

## CAPÍTULO 2

# TELHADOS VERDES: COMBATE ÀS ENCHENTES, E VIABILIDADE

---

*Data de submissão: 18/03/2023*

*Data de aceite: 02/05/2023*

**Arthur Lucas Bastos Chaves**

Centro Universitário São Lucas  
Porto Velho - RO

<https://lattes.cnpq.br/7590174214505389>

**Antônio Lauro Rodrigues de Oliveira**

Centro Universitário São Lucas  
Porto Velho - RO

<http://lattes.cnpq.br/5724064424332527>

**Edivandro Rezende da Silva**

Centro Universitário São Lucas  
Porto Velho - RO

<https://lattes.cnpq.br/6203952877582943>

**Francisco Alves Mendes Neto**

Centro Universitário São Lucas  
Porto Velho - RO

<https://lattes.cnpq.br/3014060056957189>

**Gabriel Vitor da Silva Amaral**

Centro universitário São Lucas  
Porto Velho - RO

<http://lattes.cnpq.br/0189341933805475>

**Guilherme Vinicius Silverio Rocha**

Centro Universitário São Lucas  
Porto Velho - RO

<https://lattes.cnpq.br/5000038585466510>

**Isaque Oliveira Rodrigues**

Centro Universitário São Lucas  
Porto Velho - RO

<http://lattes.cnpq.br/9626830405190922>

**João Marcos Soler dos Reis**

Centro Universitário São Lucas  
Porto Velho - RO

<http://lattes.cnpq.br/3610124114649169>

**Thalyson Costa da Silva**

Centro Universitário São Lucas  
Porto Velho - RO

<https://lattes.cnpq.br/5259006080718438>

**Vanderson Da Silva Santos**

Centro Universitário São Lucas  
Porto Velho - RO

<http://lattes.cnpq.br/3166469289031628>

**Vinicius Lima de Oliveira**

Centro Universitário São Lucas  
Porto Velho - RO

<https://lattes.cnpq.br/5956498815219062>

**RESUMO:** A utilização dos telhados verdes vem como uma solução para o combate às enchentes com seu preço viável. A partir do êxodo rural várias pessoas vieram às grandes cidades e assim ocasionaram o inchaço das cidades e da poluição, com isso se deu a intensificação das enchentes, e a procura de meio para evita-las. Tal pesquisa tem como objetivo demonstrar a viabilidade e a relação com a absorção das águas pluviais pelo telhado verde de uma

forma sustentável. Os telhados verde são classificados principalmente em dois tipos, os mais simples com baixo custo bons para vegetações de pequeno porte, e para a plantação de grandes plantas possuindo um custo maior. A cobertura vegetal possui várias camadas em sua estrutura das quais ajudam na retenção de água, impermeabilização, drenagem; e outras camadas como a de filtro, o substrato, a vegetação e a camada anti-raiz. As principais características são retenção das águas pluviais, e isolamento térmico e acústico. Esta pesquisa se classifica como bibliográfica, teórica, descritiva e qualitativa, para sua execução foram utilizados artigos, dissertações de mestrado e teses de doutorado. Após comparação com telhados convencionais foi constatado que o telhado verde venacular é mais barato que os convencionais em pelo menos 11% por m<sup>2</sup>. Nos dados finais sobre a retenção de água o telhado verde escoou 21% enquanto o telhado convencional escoou 96%. Quanto à análise de EE e CO<sub>2</sub> superou alguns telhados normais principalmente pela pouca energia embutida derivada do cal na queima de combustíveis fósseis, mas não foi melhor do que o telhado com cobertura de madeira. Então ele superou os outros telhados comparados, porém nos quesito de energia embutida e emissão de CO<sub>2</sub> não foi o melhor.

**PALAVRAS-CHAVE:** Telhado-verde. Sustentabilidade. Enchentes.

## GREEN ROOFS: FIGHTING FLOOD AND VIABILITY

**ABSTRACT:** The green roofs have been searched as a key to combat floods with na affordable price. From the rural exodus a lot of people came to the cities and thus caused a bump in the cities and pollution, with came na intensification of floods, and the search of ways to avoid them. This research aims to demonstrate the viality and a relationship with rainwater's absorpction by the green roof in a sustainable way. The green roofs are classified mainly in two kinds, the simplest ones with low cost perfcet for small plants, and for the planting possessing a greater cost. The green roof has several layers in its structure which they help in the retention of water, waterproofing, drainage; and others layers which are filter, substrate, vegetation and anti-root layer. The main features are rainwater retention, and thermal and acoustic insulation. This research is classified as bibliographic, theoretical, descriptive and qualitative, for its execution were used articles, master dissertations and doctoral theses. After comparison with conventional roofs it was found that the green venacular roof is cheaper than conventional roofs by at least 11% per m<sup>2</sup>. In the final data on water retention the green roof drained 21% while the conventional roof drained 96%. And the analysis of built-in energy and CO<sub>2</sub> overcame some normal roofs mainly because of the low energy built-in up from the whitewash in the burning of fossil fuels, but it was no better than the roof with wood cover. So it overcame the other roofs compared, but in terms of built-in energy and CO<sub>2</sub> emission was not the best.

**KEYWORDS:** Green roofs. Sustainability. Floods.

## 1 | INTRODUÇÃO

Os grandes centros urbanos se formaram a partir do êxodo rural, que foi a saída das pessoas do meio rural para tentar uma nova vida nas cidades, esse evento aconteceu pois a população perdeu espaço no campo devido ao processo de mecanização agrícola.

A mão-de-obra rural foi atraída para as cidades a partir da Revolução Industrial Inglesa, quando foram definidas como centro produtores e mercadores (HOBSBAWN apud CATUZZO, 2013).

