

UFPA

PPGEC

Universidade Federal do
Pará



EDKEYSE DIAS GONÇALVES

HIDROLOGIA E CUSTOS DE TELHADOS VERDES
EXTENSIVOS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Instituto de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Dissertação orientada pelo Professor Claudio José Cavalcante Blanco

Belém – Pará – Brasil

2018

EDKEYSE DIAS GONÇALVES

HIDROLOGIA E CUSTOS DE TELHADOS VERDES EXTENSIVOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará.

Linha de Pesquisa: Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

Orientador: Prof. Claudio José Cavalcante Blanco, Ph.D.

BELÉM/PA

2018

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Biblioteca do Instituto de Tecnologia / UFPA – Belém-PA**

G635h Gonçalves, Edkeyse Dias
 Hidrologia e custos de telhados verdes
 extensivos/ Edkeyse Dias Gonçalves. — 2018.
 Orientador: Cláudio José Cavalcante Blanco
 Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do
 Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-
 Graduação em Engenharia Civil, Belém, 2018.
 1. Telhados- Projetos e construção 2.
 Arquitetura sustentável 3. Águas pluvias. I. Título.

CDD 23. ed. – 690.15

Elaborado por Maria Ivone Maia da Costa – CRB-2/768



HIDROLOGIA E CUSTOS DE TELHADOS VERDES EXTENSIVOS

AUTORA:

EDKEYSE DIAS GONÇALVES

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À BANCA
EXAMINADORA APROVADA PELO COLEGIADO DO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA CIVIL DO INSTITUTO DE
TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO
PARÁ, COMO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO
GRAU DE MESTRA EM ENGENHARIA CIVIL NA
ÁREA DE RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO
AMBIENTAL.

APROVADO EM: 30 / 11 / 2018.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Claudio José Cavalcante Blanco, Ph.D.
Orientador (UFPA)

Prof. Dr. José Francisco de Oliveira Júnior
Membro Externo (UFAL)

Prof. Dr. Nélio Moura de Figueiredo
Membro Externo (UFPA)

Prof. Dr. Francisco Carlos Lira Pessoa
Membro Interno (UFPA)

Visto:

Prof. Dr. Dênio Ramam Carvalho de Oliveira
Coordenador do PPGEC / ITEC / UFPA

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Pará, que abriu as portas para a realização deste curso de Pós-Graduação.

Ao corpo docente, que são os maiores responsáveis por eu estar concluindo esta etapa da minha vida, por tantos conhecimentos compartilhados.

Agradeço ao meu professor orientador, Dr. Claudio José Cavalcante Blanco, pelo compartilhamento de sua expressiva sabedoria na arte de ensinar, pela disponibilidade de tempo, correções e incentivo, essencial para a minha formação.

À professora Vanessa da Rosa Watrin pela orientação e incentivo em todos os processos deste trabalho.

Agradeço ao Frank Baima aos ensinamentos de Meteorologia.

À minha família pelo seu amor, seu carinho incomparável e por sempre terem acreditado em mim.

Ao meu esposo, Wildiney Campos Rodrigues, pelas orações em meu favor, pelo amor, apoio contínuo em minhas decisões e luta constante para o meu progresso.

Aos meus colegas de turma, em especial aos meus companheiros mais próximos Vanessa da Rosa Watrin, Raisa Cardoso, Raisa Neves e Yapur Dumit Gomez pelos momentos preciosos durante esses dois anos de curso de mestrado, por compartilharem comigo todos os momentos mais importantes desta trajetória, pelos momentos de descontração, risadas e muito aprendizado.

A todos, que mesmo não estando citados aqui, contribuíram para a conclusão deste trabalho.

Por fim, e certamente o mais importante, à Deus pelo seu amor incondicional, seu cuidado e por tantas bênçãos até aqui. *“Eu sou o caminho, a verdade e a vida. Ninguém vem ao Pai, a não ser por mim.”* João 14:6.

