a mesma vegetação que o extensivo, contudo há o acréscimo de alguns arbustos e flores, pois se trata de uma espécie de jardim na cobertura. Hortas também podem ser cultivadas no mesmo, desde que sejam hortaliças de raízes não muito profundas para não danificarem a composição estrutural da cobertura vegetal.

A camada de substrato deve ter entre 12 a 25 centímetros de espessura (JOSEPH, 2015), quanto a irrigação deve ser de forma periódica, ainda mais se a utilização escolhida tenha sido a plantação de hortas. Diferente das coberturas verdes extensivas, este pode ser visitado ou até mesmo ser uma área subjacente ao edifício, podendo ser um espaço gourmet ou um terraço.

Para sua utilização não cause patologias à superestrutura é necessário levar em conta os acréscimos de tensões geradas pela cobertura verde, contudo se os cálculos e a execução forem realizados corretamente não há motivos para preocupação, já que todos os benefícios de uma cobertura verde estarão presentes até o fim da vida útil deste edifício.

### **5.4.3 Cobertura Verde Intensivo**

Este tipo de cobertura trata-se da estrutura mais complexa e que requer a maior manutenção em detrimento dos outros já apresentados, no entanto sua funcionalidade é proporcionalmente maior (JOSEPH, 2015). Este requer uma altura mínima de substrato de 15 centímetros, pois deve suportar raízes mais fortes e profundas.

É importante que possua irrigação e uma atividade de paisagismo e manutenção regularmente (LOPES, 2014). Devido a esses fatores, seu custo é o mais elevado em comparação com os demais, tanto na execução, pois exige uma estrutura que suporte uma carga maior, quanto na manutenção, porque requer um cuidado especial com o mesmo.

A intenção é que este trabalhe como um parque ou um jardim sobre o prédio, em que as pessoas possam visitar, colher frutos, ou sentar em bancos e observarem as plantas e animais ali presentes.

Contudo é uma alternativa viável e ecológica que tem se difundido em diversos países. A figura 5 ilustra um centro de convenções que utiliza desse tipo de cobertura, além de ser uma fachada esteticamente agradável, atende a exigências para que um prédio seja ecologicamente correto.

**Figura 5 - Cobertura verde intensivo composto por árvores silvestres no centro de convenções da Igreja de Jesus Cristo dos Santos dos Últimos Dias em Salt Lake City, Utah**



Fonte: Elmqvist *et al.* (2012)

Na tabela 1 é possível visualizar algumas comparações entre esses tipos de cobertura, como seu uso, tipo de vegetação, necessidade de irrigação, profundidade de substrato, carga adicional sobre a estrutura, e níveis de preço.

**Tabela 1 - Comparação entre coberturas verdes**

<b>Cobertura Verde</b>	<b>Extensivo</b>	<b>Semi-Intensivo</b>	<b>Intensivo</b>
<b>Uso</b>	Paisagismo/ Ambiental	Paisagismo/ Ambiental/ Jardim	Jardim/ Parque ecológico
<b>Tipo de Vegetação</b>	Musgos, ervas e grama	Gramas, ervas e arbustos	Grama, plantas perenes, arbustos e árvores
<b>Irrigação</b>	Nenhuma	Periodicamente	Regularmente
<b>Profundidade de Substrato</b>	60 a 200 mm	120 a 250 mm	150 a 400 mm
<b>Carga Adicional</b>	60 a 150 kg/m <sup>2</sup>	120 a 200 kg/m <sup>2</sup>	180 a 500 kg/m <sup>2</sup>
<b>Custo</b>	Baixo	Médio	Alto

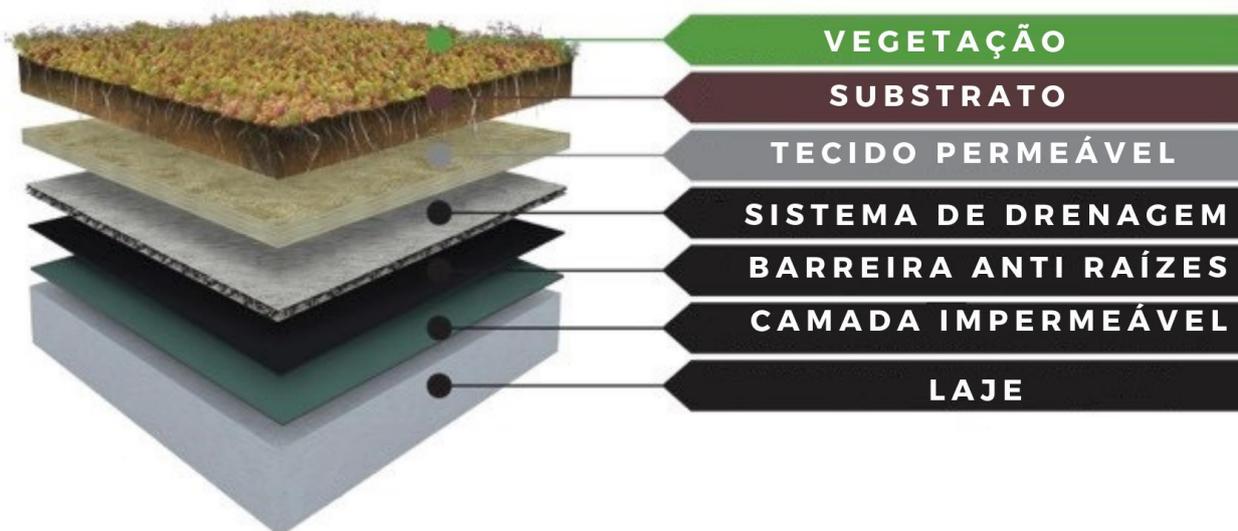
Fonte: Adaptado de Baykal (2008)

## 5.5 Composição

Segundo Joseph (2015), um cobertura verde é um sistema complexo de camadas que trabalham em conjunto para proporcionar as metas de desempenho. A composição em si varia de acordo com o local, tipo de cobertura e as condições climáticas que o cobertura será exposto, mas há camadas essenciais para que a cobertura atinja o papel solicitado.