Esse inchaço rápido das cidades trouxe consequências como as ilhas-de-calor já que foram criados muitas edificações e a pavimentação de ruas com asfalto só aumentou esse fenômeno. Cada vez mais, a cidade é coberta por superfícies impermeáveis: ruas e edificações, que não retêm a precipitação, e assim, produzem mais e mais volume no escoamento (BALDESSAR, 2012).

De igual maneira a chegada dessas pessoas rurais que nem sempre condizem com suas expectativas, por não terem renda suficiente optam por morar em favelas, que são geralmente feitas em morros. Os morros com grande grau de declive pode gerar deslizamentos, devido a retirada da cobertura verde para a ocupação de pessoas, esses deslizamentos acontecem porque não existe mais cobertura verde nessas áreas para a absorção de água provinda da chuva.

Uma alternativa para minimização desse impacto é a utilização de telhados verdes como forma de diminuir tais desastres e ainda ajudar na renda das famílias pois poderiam plantar nos telhados e vender os produtos.

Os principais pontos a serem questionados dessa pesquisa serão: o telhado verde é realmente eficaz para a prevenção contra enchentes? E as suas vantagens realmente valem o preço a ser pago, e todas elas são realmente vantagens significativas?

## 1.1 Objetivo

Essa pesquisa terá como objetivo geral analisar o desempenho de um telhado verde sob o aspecto sustentável da tecnologia.

E como objetivos específicos:

- Mostrar a viabilização do telhado verde;
- Verificar a relação da absorção de águas pluviais pelo telhado verde com as enchentes;

## 1.2 Justificativa

No quesito ambiental o uso de telhado verde é ideal para: a melhoria da qualidade do ar; redução do efeito ilhas-de-calor; e pode reduzir as enchentes.

É notável a preocupação com as enchentes que afetaram o país nos últimos anos. Para o controle de tal, é necessária uma gestão do excesso de águas pluviais com sistemas de drenagem, que são muitos prejudicados por terem que atender uma quantidade de água além da sua capacidade. As enchentes no Brasil em 2011 de acordo com estudos foram consideradas as com mais número de mortos, com 900 mortos.

Na imagem a seguir pode-se observar o desastre ocasionado pelas enchentes de 2012 em Blumenau.



Figura 1: Enchente em Blumenau

Fonte: Seguros em foco (2011)

Economicamente, de acordo com Baldessar (2012) de toda energia consumida no país, 44,98% vão para as edificações residenciais, comerciais e públicas; sendo 22,32% desta energia são destinadas para o setor residencial. Para diminuir esse consumo a cobertura verde tem como função na economia de energia, os isolamentos térmicos, ou seja, não precisarão ser usados tanto os ar condicionados.

## 2 | REFERENCIAL TEÓRICO

A seguir será descrito, com bases acadêmicas, sobre telhados verdes quanto a sua classificação, as estruturas envolvidas para seu preparo e suas vantagens para a sustentabilidade.

### 2.1 Tipos de telhados verdes

Telhados verdes tem como definição básica uma estrutura para coberturas dividida em várias camadas, entre elas camadas com vegetação e de solo. São construídos em diferentes camadas e espessuras variáveis, porém normalmente consistem de um camada de barreira de raiz, drenagem, filtro, meio de cultura ou substrato e por último a camada de vegetação (BIANCHINI et al, 2011 apud LOPES, 2014).

#### 2.1.1 *Telhados verdes extensivos*

De acordo com Köehler (2001, apud LOPES, 2014) os telhados extensivos tem durabilidade de 30 anos e aceitam inclinações de 0° a 30°.

São coberturas mais simples, mais resistentes e geralmente tem um custo menor

de implantação e manutenção. São indicadas para qualquer tamanho de área, e por ter um peso menor, se adaptam melhor a estruturas de coberturas já existentes. São ideias para vegetação de pequeno porte, pois a espessura do sistema fica entre 8 e 12cm geralmente (LOPES, 2014).

Caracterizam-se por usar plantas resistentes à seca e pela espessura de solo menor que 20 cm (OLIVEIRA, 2009).

### 2.1.2 Telhados verdes intensivos

Badessar (2012) afirmar que “os sistemas intensivos são definidos por alta manutenção, pois é possível a criação de jardins com terraços e espelhos d’água, além de incluir gramados e vegetações de médio e grande porte, como arbustos e árvores”. Já Oliveira (2009) explica que esse sistema é caracterizado por sua espessura ser maior que 20 cm.

## 2.2 Estrutura do telhado verde – aspectos técnicos

O telhado verde tem por objeto a aplicação de vegetação sobre a cobertura de edificações que recebem tratamento adequado em relação à impermeabilização, barreira anti-raízes e drenagem, favorecendo a eficácia do mesmo (BADESSAR, 2012).