RESUMO

A impermeabilização do solo proveniente da urbanização interfere diretamente no ciclo hidrológico, pois o cenário antes coberto pela vegetação dá espaço ao cenário impermeabilizado do asfalto e do concreto. O que provoca uma redução na infiltração da água precipitada, acarretando o aumento do escoamento superficial e, em consequência, inundações. Portanto, o objetivo principal deste trabalho foi comparar o desempenho hidrológico e os custos de telhados verdes do tipo comercial e de material reutilizado com sistemas de drenagem distintos. Com base nos resultados obtidos, os telhados verdes tipo I e II mostraram melhor desempenho quanto ao retardo do escoamento superficial em relação ao telhado convencional. Porém, ficou evidente que o telhado verde Tipo I apresentou melhor capacidade de absorção de água da chuva que o telhado verde Tipo II. Dessa forma, a diferença na capacidade de retenção entre os telhados verdes está diretamente relacionada com a estrutura drenante adotada em cada telhado verde extensivo. Ressalta-se também que a redução da vazão de pico de cheia dos telhados variou de 80,18 a 85,94% (TV II e TV I) comparados ao telhado convencional. Além do melhor desempenho do telhado verde tipo I na capacidade de absorção de água da chuva, este também apresentou menor custo de instalação comparado ao TV II. Nesse contexto, é possível afirmar que o telhado verde pode contribuir significativamente para a redução da vazão de pico de cheias no ambiente urbano amazônico, e que o uso de materiais recicláveis na construção de telhados verdes mostra-se uma alternativa viável tanto ambientalmente como economicamente.

Palavras-chave: Telhado Verde, Capacidade de absorção de água da chuva, Redução da Vazão de Pico.

ABSTRACT

The waterproofing of the soil coming from the urbanization interferes directly in the hydrological cycle, since the scenario previously covered by the vegetation gives space to the waterproofed scenery of the asphalt and the concrete. This causes a reduction in the infiltration of the precipitated water, causing an increase in surface runoff and, consequently, flooding. Therefore, the main objective of this work was to compare the hydrological performance and costs of green commercial roofs and reused material with different drainage systems. Based on the results obtained, the green roofs type I and II showed better performance regarding the delay of the surface runoff compared to the conventional roof. However, it was evident that the Type I green roof presented better rainwater absorption capacity than the Type II green roof. Thus, the difference in retention capacity between green roofs is directly related to the drainage structure adopted in each extensive green roof. It is also worth mentioning that the reduction of the peak flood rate of the roofs ranged from 80.18 to 85.94% (TV II and TV I) compared to the conventional roof. In addition to the better performance of the green roof type I in the rainwater absorption capacity, this also presented lower installation cost compared to TV II. In this context, it is possible to affirm that the green roof can contribute significantly to the reduction of peak flood flows in the Amazonian urban environment, and that the use of recyclable materials in the construction of green roofs proves to be a viable alternative both environmentally and economically.