A composição de um cobertura verde deve conter de cima para baixo: a camada verde em si, que é a vegetação propriamente dita; uma camada de solo ou substrato, que deve proporcionar os nutrientes para que a cobertura vegetal não venha a perecer; em seguida, um tecido permeável que proporcione a passagem de água, mas retenha o solo/substrato para que este não seja carregado para fora da cobertura; em ato contínuo, o sistema de drenagem que é responsável para que o cobertura não alague e sobrecarregue a estrutura de forma prejudicial; seguido de uma camada protetora, responsável por impedir que as raízes a ultrapassem e tragam patologias às estruturas abaixo; imediatamente, se tem a camada de impermeabilização composta por hidropelentes, no intuito de evitar infiltrações na estrutura; por fim, a estrutura da cobertura, que deve suportar toda a sobrecarga permanente do cobertura vegetal e seus componentes acima citados (TASSI *et al.*, 2014). A figura 6 mostra de forma esquemática como essa composição é disposta.

**Figura 6 - Composição de uma cobertura verde e sua disposição em camadas**



Fonte: <http://www.green-urbanscape.com/en/solutions/green-roof-purple-roof-concept>

## 5.6 Coberturas Verdes no Brasil

Apesar de ser uma alternativa viável e sustentável, ainda é pouco difundida no Brasil, no entanto há vários lampejos de uma consciência ecológica em toda a nação, como por exemplo, no Rio Grande do Sul, em que algumas empresas já são especializadas na aplicação do mesmo, ou em São Paulo, quando o arquiteto Roberto Burle construiu o primeiro cobertura verde do país no prédio do Banco Safra em 1988, ou ainda vários projetos de lei ou leis já aprovadas que obrigam ou beneficiam quem executa esse tipo de cobertura em sua construção, tais como a Lei 18.112/2015 em Recife, a PL n° 115/2009 em São Paulo, ou a PL n° 7162/2010 em todo território nacional (SANTOS *et al.* 2017).

No município de Porto Feliz, no interior de São Paulo, foi construído uma grande cobertura verde pela empresa Studio MK7, através do arquiteto Marcio Kogan no intuito de promover e divulgar esse tipo de cobertura e uso extremo da horizontalidade. A figura 7 exibe uma vista de cima desse belo projeto.

**Figura 7 - Casa com cobertura no município de Porto Feliz**



Fonte: [http://studiomk27.com.br/p/plana\\_casa/](http://studiomk27.com.br/p/plana_casa/)

Várias empresas têm buscado esse mercado no Brasil, fomentando e difundido diariamente a cobertura verde como uma solução para cobertura de residência no país. Pode-se destacar a MACAFERRI, especialista na produção de geocompostos drenantes; o Studio MK7, que faz grandes projetos com uma consciência ecológica; e o Instituto Cidade Jardim que trabalha com pesquisa, desenvolvimento e difusão de coberturas verdes.

A empresa Ecocobertura é especialista em sistemas de arquitetura verde, design biofílico e construção sustentável. É possível notar na figura 8 e 9 as principais plantas escolhidas para estes tipos de cobertura no Brasil.

**Figura 8 - Vegetação para cobertura verde no Brasil**



**GRAMA ESMERALDA**

Nome Científico: Zoysia japonicasprengeri  
Luminosidade: Sol pleno



**ASPARGO**

Nome Científico: Asparagus densiflorus sprengeri  
Luminosidade: Meia sombra



**GRAMA SÃO CARLOS**

Nome Científico: Axonopus compressus  
Luminosidade: Meia sombra/ Sol pleno



**BULBINE**

Nome Científico: Bulbine frutescens  
Luminosidade: Meia sombra/ Sol pleno



**DINHEIRO EM PENCA**

Nome Científico: Callisia repens  
Luminosidade: Meia sombra



**CLOROFITO**

Nome Científico: Chlorophytum comosum  
Luminosidade: Meia Sombra/ Sol pleno



**CLÚSIA**

Nome Científico: Clusia fluminensis  
Luminosidade: Meia Sombra/ Sol pleno



**BOLDINHO**

Nome Científico: Plectranthus neochilus  
Luminosidade: Sol pleno

Fonte: <https://ecocobertura.com/>

**Figura 9 - Vegetação para cobertura verde no Brasil**



**GRAMA-AMENDOIM**

Nome Científico: Arachis repens  
Luminosidade: Meia sombra/Sol pleno



**LANTANA**

Nome Científico: Lantana camara  
Luminosidade: Sol pleno



**VEDÉLIA**

Nome Científico: Sphagneticola trilobata  
Luminosidade: Meia Sombra/ Sol pleno



**LAMBARI**

Nome Científico: Tradescantia zebrina  
Luminosidade: Meia sombra



**LAMBARI ROXO**

Nome Científico: Tradescantia zebrina purpurii  
Luminosidade: Meia sombra/ Pleno sol



**CAPUCHINHA**

Nome Científico: Tropaeolum majus  
Luminosidade: Sol pleno



**ALHO SOCIAL**

Nome Científico: Tulbaghia violacea  
Luminosidade: Sol pleno



**VERBENA**

Nome Científico: Verbena hybrida  
Luminosidade: Sol pleno

Fonte: <https://ecocobertura.com/>

## 5.7 Coberturas Verdes pelo Mundo

A ideia de usar cobertura verde como alternativa de cobertura tem a cada vez se difundido mais pelo planeta, engenheiros e arquitetos em parceria com ambientalistas buscam diariamente novas soluções e interações entre as estruturas já usais e o meio ambiente.

O Centro de Convenções de Vancouver no Canadá, apresentado na figura 8, possui mais de 400.000 plantas, proporcionando assim um ambiente que harmoniza com pássaros e outros tipos de insetos. Essa interação com a natureza trouxe ao prédio o selo LEED Platinum (FEREGUETTI, 2018).

**Figura 10 - Centro de Convenções de Vancouver**



Fonte: <https://www.vancouverconventioncentre.com>

Dando prosseguimento, se tem o prédio *Across Fukuoka Prefectural International Hall* no Japão, exibido na figura 9, com 100.000 metros quadrados essa cobertura é praticamente um parque que é aberto ao público (FEREGUETTI, 2018).

**Figura 11 - Across Fukuoka Prefectural International Hall**



Fonte: <http://www.greenroofs.com/projects/acros-fukuoka-prefectural-international-hall/>

O próximo prédio trata-se do *Bosco Verticale* em Milão na Itália, é um dos edifícios mais importantes, premiados e icônicos em relação a esse tema. Este conta com 800 árvores de até 9 metros de altura, 4.500 arbustos e mais de 15.000 plantas segundo Stefano Boeri (2018) – arquiteto responsável pela elaboração do projeto deste edifício.