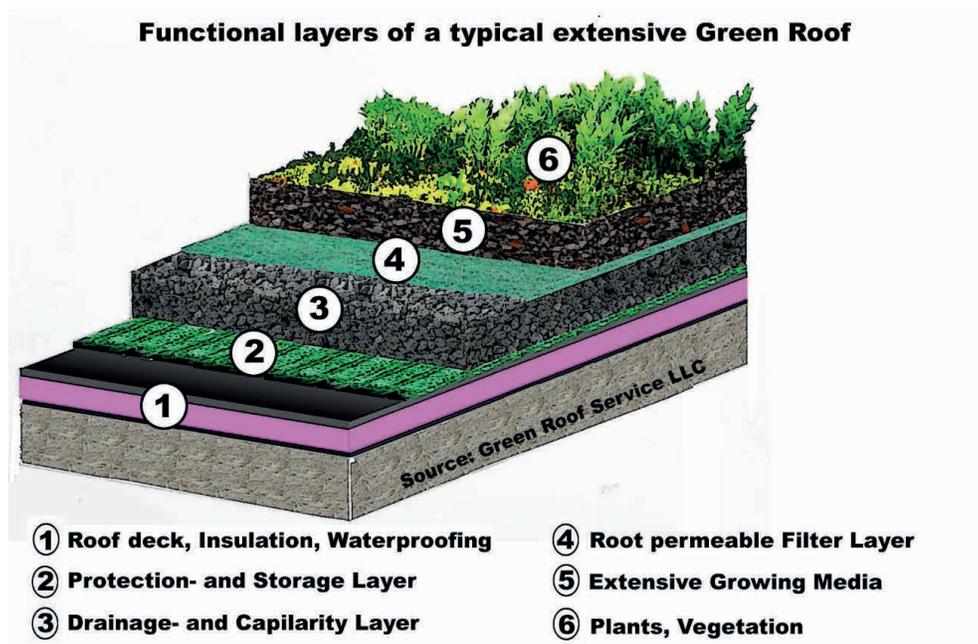


Figura 2- Composição do telhado verde

Fonte Catuzzo (2013)

A figura tem como componentes construtivos os seguintes elementos:

- 1) estrutura do telhado, e membrana de isolamento, a membrana a prova d'água;
- 2) camada de proteção e armazenamento;
- 3) camada de capilaridade e drenagem;
- 4) camada de filtro permeável;
- 5) substrato para o cultivo;
- 6) plantas e vegetação.

Em 2007 foi lançado o *NCRA Green Roof Systems Manual* pela *National Roofing Contractors Association* nos Estados Unidos, com o intuito de auxiliar com informações técnicas sobre o projeto e a instalação de sistemas com qualidade para telhados verdes. As informações são sobre os aspectos do sistema de impermeabilização e também sobre os componentes, que não se relacionam com a impermeabilização.

### *2.2.1 Camada de retenção de água*

Essa é uma forma alternativa, que pode admitir várias formas para o aumento de retenção do telhado.

Cantor (apud BADESSAR, 2012) afirma que as formas, quando devidamente instaladas, chegam a reter 0,1 a 0,5 litros por metro quadrado. A água armazenada nesta camada é absorvida pelas plantas e ainda ajuda a manter o substrato úmido (BADESSAR,2012).

### *2.2.2 Impermeabilização*

Evita a infiltração de água nas edificações, aumentando a sua vida útil e ainda evita gastos no futuro para quem ocupa o local. Precisa ser adequada ao tipo de pavimento

Elas impedem o movimento lateral da água na interface camada suporte/membrana de forma que quando danificadas só resta água passa pela camada suporte, facilitando a identificação do ponto danificado (BRASIL e BARRETO, 2010).

### *2.2.3 Drenagem*

A camada de drenagem previne supersaturação, assegura que as raízes estão ventiladas, e fornecem espaço extra para o crescimento das raízes. Muitas camadas de drenagem também ajudam a reter água (BRASIL e BARRETO, 2010).

Eventualmente, esta água pode ser direcionada a uma cisterna e ser reaproveitada (BADESSAR, 2012).

### *2.2.4 Filtro*

Essa é uma fina camada de tecido, geotêxtil, que separa a parte inferior do substrato da camada de drenagem. Segundo Badessar (2012) mesmo com sua espessura pouca, é um elemento fundamental para o impedimento de que partículas finas danifiquem o sistema

obstruindo a camada de drenagem.

### 2.2.5 *Substrato*

Há uma quantidade enorme de composições dessa parte, porém resume-se na necessidade da planta em absorver a umidade e nutrientes.

De acordo com Oliveira (2009) os tipos de substratos, e a altura deles varia conforme a vegetação e o tipo de telhado escolhidos.

Alguns substratos típicos são: argila expandida, pedra-pomes, terracota, argila calcinada, ardósia expandida ou tijolo (CANTOR apud BADESSAR, 2012).

### 2.2.6 *Vegetação e métodos de plantio*

Para uma cobertura imediata, os métodos são os tapetes pré-cultivados e os sistemas modulares. Técnicas de crescimento *in loco* não oferecem cobertura imediata, mas são mais baratas (BRASIL e BARRETO, 2010).

O desenvolvimento das plantas tem sempre o caráter sazonal, pois os períodos de máximo desenvolvimento alternam entre si (BADESSAR, 2012).

Consiste na cobertura vegetal propriamente dita e que vai depender do tipo de telhado verde proposto, em função da altura do solo e do substrato disponível (OLIVEIRA, 2009).

### 2.2.7 *Camada anti-raiz*

A barreira de raízes protege a membrana da penetração agressiva das raízes (BRASIL e BARRETO, 2010).

Normalmente são utilizadas membranas de cobre e produtos químicos retardadores de raiz (BADESSAR, 2012). Porém é visto negativamente já que pode contaminar a água com cobre e agentes químicos.

### 2.2.8 *Isolamento térmico*

Ela seria adicional e tem a função de limitar o ganho ou perda de calor (CANTOR apud BADESSAR, 2012). Sua utilização torna-se apropriada em regiões muito frias, onde é necessário conservar o calor nas edificações (BADESSAR, 2012).

### 2.2.9 *Pavimento*

Nas edificações novas, os pavimentos precisam ser construídos em conformidade com as especificações de carga planejada do telhado verde (BADESSAR, 2012).

Já nas edificações existentes o autor explica que é necessário fazer uma profunda investigação da estrutura e planejar o tipo de cobertura que a edificação pode receber.