Keywords: Green Roof, Rainwater absorption capacity, Peak Flow Reduction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Componentes do Ciclo hidrológico.....	14
Figura 2: Tipos de cobertura.....	16
Figura 3: Estrutura da armação do telhado.....	16
Figura 4: Calhas em telhados.....	17
Figura 5: Tipos de aspectos construtivos para telhados verdes.....	18
Figura 6: Telhado verde em camadas.....	20
Figura 7: Localização do Telhado Verde Experimental.....	31
Figura 8: Chuva média mensal com relação a normal climatológica para o ano de 2017.....	32
Figura 9: Desenho Esquemático do Telhado Verde Experimental.....	Erro! Indicador não definido.
Figura 10: Manta impermeabilizante asfáltica.....	34
Figura 11: Camada de drenagem reutilizada de PET.....	35
Figura 12: Camada filtrante manta geotêxtil.....	35
Figura 13: Camada de Substrato Flores & Folhagens.....	36
Figura 14: Camada de drenagem alveolar leve.....	37
Figura 15: Montagem do telhado verde tipo II.....	37
Figura 16: Camada com grama Esmeralda.....	38
Figura 17: Vista frontal dos três modelos de telhados com monitoramento por câmeras.....	39
Figura 18: Fluxograma da pesquisa.....	41
Figura 19: Hidrogramas dos oito eventos de chuva nos TV I, TV II e TC.....	42
Figura 20: Taxa Percentual da Retenção em cada TV.....	47
Figura 21: Vazões de Pico dos telhados verdes em função dos eventos analisados.....	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características quanto ao tipo de telhado verde.	19
Tabela 2: Características quanto ao tipo de vegetal em coberturas verdes.	23
Tabela 3: Valores de CN para áreas urbanas.	44
Tabela 4: Relação da AMC e do volume precipitado com a retenção.	46
Tabela 5: Resultado estatístico aplicado as vazões de pico monitoradas em cada Telhado Verde e Convencional.	49
Tabela 6: Sistemas meteorológicos atuantes nos 8 eventos de chuva monitorados	50
Tabela 7: Custo total de Instalação.....	51

LISTA DE SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACV - Avaliação do Ciclo de Vida

CBCS - Conselho Brasileiro de Construção Sustentável

CO₂ - Dióxido de carbono

GEDAE - Grupo de Estudos e Alternativas Energéticas

IGRA - International Green Roof Association

IPTU - Imposto Predial e Territorial Urbano

LID - Low Impact Development

ONU - Organização das Nações Unidas

PET - Polietileno Tereftalato

PVC - Perfil de Policloreto de Vinila

PEAD - Polietileno de Alta Densidade

TV - Telhado Verde

UV - UltraVioleta

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1. OBJETIVOS	13
1.1.1. Geral.....	13
1.1.2. Específicos.....	13
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	14
2.1. CICLO HIDROLÓGICO.....	14
2.1.1. Ciclo hidrológico no meio urbano	15
2.2. TELHADO CONVENCIONAL.....	15
2.3. TELHADO VERDE	17
2.3.1. Características e benefícios do telhado verde	17
2.4. TIPOS DE TELHADO VERDE	18
2.5. COMPOSIÇÃO GERAL DO TELHADO VERDE	19
2.6. CAMADA DE VEGETAÇÃO	20
2.6.1. Tipos de plantas cultivadas em telhados verdes e suas características..	21
2.7. CAMADA DE SUBSTRATO	25
2.8. CAMADA FILTRANTE.....	26
2.9. CAMADA DE DRENAGEM.....	26
2.10. CAMADA DE IMPERMEABILIZAÇÃO.....	26
2.11. EXPERIÊNCIAS COM TELHADOS VERDES.....	27
2.12. POLÍTICAS PÚBLICAS PARA TELHADOS VERDES.....	29
3. MATERIAL E MÉTODOS	31
3.1. LOCALIZAÇÃO DO TELHADO VERDE EXPERIMENTAL.....	31
3.2. CONSTRUÇÃO DO TELHADO VERDE EXPERIMENTAL	33
3.3. TELHADO VERDE TIPO I	34
3.3.1. Camada de impermeabilização.....	34
3.3.2. Camada de drenagem	34
3.3.3. Camada de filtrante	35
3.3.4. Camada de substrato.....	35
3.4. TELHADO VERDE TIPO II.....	36
3.4.1. Vegetação Utilizada para os Telhados Verdes tipo I e II.....	38

3.5. CAPACIDADE MÁXIMA DO TELHADO VERDE EM ARMAZENAR ÁGUA.	39
3.6. MONITORAMENTO	40
3.7. ANÁLISE DOS DADOS MONITORADOS	41
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
4.1. DESEMPENHO HIDROLÓGICO DOS TELHADOS VERDES.....	42
4.2. SISTEMAS METEOROLÓGICOS ATUANTES EM EVENTO DE CHUVA COLETADOS NO PERÍODO DE 20/09/2017 À 03/11/2017.....	49
4.3. CUSTO DOS TELHADOS VERDES	51
5. CONCLUSÃO.....	53
6. REFERÊNCIAS	54