O conceito dessa construção é proporcionar uma conscientização para o controle e diminuição da expansão urbana. A edificação conta com duas torres residenciais e mais de 40.000 metros quadrados de zonas verdes que são expostos na figura 10. Sua construção teve início em 2009 e término em 2014 (BOERI, 2018).

**Figura 12 - Bosco Verticale**



Fonte: <https://www.stefano boeriarchitetti.net/project/bosco-verticale/>

## 6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O local escolhido para esse projeto foi o município de Teófilo Otoni - MG, que segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2011) está localizado na mesorregião do Vale do Mucuri (região nordeste do estado), com latitude 17°50'51,6'' Sul e longitude 41°30'57'' Oeste e a 346,217 metros de altitude. O clima da cidade é caracterizado como tropical quente semiúmido ou tropical com estação seca.

O estudo foi realizado durante o equinócio de primavera (especificamente entre os dias 12/11/2018 à 07/12/2018), onde a temperatura média do ambiente foi de 26,1°C, com picos de 29,1 °C durante o período vespertino. A média da radiação solar no referido intervalo foi de 808,0 KJ/m<sup>2</sup> e a velocidade média dos ventos de 2,3 m/s (INMET, 2018).

Com a finalidade de buscar uma solução ecológica que pudesse ser aplicada em residências, escolas e prédios públicos, foi criado um protótipo que apresenta três coberturas distintas, simulando situações práticas do comportamento de uma cobertura verde extensiva, uma laje e um cobertura colonial.

O primeiro passo da elaboração deste protótipo foi erguer uma base capaz de sustentar a estrutura em questão. Esta foi feita a partir de 5 (cinco) tábuas de pinos que foram cortadas e pregadas de forma a cercar e proteger o ambiente que seria criado.

A escolha desse material teve o propósito do isolamento térmico trazido pela madeira não permitisse que as laterais e o fundo do arquétipo interferissem na variação de temperatura e que esta fosse feita quase que exclusivamente pelos diferentes tipos de cobertura. As dimensões de cada cobertura foram de 1,00 x 1,00 x 0,30 metros. A figura 11 apresenta o corte e a montagem dessa base e cercado.

**Figura 13 - Corte das madeiras e construção dos locais a receberem as coberturas**



Posteriormente esses locais foram revestidos com uma chapa de zinco para que os envolventes apresentassem as condições internas mais desfavoráveis possíveis, e criando assim, superfícies que reteriam no seu interior a maior quantidade de calor durante o dia, trazendo um desafio maior às coberturas no que tange ao conforto térmico de um ambiente. O processo de aplicação dessa chapa é apresentado de forma sequencial na figura 12, onde é possível notar que após a aplicação do mesmo fez-se o fechamento lateral em madeira.

**Figura 14 - Aplicação da chapa de zinco no interior do ambiente**



O próximo passo foi fazer um teste de disposição das telhas coloniais para saber se seria necessário fazer alguma adaptação nas mesmas, contudo apresentaram uma disposição da forma como se esperava. A justificativa da aplicação da cobertura cerâmico colonial é devido a sua larga utilização na região de estudo e de forma geral ainda muito popular no restante do país. É possível notar na figura 13 o protótipo desta cobertura praticamente pronta.

**Figura 15 - Primeiro protótipo de cobertura feito de telha colonial**



Para apresentar uma aparência estética mais agradável, as superfícies de madeira foram pintadas de branco e as telhas foram retiradas e lavadas, já que as mesmas não foram compradas novas, sendo produtos da construção civil reutilizados.

Em seguida foi criada a parte do protótipo referente à cobertura verde, em que foram colocadas telhas de amianto para suportar a estrutura da cobertura. Por cima utilizou-se de uma camada de cinco centímetros de solo para fornecer à camada vegetal os nutrientes necessários para sua subsistência, logo após plantou-se tapetes de grama do tipo *Zoysia japonica*, popularmente conhecida como grama esmeralda, pois trata-se de uma das plantas recomendadas para a construção de uma cobertura verde segundo a empresa Ecocobertura. Foram necessários quatro tapetes de grama para cobrirem a superfície da cobertura em questão. A figura 14 mostra como ficou vista superior da cobertura verde.

**Figura 16 - Cobertura verde extensivo**



Para a próxima cobertura elaborou-se um concreto e aplicou-se o mesmo sobre o último local, para representar uma laje de concreto armado, no entanto, como se trata apenas de um protótipo não se fez necessário à utilização de armadura nesta parte. A figura 15 exhibe como ficou a construção final da laje de concreto.

**Figura 17 - Laje de concreto**



Cabe ressaltar que as coberturas apresentavam formas de visitação ao seu interior para as futuras medições de temperatura e que a coleta de dados foi realizada com o auxílio de um termômetro digital infravermelho com mira laser, apontado na figura 16. Sua faixa de temperatura vai de  $-50^{\circ}\text{C}$  a  $380^{\circ}\text{C}$  e a medição se dá de forma praticamente instantânea (500 milissegundos), basta mirar e apertar o gatilho.

As temperaturas coletadas foram armazenadas e dispostas em tabelas e gráficos, com o propósito de auxiliar na compreensão de como cada cobertura se portava durante o dia e suas possíveis aplicações.

**Figura 18 - Termômetro digital infravermelho com mira laser**



Para a conclusão da construção do protótipo foi empregado em sua parte frontal algumas chapas de forro de PVC para que tenha uma aparência melhor. As figuras 17 e 18 manifesta como ficou a construção final de todo o experimento por uma vista frontal e uma superior, respectivamente.

**Figura 19 - Vista frontal do experimento concluído**



**Figura 20 - Vista superior do protótipo**



## 7 RESULTADOS

Uma das principais funções de uma cobertura verde é proporcionar um melhor conforto térmico, logo foi testado o seu desempenho em comparação com os meios mais convencionais para as coberturas das edificações. Os dados de temperatura foram coletados pelas manhãs, tardes e noites no período de 12 de novembro ao dia 07 de dezembro de 2018, para os três tipos de cobertura e para a temperatura ambiente no mesmo instante. Os horários de coleta foram às 8:00 horas pela manhã, 13:00 horas à tarde e às 18:30 horas no turno da noite.

Foram alcançadas 216 medições, as quais estão apresentadas nas tabelas 2, 3 e 4, que são consecutivamente as medições matinais, vespertinas e noturnas, onde é possível notar a variação de temperatura entre ambientes com diferentes tipos de coberturas. No entanto, o período de estudo foi um tanto atípico para o município de Teófilo Otoni em detrimento do restante do ano, uma vez que houve chuva durante vários dias, o que prejudicou de certa forma os resultados, contudo, ainda assim os mesmos foram bastante satisfatórios.