## 2.3 Vantagens do telhado verde

Serão citados abaixo alguns dos benefícios do telhado verde, relativos a sustentabilidade:

Retenção de água da chuva, durante e após fortes chuvas, os materiais de planta, substrato e a camada de drenagem projetada em um telhado verde podem absorver quantidades significativas de precipitação e escoamento de águas pluviais (CANTOR apud BADESSAR, 2012). Constatou-se que lá a redução da taxa de drenagem pode ser cerca de 35%. O autor ainda cita que após esse estudo, a tecnologia de telhado verde recebe mais aprovações quanto a gestão de águas pluviais. A contribuição da vegetação, neste caso, é que permite a evapotranspiração sazonal, ou seja, diferentes espécies têm seu ciclo biológico variável com a estação do ano (BADESSAR, 2012); Redução de ilha de calor, com o emprego de vegetação nos densos ambientes construídos, pode-se ajudar conforto térmico utilizando as propriedades térmicas das vegetações, que ao entrarem em processo de evapotranspiração esfriam a temperatura ambiente do edifício (BADESSAR, 2012). No verão, a transmissão de calor pode ser reduzida em mais de 90% e em mais de 10% no inverno segundo Brasil e Barreto (2010). Do ponto de vista térmico, os benefícios são inquestionáveis e ainda ajudam na manutenção de microclimas e mesoclimas (WONG apud OLIVEIRA, 2009); Qualidade e fluxo do ar, conforme Brasil e Barreto (2010) explicam os tetos verde em áreas urbanas pode melhorar a qualidade do ar, filtrado partículas de gás carbônico e fixando metais pesados; Economia de energia, como as várias formas de economia de energia estão em pauta, o telhado verde é mais uma das formas. Pois, segundo Badessar (2012), a espessura do telhado verde age como isolante, sendo assim nas edificação aumento o grau de resistência de transmissão de energia, além de reduzir a necessidade por ar condicionado no verão e de aquecimento no inverno; Custo da implantação Consoante a *Bureau of Environmental Services* (apud BADESSAR, 2012) o custo do telhado verde é variável dentre 54 a 130 USD/m<sup>2</sup> nas obras novas e entre 75 a 215 USD/m<sup>2</sup>. Esse preço elevado é compensado por outros benefícios que são vem com o decorre do uso do telhado verde; Durabilidade, embora o custo inicial de um telhado verde seja maior do que de um telhado convencional, ao longo do tempo o ele prolonga sua vida útil, protegendo-o da exposição direta aos raios ultravioletas e outras radiações nocivas (CANTOR apud BADESSAR, 2012).

## 3 | METODOLOGIA

Esse trabalho teve sua pesquisa classificada como pesquisa bibliográfica, teórica, descritiva e qualitativa, e tal pesquisa teve como fonte sites próprios para pesquisas acadêmicas, teses, dissertações e artigos que se aprofundem no assunto sobre coberturas verdes, suas vantagens e características, auxiliando assim na realização desse trabalho

acadêmico. Foi utilizado o site Google Scholar e a biblioteca digital da USP, dos quais foram retirados quatro artigos, três dissertações de mestrado e uma tese de doutorado.

Artigos:

- Telhado verde, energia embutida e emissão de CO<sub>2</sub>: análise comparativa a coberturas tradicionais;
- Telhado verde: desempenho do sistema construtivo na redução do escoamento superficial;
- Aspectos construtivos e ambientais de telhados verdes extensivos;
- Desempenho térmico das edificações: estudo comparativo entre o telhado verde e outros tipos de coberturas;
- Telhados verdes: Ferramenta potencial para geração de renda em áreas de fragilidade social.

Dissertações de mestrado:

- Telhado verde e sua contribuição na redução da vazão da água pluvial escoada;
- Telhados Verdes para a habitações de interesse social: retenção das águas pluviais e conforto térmico.
- Telhado Verde: análise comparativa de custo com sistemas tradicionais de cobertura

Tese de doutorado:

- Telhado Verde: impacto positivo na temperatura e umidade do ar. O caso da cidade de São Paulo.

## 4 | RESULTADO E DISCUSSÕES

Nesta parte da pesquisa serão abordados os tópicos relativos ao objetivo como viabilidade do telhado verde, a absorção das águas pluviais e o desempenho térmico.

### 4.1 Viabilidade do telhado verde

Na análise da viabilidade dos telhados verdes serão utilizados 4 tipos de telhados que são: laje pré-moldada coberta com telha cerâmica, Laje pré-moldada sombreada com argila expandida, telhado verde - sistema vernacular, telhado verde - sistema hexa. E terá como base a pesquisa da autora Adriane Cordoni Savi (2012).

O primeiro deles a ser analisado é o telhado feito de laje pré-moldada coberta com telha cerâmica: a cobertura observada tem um total de 57,60m<sup>2</sup> e computadas as beiras de 60 cm. Foram utilizadas telhas de cerâmica do tipo romana e foram computados também como custos chapiscos, reboco, emboço, o uso de calhas e rufos e a pintura da laje.

Pode-se verificar no Quadro 1 o custo para a realização da laje pré-moldada com

telha cerâmica, de acordo com as características citadas acima.

| Custos MA    | Custos M.O   | Custo Total   | Custo m <sup>2</sup> |
|--------------|--------------|---------------|----------------------|
| R\$ 6.632,94 | R\$ 7.721,01 | R\$ 14.353,95 | R\$ 249,55           |

Quadro 1: Custo laje pré-moldada com telha cerâmica

Fonte: Savi (2012)

O próximo tipo de telhado a ser analisado é o laje pré-moldada sombreada com argila expandida, este telhado escolhido para a pesquisa teve uma cobertura total de 57,60m<sup>2</sup>. Foi utilizado a manta asfáltica revestida com *film* e alumínio gofrado para ser feita a impermeabilização da laje com a função de proteger a mesma.

No Quadro 2 será mostrado o preço para a produção do sistema definido acima.

| Custos MA    | Custos M.O   | Custo Total   | Custo m <sup>2</sup> |
|--------------|--------------|---------------|----------------------|
| R\$ 5.631,99 | R\$ 6,026,00 | R\$ 11,657,99 | R\$ 202,68           |

Quadro 2: Custo laje pré-moldada sombreada com argila expansiva

Fonte: Savi (2012)

O primeiro dos dois telhados verdes analisados é o telhado verde venacular. Foi adotado para referência orçamentária o sistema moldado *in loco*. Como superfície de impermeabilização utilizou-se a manta de geotêxtil, que é aplicada sobre essa aplicasse uma camada de argila expandida e em seguida outra a manta é aplicada novamente, essa parte serve para reter o substrato e garantir a eficiência da camada de drenagem.