1. INTRODUÇÃO

Os processos de industrialização e urbanização têm provocado diversas alterações sobre o ambiente natural. Os espaços outrora cobertos pela vegetação abrem lugar a cenários impermeabilizados por asfalto e concreto. Esta drástica mudança compromete diretamente a qualidade de vida das pessoas nas cidades, deixando o ambiente urbano propício a enchentes entre outros problemas ambientais, como por exemplo: poluição visual, poluição do ar, poluição das águas e a intensificação do aumento de temperatura urbana com as “ilhas de calor” (FRANÇA, 2012).

A impermeabilização proveniente da urbanização desordenada interfere diretamente no ciclo hidrológico, com isso modifica o comportamento do escoamento superficial direto, da infiltração de água no solo e o desabastecimento das águas subterrâneas, além de diminuir a evapotranspiração (GONÇALVES et al., 2009). De acordo com Justino et al. (2011), o acréscimo de 54% de área impermeável pode provocar um aumento na vazão de pico em até 59,40%. Tal fato justifica o aumento da ocorrência de inundações em centros urbanos, sendo necessário o uso de medidas e alternativas sustentáveis que ajudem a minimizar o impacto ambiental causado pela impermeabilização urbana.

A cidade de Belém, área de estudo desta pesquisa, protagonizou forte crescimento populacional desde a década de 1960, o que ocasionou a construção de um espaço urbano impermeabilizado e desordenado, modificando o ciclo hidrológico urbano da cidade. Segundo Tavares (2009), Belém não tem um sistema de drenagem eficiente, o que intensifica os alagamentos durante os eventos de chuva extremos, os quais associados à maré alta causam grandes prejuízos aos moradores, conforme Pinheiro (1987).

Diante desses problemas provocados pela urbanização, uma nova abordagem de proteção ao ambiente urbano levanta a ideia do Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto ou *Low Impact Development* – LID, tendo como princípio a conservação e preservação da cobertura vegetal urbana e a execução de projetos de engenharia que respeitem as peculiaridades locais naturais, assegurando a conservação qualitativa e quantitativa de processos hidrológicos (SOUZA; CRUZ; TUCCI, 2012). Assim, o mecanismo LID destaca como dispositivos de controle de águas pluviais a construção de cisternas, pavimentos permeáveis e telhados verdes (TVs). Karteris et al. (2016), Razzaghmanesh, Beecham e Salemi (2016), Huang, Chen e Tsai (2016) destacam entre os sistemas disponíveis no campo da construção civil sustentável e bioclimática, o Telhado Verde (TV), e o apresentam como

uma técnica de controle do escoamento superficial e isolamento térmico, com o objetivo de reduzir as ilhas de calor urbano.

É importante que os telhados verdes sejam introduzidos na indústria da construção civil como uma abordagem ecológica para o ambiente construído sustentável, mas o alto investimento inicial com estruturas verdes ainda limita o seu uso em grandes centros urbanos de diversos locais do mundo (BERARDI; HOSEINI; HOSEINI, 2014). Segundo Bianchini e Hewage (2012), uma boa opção para reduzir o custo de instalação de um telhado verde é a reutilização e reciclagem de materiais de polietileno no mercado da construção civil sustentável, o que ajudaria a reduzir os custos e o peso total do telhado, bem como melhorar o desempenho das camadas sem comprometer os benefícios dos telhados verdes.

Vila et al. (2011), Pérez et al. (2012), Rincón et al. (2014), Chenani, Lehvävirta e Häkkinen (2015) destacam a necessidade de avaliar o impacto ambiental dos materiais no processo de construção de um telhado verde, tendo em vista que dentro do ciclo de vida de um material deve-se levar em consideração a quantidade de matéria prima utilizada, o transporte, o processo de produção e a energia empregada neste processo.