**Tabela 2 - Medições matinais realizadas às 8:00h**

Dia	Medições Realizadas Pela Manhã (°C)			
	Colonial	Cobertura Verde	Laje	Ambiente
12/11/2018	21,5	19,3	20,4	18,5
13/11/2018	24,1	21,7	23,5	22,8
14/11/2018	23,2	21,4	23,1	25,4
19/11/2018	31,5	22,7	29,9	28,6
20/11/2018	31,1	25,2	29,9	28,7
21/11/2018	29,2	24,3	27,7	26,5
22/11/2018	28,6	25,7	29,5	29,8
23/11/2018	23,0	21,1	22,5	25,1
26/11/2018	25,7	22,4	25,4	26,9
27/11/2018	21,5	19,4	20,9	19,7
28/11/2018	26,9	20,3	24,7	20,8
29/11/2018	25,8	22,1	25,2	23,4
30/11/2018	25,1	21,7	24,8	26,3
03/12/2018	20,1	19,9	20,3	21,5
04/12/2018	23,6	20,1	20,7	22,0
05/12/2018	23,1	20,5	21,1	21,6
06/12/2018	22,9	20,2	20,3	20,4
07/12/2018	22,7	19,9	21,0	22,1

**Tabela 3 - Medições vespertinas realizadas às 13:00h**

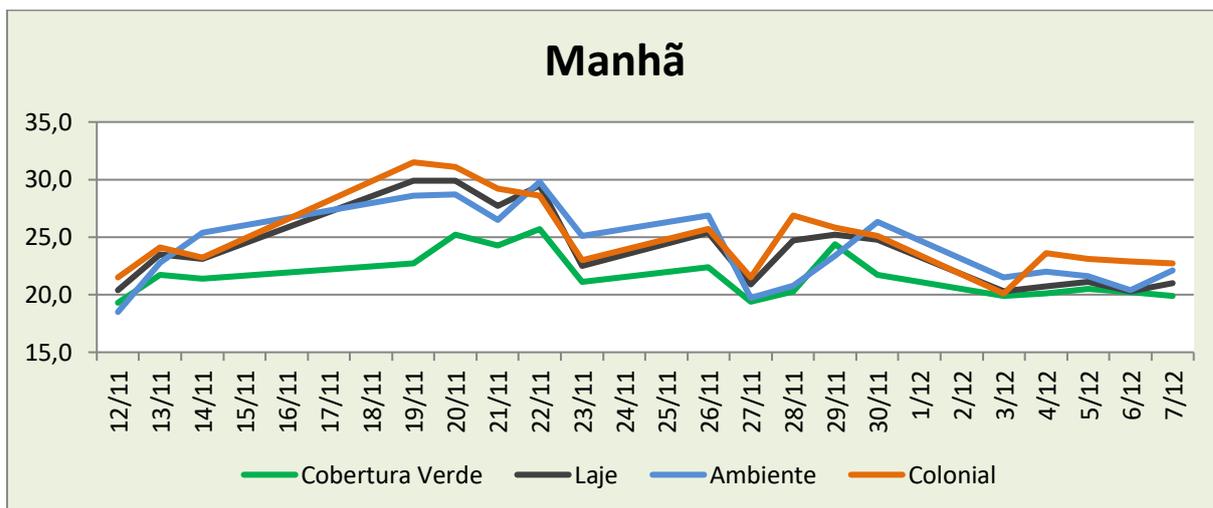
<b>Medições Realizadas no Período Vespertino (°C)</b>				
<b>Dia</b>	<b>Colonial</b>	<b>Cobertura Verde</b>	<b>Laje</b>	<b>Ambiente</b>
12/11/2018	29,6	22,3	25,4	21,2
13/11/2018	30,9	24,0	27,2	32,0
14/11/2018	29,4	22,2	26,8	27,3
19/11/2018	42,7	26,5	34,7	32,1
20/11/2018	34,2	27,3	33,4	30,5
21/11/2018	32,2	23,5	29,1	29,8
22/11/2018	31,4	27,1	31,0	32,9
23/11/2018	32,6	26,5	30,1	35,3
26/11/2018	35,1	27,5	31,2	29,3
27/11/2018	31,0	23,6	28,5	25,3
28/11/2018	35,2	26,3	30,6	34,1
29/11/2018	33,7	24,4	28,3	31,0
30/11/2018	32,4	22,8	26,5	28,5
03/12/2018	27,5	22,6	25,1	29,0
04/12/2018	29,1	26,5	26,2	28,3
05/12/2018	28,6	24,0	25,0	25,7
06/12/2018	32,0	24,6	26,3	26,1
07/12/2018	26,2	21,8	24,2	24,8

**Tabela 4 - Medições noturnas realizadas por volta de 18:30h**

<b>Medições Realizadas no Período Noturno (°C)</b>				
<b>Dia</b>	<b>Colonial</b>	<b>Cobertura Verde</b>	<b>Laje</b>	<b>Ambiente</b>
12/11/2018	29,8	26,2	30,3	24,9
13/11/2018	26,7	23,2	24,4	22,7
14/11/2018	27,4	22,5	28,1	26,2
19/11/2018	32,4	24,7	28,4	29,1
20/11/2018	34,7	25,6	32,2	31,9
21/11/2018	27,0	22,9	26,7	27,5
22/11/2018	27,0	23,2	26,2	25,8
23/11/2018	28,1	22,3	24,5	21,5
26/11/2018	29,9	23,1	25,7	22,5
27/11/2018	26,1	22,0	24,7	22,3
28/11/2018	29,5	22,8	27,6	26,6
29/11/2018	27,2	22,3	25,8	25,8
30/11/2018	23,3	21,6	25,0	23,4
03/12/2018	22,1	20,5	24,3	27,3
04/12/2018	24,0	21,9	23,7	26,1
05/12/2018	21,8	19,6	20,4	22,0
06/12/2018	22,3	20,1	21,5	24,6
07/12/2018	22,5	20,4	21,5	23,0