A descrição dos custos para esse sistema vem a seguir no Quadro 3.

| Custos MA    | Custos M.O   | Custo Total   | Custo m <sup>2</sup> |
|--------------|--------------|---------------|----------------------|
| R\$ 6.877,49 | R\$ 3.594,76 | R\$ 10.472,25 | R\$ 182,06           |

Quadro 3: Custo do telhado verde venacular

Fonte: Savi (2012)

E o último telhado a ser analisado ser o telhado verde com o sistema hexa ecotelhado. Esse telhado possui acima da manta o substrato leve, seus componentes consistem em materiais orgânicos e sintéticos derivados da reciclagem. Um ponto importante é que esse telhado tem uma vegetação de Cacto Margarida, planta ideal devido ser uma suculenta de folhas grossas que garantem a retenção de água.

O Quadro 4 a baixo informa os custos desse telhado.

|              |              |               |                      |
|--------------|--------------|---------------|----------------------|
| Custos MA    | Custos M.O   | Custo Total   | Custo m <sup>2</sup> |
| R\$ 9.922,19 | R\$ 4.221,16 | R\$ 15.832,38 | R\$ 275,25           |

Quadro 4: Custo do telhado verde hexa

Fonte: Savi (2012)

## 4.2 Retenção de água de um telhado verde

Os telhados verdes tem como umas principais características a retenção das águas pluviais dessa forma ajuda a prevenir as enchentes, nesta sessão terá a analisa dos índices de absorção das águas pluviais por alguns tipos diferentes de telhados incluindo o telhado verde. Essa parte será baseada nos estudos de Baldessar (2012).

Será exibido nos próximos quadros dados de precipitação e de retenção de água entre 26 de novembro de 2011 e 31 de dezembro de 2011.

| NOVEMBRO 2011 |                       | COLETA DE DADOS DO EXPERIMENTO         |                     |                     |
|---------------|-----------------------|--|---------------------|---------------------|
| Data          | Dados de precipitação | Água escoada mm/dia                    | Água escoada mm/dia | Água escoada mm/dia |
|               | INMET                 | LAJE IMPERMEÁVEL                       | TELHA DE BARRO      | TELHADO VERDE       |
| 22/11/2011    | 5,4                   | chuva intensa sobre substrato saturado |                     |                     |
| 23/11/2011    | 0,0                   | substrato saturado de umidade          |                     |                     |
| 24/11/2011    | 0,0                   |  |                     |                     |
| 25/11/2011    | 0,2                   |  |                     |                     |
| 26/11/2011    | 4,0                   | 5,35                                   | 3,70                | 0,26                |
| 27/11/2011    | 0,2                   | 0,00                                   | 0,00                | 0,00                |
| 28/11/2011    | 0,4                   | 0,22                                   | 0,00                | 0,00                |
| 29/11/2011    | 0,0                   | 1,00                                   | 0,00                | 0,00                |
| 30/11/2011    | 5,4                   | 1,65                                   | 0,02                | 0,00                |

Quadro 5: Coleta de dados do experimento – novembro de 2011

Fonte: Baldessar (2012)

| DEZEMBRO 2011 |                       | COLETA DE DADOS DO EXPERIMENTO |                     |                     |
|---------------|-----------------------|--------------------------------|---------------------|---------------------|
| Data          | Dados de precipitação | Água escoada mm/dia            | Água escoada mm/dia | Água escoada mm/dia |
|               | INMET                 | LAJE IMPERMEÁVEL               | TELHA DE BARRO      | TELHADO VERDE       |
| 1/12/2011     | 10,6                  | 0,00                           | 0,00                | 0,00                |
| 2/12/2011     | 0,0                   | 0,00                           | 0,00                | 0,00                |
| 3/12/2011     | 1,0                   | 2,78                           | 0,00                | 0,00                |
| 4/12/2011     | 0,0                   | 0,00                           | 0,00                | 0,00                |
| 5/12/2011     | 1,0                   | 0,88                           | 0,00                | 0,00                |
| 6/12/2011     | 0,0                   | 0,00                           | 0,00                | 0,00                |
| 7/12/2011     | 1,2                   | 1,55                           | 0,00                | 0,00                |
| 8/12/2011     | 7,4                   | 10,50                          | 6,50                | 0,00                |
| 9/12/2011     | 32,0                  | 38,75                          | 37,40               | 21,85               |
| 10/12/2011    | 2,0                   | 0,68                           | 0,53                | 0,25                |
| 11/12/2011    | 0,0                   | 0,00                           | 0,00                | 0,00                |
| 12/12/2011    | 2,0                   | 0,33                           | 0,00                | 0,00                |
| 13/12/2011    | 1,2                   | 3,75                           | 1,35                | 0,00                |
| 14/12/2011    | 2,8                   | 8,30                           | 5,53                | 0,05                |
| 15/12/2011    | 6,6                   | 0,00                           | 0,00                | 0,00                |
| 16/12/2011    | 0,0                   | 0,00                           | 0,00                | 0,00                |
| 17/12/2011    | 0,0                   | 0,00                           | 0,00                | 0,00                |
| 18/12/2011    | 0,0                   | 0,00                           | 0,00                | 0,00                |
| 19/12/2011    | 0,0                   | 0,00                           | 0,00                | 0,00                |
| 20/12/2011    | 0,0                   | 0,00                           | 0,00                | 0,00                |
| 21/12/2011    | 0,0                   | 0,00                           | 0,00                | 0,00                |
| 22/12/2011    | 0,2                   | 1,32                           | 0,10                | 0,00                |
| 23/12/2011    | 0,0                   | 3,67                           | 1,37                | 0,00                |
| 24/12/2011    | 17,2                  | 10,45                          | 7,30                | 0,00                |
| 25/12/2011    | 6,8                   | 0,10                           | 0,00                | 0,00                |
| 26/12/2011    | 2,0                   | 1,95                           | 1,81                | 0,67                |
| 27/12/2011    | 1,0                   | 0,00                           | 0,00                | 0,00                |
| 28/12/2011    | 1,0                   | 7,87                           | 7,50                | 2,85                |
| 29/12/2011    | 1,0                   | 1,90                           | 1,80                | 0,40                |
| 30/12/2011    | 0,6                   | 1,20                           | 1,10                | 0,20                |
| 31/12/2011    | 7,2                   | 13,80                          | 13,00               | 3,00                |