Assim, foram testados dois tipos de telhados verdes em clima amazônico, os quais permitiu avaliar o desempenho hidrológico para a redução de cheias e custos. Dessa forma, o objetivo do trabalho é comparar dois telhados verdes. O primeiro constituído por estrutura drenante em Polietileno Tereftalato (PET) reutilizado; e o segundo com valor comercial já agregado, com estrutura drenante em polietileno não reutilizado. Os dois telhados têm substrato de grama esmeralda com base em telha de fibrocimento, sendo, por esse motivo, necessário utilizar um telhado “nu” de fibrocimento para controle do experimento.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Geral

Comparar o desempenho hidrológico e os custos de telhados verdes do tipo comercial e de material reutilizado com sistemas de drenagem distintos em eventos de chuva extrema.

1.1.2. Específicos

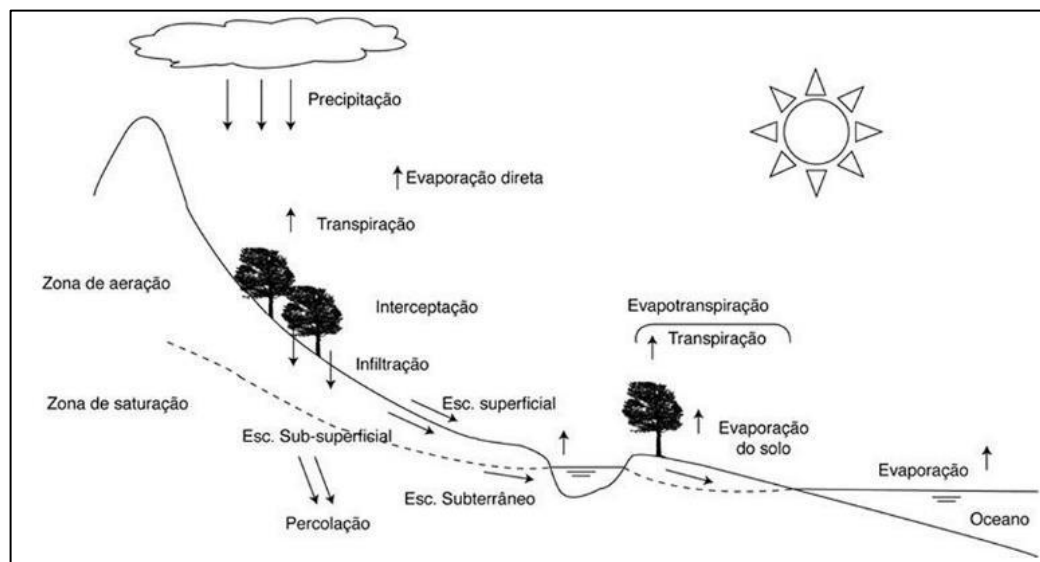
- Adaptar à estrutura drenante de um dos telhados verdes a reutilização de materiais recicláveis;
- Determinar o hidrograma de projeto para os telhados a fim de comparar a redução de vazão com o pico de cheia;
- Comparar se o telhado fabricado com material reutilizado possui uma relação custo-benefício aceitável em relação ao telhado comercial.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. CICLO HIDROLÓGICO

A circulação e a distribuição de água sobre a superfície terrestre, subsolo, atmosfera e oceanos são conhecidas como ciclo hidrológico. Os principais componentes do ciclo hidrológico (Figura 1) podem ser evidenciados pela evaporação, precipitação, interceptação, infiltração, escoamento superficial e escoamento subterrâneo, de acordo Capaz e Nogueira (2014).

Figura 1: Componentes do Ciclo hidrológico



Fonte: Capaz e Nogueira (2014).