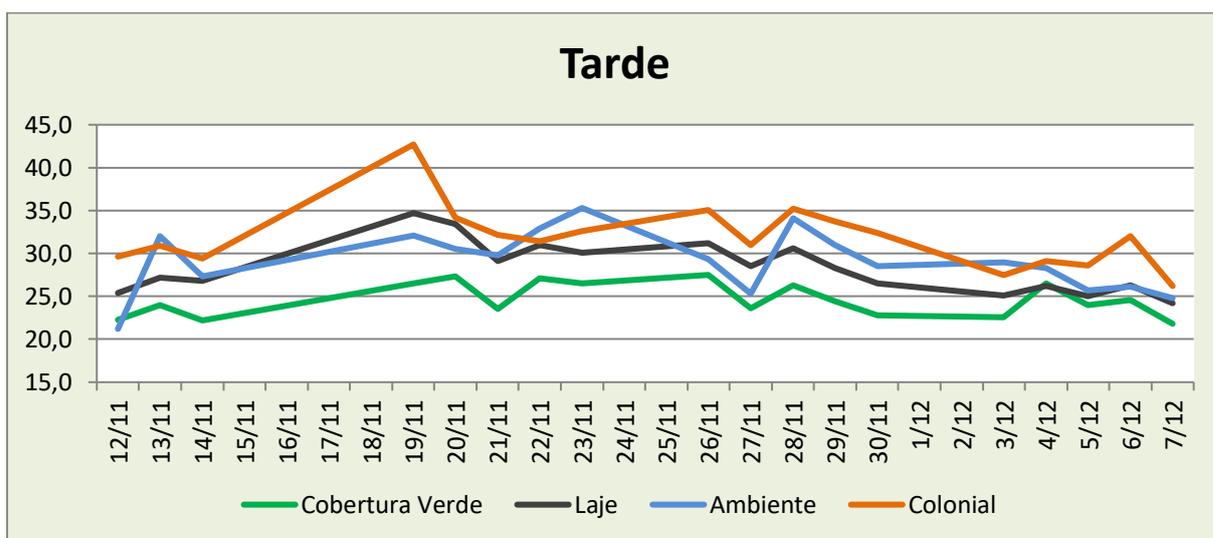
A partir da tabela 2 construiu-se um gráfico mostrado na figura 19, onde se tem uma melhor visualização da variação de temperatura durante as manhãs levando em consideração os diferentes tipos de coberturas e a temperatura ambiente. Neste período as coberturas apresentaram pouca diferença de temperatura em relação aos demais.

**Figura 21 - Variação de temperatura durante manhãs em °C**



Posteriormente, com base na tabela 3 elaborou-se o gráfico apresentado na figura 20, sendo analisados as diferentes temperaturas encontradas em cada cobertura no período vespertino. Cabe ressaltar que as maiores variações e a temperaturas mais elevadas nas diferentes coberturas foram encontradas neste período do dia.

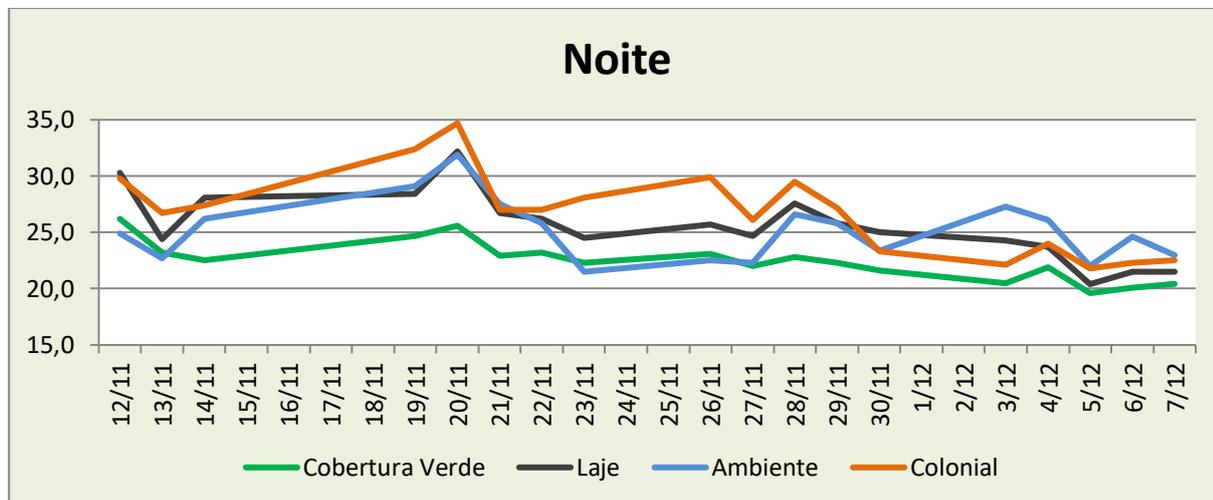
**Figura 22 - Variação de temperatura durante tardes em °C**



Ademais, com base nas informações coletadas na tabela 4, criou-se o gráfico representado na figura 21 para melhor explanação das diferentes temperaturas encontradas no período

noturno. É possível notar que com a chegada da noite, a temperatura das coberturas tende a se estabilizar com a temperatura ambiente.

Figura 23 - Variação de temperatura durante noites em °C



Confirmando a hipótese, foi possível constatar que os resultados apresentados nos gráficos das figuras 19, 20 e 21 que as coberturas verdes realmente têm um menor temperatura em qualquer hora do dia, levando em consideração as condições metodológicas desse estudo, e que este desempenho melhora com o aumento da temperatura ambiente.

O valor máximo encontrado para a cobertura verde foi de 27,5 °C, para as telhas coloniais, 42,7 °C e para a laje de concreto, 34,7 °C.