Quadro 6: Coleta de dados do experimento – dezembro de 2011

Fonte: Baldessar (2012)

| JANEIRO 2012 |                       | COLETA DE DADOS DO EXPERIMENTO |                     |                     |
|--------------|-----------------------|--------------------------------|---------------------|---------------------|
| Data         | Dados de precipitação | Água escoada mm/dia            | Água escoada mm/dia | Água escoada mm/dia |
|              | INMET                 | LAJE IMPERMEÁVEL               | TELHA DE BARRO      | TELHADO VERDE       |
| 1/1/2012     | 1,6                   | 3,10                           | 2,90                | 0,70                |
| 2/1/2012     | 0,8                   | 1,50                           | 1,40                | 0,30                |
| 3/1/2012     | 0,6                   | 0,00                           | 0,00                | 0,00                |
| 4/1/2012     | 0,4                   | 0,00                           | 0,00                | 0,00                |
| 5/1/2012     | 0,4                   | 0,00                           | 0,00                | 0,00                |
| 6/1/2012     | 1,0                   | 5,40                           | 1,50                | 0,00                |
| 7/1/2012     | 6,6                   | 0,00                           | 0,00                | 0,00                |
| 8/1/2012     | 0,0                   | 0,60                           | 0,00                | 0,00                |
| 9/1/2012     | 7,4                   | 2,40                           | 0,80                | 0,00                |
| 10/1/2012    | 4,8                   | 0,00                           | 0,00                | 0,00                |
| 11/1/2012    | 1,4                   | 0,00                           | 0,00                | 0,00                |
| 12/1/2012    | 0,0                   | 0,00                           | 0,00                | 0,00                |
| 13/1/2012    | 3,0                   | 5,70                           | 3,70                | 0,00                |
| 14/1/2012    | 4,4                   | 8,30                           | 8,30                | 0,00                |
| 15/1/2012    | 4,2                   | 8,00                           | 8,00                | 5,60                |
| 16/1/2012    | 4,4                   | 2,25                           | 0,90                | 0,47                |
| 17/1/2012    | 2,6                   | 4,80                           | 3,20                | 1,30                |
| 18/1/2012    | 2,2                   | 1,30                           | 0,90                | 0,00                |
| 19/1/2012    | 1,4                   | 0,80                           | 0,60                | 0,00                |
| 20/1/2012    | 1,2                   | 0,70                           | 0,50                | 0,00                |
| 21/1/2012    | 1,4                   | 0,80                           | 0,60                | 0,00                |
| 22/1/2012    | 0,8                   | 0,50                           | 0,30                | 0,00                |
| 23/1/2012    | 13,2                  | 7,40                           | 5,60                | 0,00                |
| 24/1/2012    | 0,0                   | 0,00                           | 0,00                | 0,00                |
| 25/1/2012    | 0,0                   | 0,10                           | 0,00                | 0,00                |
| 26/1/2012    | 13,2                  | 25,00                          | 22,00               | 12,90               |
| 27/1/2012    | 0,0                   | 0,00                           | 0,00                | 0,00                |
| 28/1/2012    | 0,0                   | 0,00                           | 0,00                | 0,00                |
| 29/1/2012    | 0,0                   | 0,00                           | 0,00                | 0,00                |
| 30/1/2012    | 0,0                   | 0,00                           | 0,00                | 0,00                |
| 31/1/2012    | 0,0                   | 0,00                           | 0,00                | 0,00                |

Quadro 7: Coleta de dados do experimento – janeiro de 2012

Fonte: Baldessar (2012)