Parte da água precipitada evapora antes de chegar ao nível do solo, e o que chega à superfície é interceptada pela vegetação e por espaços impermeáveis. A água precipitada que chega ao solo é infiltrada totalmente até que a capacidade de infiltração se torne menor que a taxa de precipitação. A partir deste momento, forma-se o escoamento superficial, criando cursos d'água por onde a água será conduzida aos lagos e oceanos. A parcela que se infiltrou no subsolo gera o escoamento subterrâneo, alimentando os corpos d'água e abastecendo os aquíferos. Por meio de plantas e animais ocorre a transpiração, que somada à evaporação direta do solo formam a evapotranspiração. A evaporação é completada com as águas da superfície líquida, abastecendo a atmosfera com vapor de água e fechando assim o ciclo hidrológico (CAPAZ; NOGUEIRA, 2014).

2.1.1. Ciclo hidrológico no meio urbano

A urbanização substitui paisagens naturais por ambientes construídos, modificando as características hidrológicas com o aumento da temperatura e do escoamento superficial, além da poluição do ar, visual e sonora. No âmbito hidrológico, a substituição dos ambientes naturais por edificações, pavimentação de ruas e calçadas modifica a permeabilidade das áreas naturais. Essa ausência da cobertura vegetal provoca aumento do impacto das gotas de chuva sobre o solo, acelerando o escoamento superficial e com isso carrega as partículas de solo para corpos de água receptores, segundo Costa et al. (2012).

O meio urbano impermeabilizado sofre maiores impactos quando as chuvas de maiores intensidades aumentam o volume de água, com isso provoca acelerado escoamento e saturando o sistema de drenagem urbana. Assim, o sistema saturado colabora para grandes prejuízos, tais como o processo de erosão do solo e inundações (ARAÚJO et al., 2008).

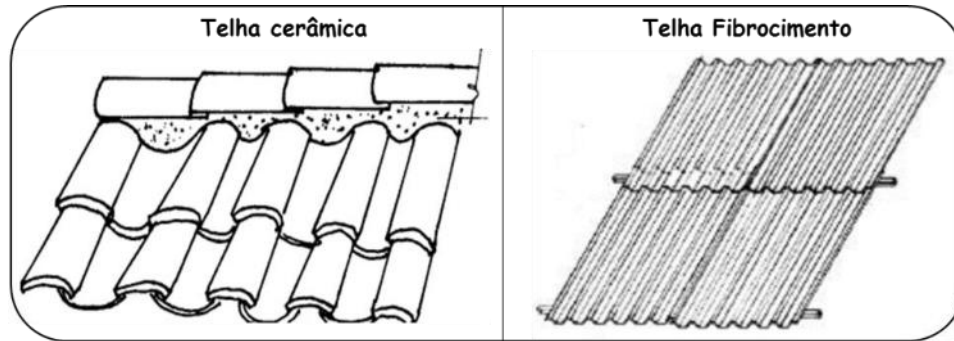
Reis et al. (2012) verificaram que em locais com maior concavidade, inclinação e impermeabilização, o escoamento superficial aumenta, conseqüentemente resulta na maior frequência de inundações. Portanto, para que ocorra a inundação, é preciso que fatores naturais e antrópicos estejam combinados com as formas de relevo, com as características da rede de drenagem da bacia, intensidade, quantidade, distribuição e frequência das chuvas, além das características do solo e do teor de umidade.

O telhado verde é uma tecnologia que possibilita a minimização dos impactos causados por chuvas intensas em locais desprovidos de vegetação, aumentando o chamado tempo de concentração, reduzindo as vazões máximas e o efeito de pico do hidrograma, ou seja, diminuindo sensivelmente o escoamento superficial das águas pluviais no meio urbano (CRUCIANI et al., 2002; BEIJO et al., 2003; COSTA et al., 2012; MARTINS, 2012; BACOVIS, NAGALLI, 2013).

2.2. TELHADO CONVENCIONAL

O telhado convencional é geralmente composto por uma cobertura, estrutura e condutores. Sua cobertura é geralmente composta de telhas do tipo cerâmicas e fibrocimento (Figura 2). No Brasil o telhado convencional é extensamente utilizado devido ao seu baixo custo, fácil aplicação e maior durabilidade (REIS; CARVALHO, 2012).