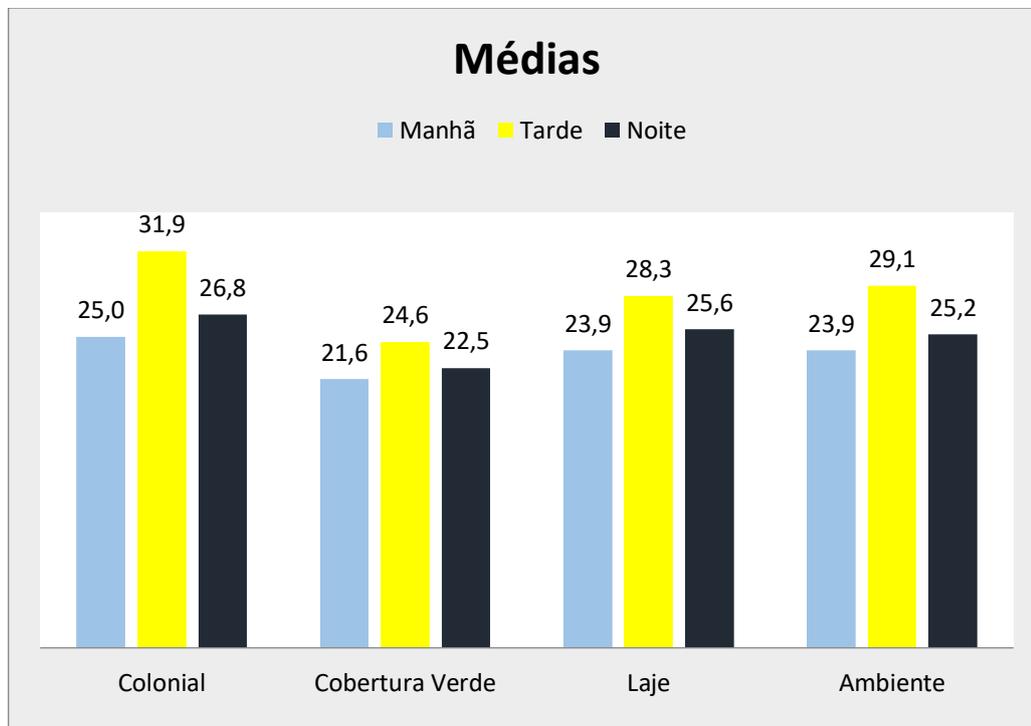
No dia em que a temperatura ambiente foi máxima, 35,3°C (23.11.2018, à tarde), a temperatura do ambiente inferior à cobertura verde, a telha cerâmica colonial e a laje apresentaram 26,3° C, 32,1 °C e 30,1°C, respectivamente.

A cobertura de concreto que aparece como uma segunda opção à cobertura verde apresenta condutibilidade térmica maior que a telha de cerâmica (1,91 W/m°C e 0,93 W/m°C, respectivamente), segunda as autoras Frota e Schiffer (2003). Porém, outro parâmetro que deve ser considerado é a massa específica do concreto que influencia diretamente na inércia térmica do material. Para o concreto aparente, a massa específica é de 2400 kg/m³ e da cerâmica, por sua vez, é desprezível (FROTA e SCHIFFER, 2003).

Ainda é possível inferir que em coberturas verdes a variação de temperatura durante o dia é menor em comparação com os demais, o que é justificado por sua variação térmica mais tênue e branda, melhorando assim o conforto do ambiente abaixo da cobertura e diminuído a necessidade de itens para a refrigeração do local.

O gráfico da figura 22 representa a variação das temperaturas médias neste período, testificando assim a afirmação acima.

**Figura 24 - Temperaturas médias dos ambientes abaixo dos 3 tipos de coberturas**



Alicerçado no gráfico acima, as coberturas apresentam picos durante o período vespertino, o que já era esperado, uma vez que é durante essa parte do dia que os valores do índice de radiação solar se tornam máximos. Considerando este cenário, a temperatura ambiente obtida foi de 29,1 °C, a temperatura sob uma cobertura colonial 31,9 °C, na laje maciça, 28,3°C e na cobertura verde a média encontrada foi de 24,6 °C.

As manhãs apresentam temperaturas menores do que o período da noite, em todas as situações. A justificativa advém pelos valores de índice de radiação solar em detrimento do horário estabelecido para a medição (08:00 horas e 18:30 horas, respectivamente), considerando o horário brasileiro de verão no município.

As análises estatísticas como média, erro padrão, mediana, desvio padrão, variância da amostra, curtose, assimetria, intervalo, mínimo, máximo, soma e contagem são exibidas nas tabelas 5, 6 e 7, que respectivamente apresentam os julgamentos das apreciações estatísticas da medição matutinas, vespertinas e noturnas.

**Tabela 5 - Análises estatísticas matutinas**

	<b>Colonial</b>	<b>Cobertura Verde</b>	<b>Laje</b>	<b>Ambiente</b>
Média	24,978	21,678	23,939	23,894
Erro padrão	0,781	0,478	0,808	0,795
Mediana	23,850	21,250	23,300	23,100
Desvio padrão	3,313	2,029	3,426	3,371
Variância da amostra	10,978	4,116	11,740	11,363
Curtose	-0,368	-0,571	-0,853	-1,087
Assimetria	0,716	0,795	0,659	0,246
Intervalo	11,400	6,400	9,600	11,300
Mínimo	20,100	19,300	20,300	18,500
Máximo	31,500	25,700	29,900	29,800
Soma	449,600	390,200	430,900	430,100
Contagem	18,000	18,000	18,000	18,000

**Tabela 6 - Análises estatísticas vespertinas**

	<b>Colonial</b>	<b>Cobertura Verde</b>	<b>Laje</b>	<b>Ambiente</b>
Média	31,878	24,639	28,311	29,067
Erro padrão	0,869	0,460	0,708	0,851
Mediana	31,700	24,200	27,750	29,150
Desvio padrão	3,689	1,952	3,003	3,610
Variância da amostra	13,607	3,808	9,020	13,031
Curtose	3,466	-1,534	-0,383	-0,096
Assimetria	1,324	0,117	0,641	-0,279
Intervalo	16,500	5,700	10,500	14,100
Mínimo	26,200	21,800	24,200	21,200
Máximo	42,700	27,500	34,700	35,300
Soma	573,800	443,500	509,600	523,200
Contagem	18,000	18,000	18,000	18,000

**Tabela 7 - Análises estatísticas noturnas**

	<b>Colonial</b>	<b>Cobertura Verde</b>	<b>Laje</b>	<b>Ambiente</b>
Média	26,767	22,494	25,611	25,178
Erro padrão	0,864	0,419	0,712	0,649
Mediana	27,000	22,400	25,350	25,350
Desvio padrão	3,665	1,779	3,021	2,751
Variância da amostra	13,433	3,165	9,126	7,570
Curtose	-0,257	0,109	0,226	0,497
Assimetria	0,411	0,428	0,340	0,747
Intervalo	12,900	6,600	11,800	10,400
Mínimo	21,800	19,600	20,400	21,500
Máximo	34,700	26,200	32,200	31,900
Soma	481,800	404,900	461,000	453,200
Contagem	18,000	18,000	18,000	18,000

Cabe ressaltar os intervalos de temperatura encontrados nas coberturas verdes, que em comparação com os outros tipos de cobertura e com a temperatura ambiente foram consideravelmente menores em todas as horas do dia. Também apresentou um menor desvio padrão em detrimento dos demais.

## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho buscou mensurar inicialmente, o quanto uma cobertura verde, contribui para minimizar as oscilações da temperatura do ar interno de um compartimento, frente às temperaturas do ar externo, a partir da confecção de um protótipo de coberturas, que possuía uma cobertura vegetal, uma laje de concreto e uma cobertura cerâmico.

Com referência às medições experimentais, é possível concluir a eficácia do sistema de coberturas verdes, uma vez que este apresentou menores picos de temperatura e as menores oscilações, em comparações com as demais coberturas e a temperatura ambiente, considerando as condições climáticas severas da cidade de Teófilo Otoni. O protótipo de coberturas foi de grande valia para a obtenção desses dados comparativos.

A justificativa para os valores encontrados passa pela caracterização da inércia térmica do substrato, ocorrendo um atraso na transmissão do fluxo de calor proveniente da radiação solar. Nesse sentido, o calor é transferido gradativamente para o interior da edificação, não acompanhando de forma imediata, as variações externas da temperatura do ar, além de atenuar as oscilações de temperatura no sistema construtivo.

É possível afirmar que as coberturas verdes contribuem para o racionamento de energia uma vez que com o seu uso reduz ou até mesmo extingue a utilização de aparelhos elétricos de condicionamento de ar no interior das edificações.

O pensamento ecológico deve ser incrementado até mesmo em todos os projetos dos engenheiros, arquitetos e outros profissionais relacionados à construção civil, além de ser ensinado à população da sua necessidade para que o mundo como conhecido subsista para as futuras gerações.

A utilização de coberturas verdes no município de Teófilo Otoni se faz bastante plausível e trata-se de uma alternativa viável, pois traz consigo várias vantagens já relatadas neste trabalho, por ser um mecanismo mais barato em relação a outros meios de soluções ecológicas.

## **TRABALHOS FUTUROS**

O trabalho atual foi relevante para ser um incentivador e analisar a viabilidade e a funcionalidade da utilização de cobertura vegetal no município de Teófilo Otoni. Cabe a trabalhos futuros a utilização dos dados já obtidos e o aprimoramento para a utilização na cidade e região, podendo se destacar:

- ✓ Cálculo estrutural para comparar o acréscimo de carga proveniente da estrutura da cobertura verde, e a quantidade extra de armadura necessária para suportar os esforços solicitantes;
- ✓ Estudo voltado para mecanismos que possam substituir alguns dos componentes da camada vegetal, tais como a utilização de caixas de leite ou garrafas pet para a produção de um sistema modular;
- ✓ Estudos de caso dos benefícios que uma cobertura verde traz para a retenção de água da chuva no município, evitando e auxiliando a diminuição de risco de alagamentos na cidade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARANTES, Otília Betariz Fiori. **Formas urbanas em mutação**. Revista Eptic Online Vol.16 n.1 p.58-67 jan.-abr. 2013.

BALDESSAR, Silva Maria Nogueira. **Cobertura Verde e sua Contribuição na Redução da Vazão da Água Pluvial Escoada**. Universidade Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Construção Civil. Área de Concentração: Ambiente Construído. Curitiba, 2012.

BANTING, D.; DOSHI, H.H.; LI, J. Missios, P. **Report on the Environmental Benefits and Costs of Green roof technology for the city of Toronto**. City of Toronto and Ontario Centres for Excellence Earth and Environmental Technologies, Toronto, 2005.

BAYKAL, Ayfer. **Green Roofs Copenhagen**. Copenhagen, 2008.

BOERI, Stefano. **Bosco Verticale**. 2018. Disponível em: < <https://www.stefano-boeri-architetti.net/project/bosco-verticale/>>. Acesso em 3 de Janeiro de 2019.

CAMPOS, Cássia de Oliveira Porto; RODRIGUES, Mateus Augusto de Carvalho; CASTILHO, Regina Maria Monteiro de. **Projeto Jardinagem Como Terapia Ocupacional na Recuperação de Pacientes do CERDIF**. Faculdade de Engenharia, UNESP, Ilha Solteira, 2009.

COSTA, Gustavo Brandão; TANZILLO, André Assugeni; REDA, André Luiz de Lima; ROCHA, Ana Júlia Ferreira; PINHEIRO, Ana Lúcia Bragança. **Pesquisa de Graduação a Serviço da Responsabilidade Social: Educação Ambiental Através da Introdução de Coberturas Verdes Para a Drenagem Urbana Sustentável**. Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia – COBENGE, Belém – Setembro 2012.

ECOTELHADO. **Gramma para Telhado Verde / Plantas de Cobertura de Telhado**. Disponível em: < <https://ecotelhado.com/sistema/ecotelhado-telhado-verde/plantas-2/> >. Acesso em 07 de Janeiro de 2019.

ELMQVIST, Thomas; FRAGKIAS, Michail; GUULNERALP, Burak; MARCOTULLIO, Peter; MCDONALD, Robert; PARNELL, Susan; SENDSTAD, Marte; SETO, Karen e WILKINSON, Cathy, 2012. **Panorama da Biodiversidade nas Cidades, intitulada Urbanização, Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos em Âmbito**

**Global – Desafios e Oportunidades.** Disponível em <[www.cbd.int/authorities/cbo1.shtml](http://www.cbd.int/authorities/cbo1.shtml)>. Acesso em 31 de Dezembro de 2018.

FEREGUETTI, Larissa. **8 Incríveis Coberturas Verdes Para Você se Inspirar.** 2018. Disponível em: <<https://blogdaarquitectura.com/coberturas-verdes-para-se-inspirar/>>. Acesso em 3 de Janeiro de 2019.

FIGUEIREDO, Danilo José. 2011. **Vikings: Mais Que Um Povo, Um Ideal.** Disponível em: <[https://www.solbrilhando.com.br/Sociedade/Os\\_Vikings\\_03.htm](https://www.solbrilhando.com.br/Sociedade/Os_Vikings_03.htm)>. Acesso em 12 de Novembro de 2018.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. S. **Manual do conforto térmico.** São Paulo: Studio Nobel, 2003. 248 p.

GATTO, Christiane Merhy. **Coberturas Verdes: a Importância da Estrutura e da Impermeabilização Utilizadas.** Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído) - Universidade Federal de Juiz de Fora. Programa de Pós-Graduação – PROAC – Mestrado em Ambiente Construído. Faculdade de Engenharia. Juiz de Fora, MG, 2012.