| FEVEREIRO 2012 |                       | COLETA DE DADOS DO EXPERIMENTO |                     |                     |
|----------------|-----------------------|--------------------------------|---------------------|---------------------|
| Data           | Dados de precipitação | Água escoada mm/dia            | Água escoada mm/dia | Água escoada mm/dia |
|                | INMET                 | LAJE IMPERMEÁVEL               | TELHA DE BARRO      | TELHADO VERDE       |
| 1/2/2012       | 0,0                   | 0,00                           | 0,00                | 0,00                |
| 2/2/2012       | 0,0                   | 0,00                           | 0,00                | 0,00                |
| 3/2/2012       | 0,0                   | 0,00                           | 0,00                | 0,00                |
| 4/2/2012       | 0,0                   | 0,00                           | 0,00                | 0,00                |
| 5/2/2012       | 0,0                   | 0,00                           | 0,00                | 0,00                |
| 6/2/2012       | 0,0                   | 0,00                           | 0,00                | 0,00                |
| 7/2/2012       | 0,2                   | 12,10                          | 7,60                | 0,10                |
| 8/2/2012       | 20,4                  | 10,30                          | 7,40                | 1,20                |
| 9/2/2012       | 2,4                   | 1,40                           | 0,10                | 0,00                |
| 10/2/2012      | 51,2                  | 22,00                          | 18,60               | 12,10               |
| 11/2/2012      | 1,0                   | 2,00                           | 1,90                | 1,90                |
| 12/2/2012      | 0,0                   | 0,00                           | 0,00                | 0,00                |
| 13/2/2012      | 2,0                   | 4,90                           | 4,00                | 0,00                |
| 14/2/2012      | 10,0                  | 6,80                           | 6,90                | 5,90                |
| 15/2/2012      | 7,8                   | 7,90                           | 4,30                | 2,80                |
| 16/2/2012      | 0,0                   | 0,00                           | 0,00                | 0,00                |
| 17/2/2012      | 0,0                   | 0,00                           | 0,00                | 0,00                |
| 18/2/2012      | 0,0                   | 0,00                           | 0,00                | 0,00                |
| 19/2/2012      | 9,8                   | 10,10                          | 8,10                | 0,00                |
| 20/2/2012      | 22,2                  | 22,90                          | 22,90               | 20,00               |
| 21/2/2012      | 2,4                   | 2,50                           | 0,00                | 0,00                |
| 22/2/2012      | 2,4                   | 2,50                           | 0,00                | 0,00                |
| 23/2/2012      | 2,0                   | 0,00                           | 0,00                | 0,00                |
| 24/2/2012      | 19,2                  | 1,90                           | 0,40                | 0,00                |
| 25/2/2012      | 0,2                   | 0,40                           | 0,00                | 0,00                |
| 26/2/2012      | 3,4                   | 0,40                           | 0,00                | 0,00                |
| 27/2/2012      | 22,8                  | 20,20                          | 20,00               | 5,00                |
| 28/2/2012      |                       |                                |                     |                     |
| 29/2/2012      |                       |                                |                     |                     |

Quadro 8: Coleta de dados do experimento – fevereiro de 2012

Fonte: Baldessar (2012)

A partir disso e com a computação dos balanços hídricos entre as coberturas durante tais 94 dias. O telhado verde se sobressaiu quanto a retenção de água pluviais. 96% da precipitação total, 92.800 litros, foram escoadas pelos telhados convencionais enquanto somente 21% foi escoada pelo telhado verde.

Isso se dá às plantas que abrangem 100% da cobertura vegetal. Essa característica previne as enchentes nas grandes cidades devido os grandes escoamentos das cidades, e os entulhos em bueiros. Por isso se faz necessário o uso de telhados verdes para a retenção da água.

### 4.3 Sustentabilidade do sistema

A redução da energia embutida dos sistemas estão em alta ultimamente, pois esse número demonstra o impacto ambiental das construções. De acordo com Lopes *et al.* (2014) a energia embutida leva em consideração toda aquela que será usada na fabricação dos materiais para construção.

|                   | EE (MJ/Kg)        |                  |                  | % EE        |             |             | Kg CO <sub>2</sub> |                |                  | % CO <sub>2</sub> |             |             |
|-------------------|-------------------|------------------|------------------|-------------|-------------|-------------|--------------------|----------------|------------------|-------------------|-------------|-------------|
|                   | Sistema 2         | Sistema 3        | Sistema 6        | Sistema 2   | Sistema 3   | Sistema 6   | Sistema 2          | Sistema 3      | Sistema 6        | Sistema 2         | Sistema 3   | Sistema 6   |
| Aço               | 3.428,35          | --               | --               | 2,53        | --          | --          | 256,72             | --             | --               | 1,92              | --          | --          |
| Aço galvanizado   | 892,68            | 1.125,22         | --               | 0,66        | 3,96        | --          | 66,85              | 84,26          | --               | 0,5               | 1,99        | --          |
| Areia             | 2.015,16          | 760,83           | 102,73           | 1,49        | 2,68        | 0,14        | 159,50             | 60,22          | 8,13             | 1,19              | 1,42        | 0,08        |
| Argila expandida  | 15.552,00         | --               | 9.396,00         | 11,48       | --          | 12,83       | 1.123,20           | --             | 678,60           | 8,4               | --          | 6,74        |
| Cal               | 17.670,16         | 6.881,26         | --               | 13,04       | 24,24       | --          | 4.476,44           | 1743,25        | --               | 33,47             | 41,18       | --          |
| Cerâmica - bloco  | 37.938,63         | 3.695,43         | --               | 28,00       | 13,02       | --          | 1.963,07           | 191,21         | --               | 14,68             | 4,52        | --          |
| Cerâmica - telhas | --                | 12.411,36        | --               | --          | 43,72       | --          | --                 | 972,03         | --               | --                | 22,96       | --          |
| Cimento           | 12.788,99         | 1.756,14         | 2.616,18         | 9,44        | 6,19        | 3,57        | 1.618,12           | 222,19         | 331,01           | 12,1              | 5,25        | 3,29        |
| Compensado        | --                | --               | 3.864,00         | --          | --          | 5,28        | --                 | --             | 413,64           | --                | --          | 4,11        |
| Impermeabilizaçã  | 42.760,44         | --               | 44.716,80        | 31,55       | --          | 61,08       | 3.521,45           | --             | 3682,56          | 26,33             | --          | 36,55       |
| Madeira           | 12,10             | 1.005,08         | 1.249,66         | 0,01        | 3,54        | 1,71        | 10,89              | 904,57         | 1124,69          | 0,08              | 21,37       | 11,16       |
| Pedra britada     | 1.283,04          | --               | 16,35            | 0,95        | --          | 0,02        | 90,49              | --             | 1,15             | 0,68              | --          | 0,01        |
| Poliéster         | --                | --               | 2.188,80         | --          | --          | 2,99        | --                 | --             | 58,29            | --                | --          | 0,58        |
| Substrato         | --                | --               | 9.057,28         | --          | --          | 12,37       | --                 | --             | 3776,46          | --                | --          | 37,49       |
| Tinta             | 1.171,32          | 754,74           | --               | 0,86        | 2,66        | --          | 86,22              | 55,56          | --               | 0,64              | 1,31        | --          |
| <b>Totais</b>     | <b>135.512,87</b> | <b>28.390,06</b> | <b>73.207,80</b> | <b>100%</b> | <b>100%</b> | <b>100%</b> | <b>13.372,95</b>   | <b>4233,29</b> | <b>10.074,53</b> | <b>100%</b>       | <b>100%</b> | <b>100%</b> |

Quadro 9 – Valores de emissão de CO<sub>2</sub> nos principais materiais dos sistemas 2, 3 e 6

Fonte: Lopes (2014)

Primeiramente será analisado o sistema 2 que é a laje pré-moldada com sombreamento, como mostra o Quadro 9 o material com maior impacto com energia embutida é a impermeabilização. E em relação ao consumo de energia os materiais com maior percentual de emissão são o cal e impermeabilização.

O sistema 3 consta no telhado com estrutura de madeira, coberta com cerâmica e forro de madeira, e nesse caso o material com maior energia embutida consumida foi justamente as telhas, isso se dá principalmente ao processo de produção das telhas de cerâmica, que queimam grande porte de combustíveis fósseis. E no quesito emissão de CO<sub>2</sub> a cal foi a maior emissora, seguido das telhas de cerâmicas e da madeira tratada.

O último sistema analisado é o sistema 6, telhado verde venacular, tem a impermeabilização como maior gasto de energia embutida, com mais de 60% da energia de todo o sistema. E o substrato com mais de um terço da emissão de CO<sub>2</sub>.

Os altos números com gasto de emissão de CO<sub>2</sub> com o cal é visto a partir da queima de grandes quantidades de combustíveis fósseis na produção dos sistemas de telhados convencionais, e em relação a isso o meio ambiente só tem a ganhar com a implantação de novos telhado verdes.

E o sistema vernacular se sobressai dos demais telhados verdes no quesito de energia embutida devido a menor utilização de materiais derivados dos plástico. Mas no geral o telhado com telhado de cerâmica e forro em madeira foi o melhor dos telhados analisados sobre o ponto de vista de emissão de CO<sub>2</sub> e energia embutida, por não usar maior com alto índices de EE e CO<sub>2</sub> como impermeabilização e o substrato.

E a sociedade ganha com a melhoria do ar circulante nas cidades, já que o telhado

verde emite menos CO<sub>2</sub> dos que a maioria dos telhados convencionais. E com a utilização dos telhados verdes principalmente é sanada o problema das enchentes, além de outros benefícios com a economia de energia e os isolamentos térmicos e acústicos.

## 5 | CONCLUSÃO

Nesta pesquisa teve como objetivo informar a viabilidade e a absorção de água de um ponto de vista sustentável da tecnologia do telhado verde. Para isso obteve-se a comparação entre diversos telhados convencionais e telhados verdes, com a apresentação de quadros e imagens para a exemplificação e explicação do tema.

Um das necessidades dessa pesquisa era a ocorrência de enchentes nas grandes cidades por causa da grande volume de água escoada e não absorvida pelo sistema de bueiros e esgotos, assim uma das soluções abordadas nessa pesquisa é a utilização de telhados verde, que ainda são pouco divulgados e conhecidos pela população, e tem uma grande capacidade de ajudar no combate a enchentes.

Tais informações servem de base para pesquisas acadêmicas, pois já são um compilado de informações sobre viabilidade, escoamento de água e números de emissão de CO<sub>2</sub> e energia embutida do telhado verde. E também pode ser usado para incremento do mesmo com futuras pesquisas sobre novas tecnologias sustentáveis para moradias, como estudos de outros tipos de telhados para comparação.

Ao final com os objetivos cumpridos as coberturas vegetais se mostraram vantajosas nos quesitos apresentados, exceto quanto à emissão de CO<sub>2</sub> e energia embutida que não é o mais vantajoso, mas não deixa de se apresentar como uma solução viável uma vez que supera vários outros telhados convencionais.

## REFERÊNCIAS

Baldessar, Silvia Maria Nogueira. **Telhado Verde e sua contribuição na redução da vazão da água pluvial escoada**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

Brasil, Matheus Paiva; Barreto, Felipe Ataíde. **Aspectos construtivos e ambientais de telhados verdes extensivos**. I Congresso Baiano de Engenharia Sanitária e Ambiental – I COBESA. Anais... Salvador, jun. 2010.

Catuzzo, Humberto. **Telhado Verde: impacto positivo na temperatura e umidade do ar. O caso da cidade de São Paulo**. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Universidade de São Paulo. São Paulo, 2013.

Coutinho, Arthur Paiva. et al. **Telhado verde: desempenho do sistema construtivo na redução do escoamento superficial**. Revista Ambiente Construído, Porto Alegre, v.13, n.1, p.161-174, jan./mar. 2013.

Lopes, Thais Vieira. et al. **Telhado verde, energia embutida e emissão de CO2: análise comparativa a coberturas tradicionais.** Pará, nov. 2014.

Mary, Wellington. Telhados verdes: **Ferramenta potencial para geração de renda em áreas de fragilidade social.** 9º Encontro Nacional de Ensino de Paisagismo em Escolas de Arquitetura e Urbanismo no Brasil – ENEPEA. Anais...Curitiba, 2008.

Oliveira, Eric Watson Netto de. **Telhados Verdes para a habitações de interesse social: retenção das águas pluviais e conforto térmico.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

Oliveira, Patrícia Lima de; Soares, Raquel Gomes; Santos, Silvio Xavier. **Desempenho térmico das edificações: estudo comparativo entre o telhado verde e outros tipos de coberturas.** Revista Petra. v.2, n.1, p.36-55, jan./jul. 2016.

Savi, Adriane Cordoni. **Telhado Verde: análise comparativa de custo com sistemas tradicionais de cobertura.** (Monografia em Especialista em Construções Sustentáveis) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.