GREGOIRE, B.G.; CLAUSEN, J.C. **Effect of a modular extensive green roof on stormwater runoff and water quality.** Ecol. Eng. 37. 2011.

HENEINE, Maria Cristina de Almeida de Souza. **Cobertura Verde.** Monografia apresentada ao curso de especialização em construção civil da Escola de Engenharia UFMG. Belo Horizonte, 2008.

JOSEPH, Ajay V. **Green Roofs. Department of Civil Engineering. Amal Jyothi College of Engineering.** Kanjirappally, Kerala. Novembro, 2015.

LAMBERTS, Roberto, DUTRA, Luciano, PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência energética na arquitetura.** Ilustrações de Luciano Dutra. São Paulo: P.W., 1997. 192p.

LAROCHE, Dany et al. **Les Toits Verts aujourd’hui: c’est construire Le Montréal de Demain.** Montréal, 2004. Disponível em: < <http://ocpm.qc.ca/sites/ocpm.qc.ca/files/pdf/41/8aa.pdf> >. Acesso em 10 de Dezembro 2018.

LAROCHE, Dany et al. **Les Toits Verts aujourd’hui: c’est construire Le Montréal de Demain.** Montréal, 2004. Disponível em: <<http://www2.ville.montreal.qc.ca/ocpm/pdf/41/8aa.pdf>>. Acesso em 02 de Janeiro 2019.

Li, W.C.; Yeung K.K.A. **A comprehensive study of green roof performance from environmental perspective.** Gulf Organisation for Research and Development. International Journal of Sustainable Built Environment (2014).

LIPTAN, T.; STRECKER E. Ecoroofs (Greenroofs) – A More Sustainable Infrastructure. In: **National Conference on Urban Storm Water: Enhancing Programs at the Local Level.** 2003, Chicago. Proceedings... Cincinnati: U.S. Environmental Protection Agency., [2003]. p. 198-214.

MACDONAGH, Peter L. **Benefits os Green Roofs.** A Newsletter by InformeDesign. Implications. Vol. 04 Issue 08. University of Minnesota. 2005.

MACLAVOR, J.S., LUNDHOLM, J., **Performance evaluation of native plants suited to extensive green roof conditions in a maritime climate.** Ecol. Eng. 37, 407–417. 2011.

MASCARO, Juan Luis e MASCARO, Lucia Elvira Raffo. **Incidência das variáveis projetivas e de construção no consumo energético dos edifícios: relatório de pesquisa.** Porto Alegre; Sagra-DC Luzzatto; 1992. 134 p.

MORAIS, C; RORIZ, M. **Temperatura em Protótipo de Edificação com Cobertura Ajardinada: São Carlos, SP.** Encontro nacional sobre conforto no ambiente construído/ Encontro latino-americano sobre conforto no ambiente construído – ENCAC/ELACAC. Alagoas, 2005.

OLIVEIRA, Elvira. **Maravilhas do Mundo.** Coord. Editorial. São Paulo Klick, 2001.

PECK, 1999 apud ARAÚJO, Sidney Rocha de. **Conforto ambiental.** Soropédica, RJ.

PEDERASSI, Anselmo de Carvalho; VIGLIO, Eduardo Paim; CUNHA, Joice Rodrigues da; SOUZA, Fernanda Cristina Rodrigues de; FONSECA, Samuel Ferreira da. **Geoquímica Multiusos no Estado de Minas Gerais: A bacia do Rio Mucuri.** XIII Congresso Brasileiro de Geoquímica. III Simpósio de Geoquímica dos Países do Mercosul. Gramado, 9 de Outubro de 2011.

PERES, Maria de Lourdes Corsino; BARBOSA, Ycarim Melgaço. O imaginário na **Reprodução da Natureza no Espaço Urbano: Parques Vaca Brava e Flamboyant.** Contemporânea. Ed. 14, Vol. 8, N1, 2010.

QUINTELLA, Maria Tereza. 2012. **A Origem dos Coberturas Verdes**. Disponível em: <<http://coberturascriativos.blogspot.com/2012/03/origem-dos-coberturas-verdes.html>>.

Acesso em 12 de Novembro de 2018.

RANGEL, Ana Celina Lucena da Costa; ARANHA, Kaline Cunha; SILVA, Maria Cristina Basílio Crispim da. **Os Coberturas Verdes nas Políticas Ambientais Como Medida Indutora Para a Sustentabilidade**. Desenvolvimento e Meio ambiente. Sistema Eletrônico de Revistas – SER. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa – Paraíba. Dezembro 2015.

RIVERO, Roberto. **Arquitetura e clima: condicionamento térmico natural**. Porto Alegre: D. C. Luzzatto Editores: Ed. da Universidade, UFRGS, 1986.

SADDI, Karrielle Garrido; MOURA, Rúbia Oda. **Coberturas Verdes: Análise do Impacto de sua Implantação Sobre a Redução do Escoamento Superficial**. Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2010.

SANTOS, Dilza. **Jardinagem Terapêutica e Seus Benefícios**. Perfil Psicologia e Bem-Estar. 2016. Disponível em: < <http://www.dilzasantos.com.br/jardinagem-terapeutica/>>. Acesso em 10 de Dezembro de 2018.

SANTOS, Leonildo Rasec Lima dos; LIMA, João Victor Feitosa de; NETO, Lourenço Tibúrcio; ROLEMBERG, Rodrigo Rocha; GONZAGA, Giordiano Bruno Medeiros. **Cobertura Verde: Uma Proposta Sustentável Para a Construção Civil**. Ciências Exatas e Tecnológicas. V.4, n.2, p.195-206, Alagoas – Novembro 2017.

SUTTON, Richard K. **Green Roof Ecosystems, Ecological Studies 223**, Springer International Publishing Switzerland, Department of Agronomy & Horticulture, Lincoln, USA – 2015.

TASSI, Rutinéia; TASSINARI; Lucas Camargo da Silva; PICCILLI, Daniel Gustavo; PERSCH, Cristiano Gabriel. **Cobertura Verde: uma alternativa sustentável para a gestão das águas pluvias**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 139-154, jan./mar. 2014. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.

TOLDERLUND, Leila. **Design Guidelines and Maintenance Manual for Green Roofs in the Semi-Arid and Arid West**. University of Colorado Denver. Denver. Novembro, 2010.

VIERA, Cíntia Cristina. **Conforto Térmico e Iluminação Natural no Edifício Administrativo da Escola de Engenharia de São Carlos/USP – O Bloco E1.** São Carlos, 2008.