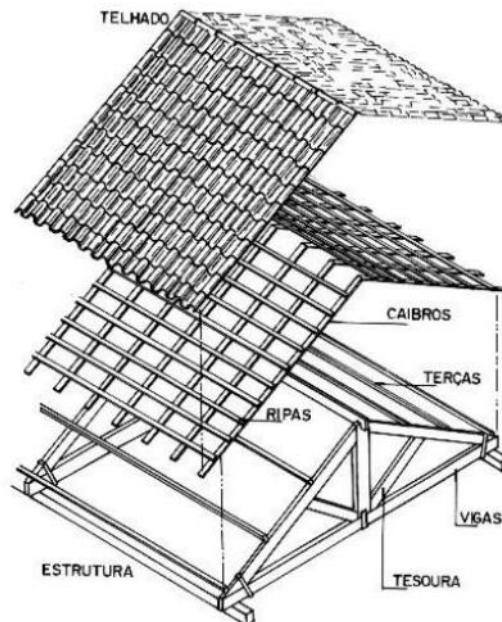
Figura 2: Tipos de cobertura



Fonte: Adaptado de (MILITO, 2004)

A estrutura ou armação é constituída pelas peças que recebem as telhas (cerâmicas ou fibrocimento), ou seja, é o elemento de apoio da cobertura, tal estrutura em sua maioria pode ser de madeira ou metálica. Constituem-se a estrutura principal as tesouras e vigas, em seguida a estrutura secundária é constituída por ripas, caibros e terças (Figura 3) (LOGSDON, 2002).

Figura 3: Estrutura da armação do telhado.

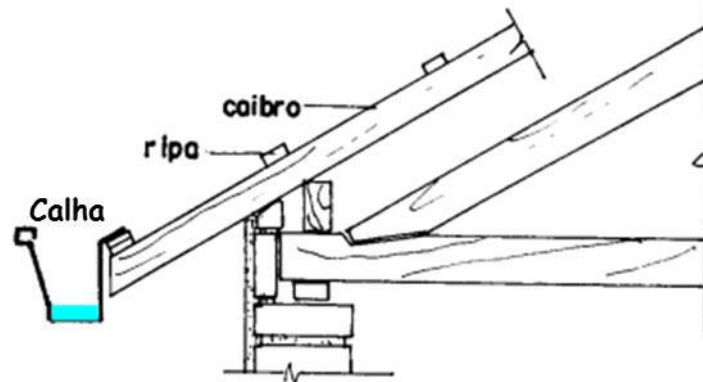


Fonte: Rodrigues (2006).

Os condutores, conhecidos como calhas (Figura 4), têm como principal função coletar a água da chuva que cai sobre o telhado e segue pelos condutores verticais e horizontais. Tratam-se de um elemento integrante do sistema de captação de águas pluviais e devem ser

dimensionadas de acordo com área de contribuição do telhado e com regime de chuva de cada região para o cálculo da vazão máxima de projeto (BRISTOT, BACK, 2012; INÁCIO et al., 2013).

Figura 4: Calhas em telhados



Fonte: Adaptado de (MILITO, 2004).

2.3. TELHADO VERDE

2.3.1. Características e benefícios do telhado verde

A Alemanha já desenvolvia técnicas de construção em telhados verdes na década de 60, com a crise do petróleo na década de 70, houve o crescimento do discurso de desenvolvimento sustentável e com isso vários países como Áustria, Suíça, Estados Unidos, Noruega, Hungria, Suécia, Reino Unido e Itália passaram a adotar as coberturas verdes em suas construções para assegurar o bem-estar da sociedade e mitigar os problemas ambientais urbanos (RANGEL et al., 2015).

Essas coberturas verdes são métodos construtivos sustentáveis, os quais têm como característica principal o cultivo de plantas sobre edificações de telhados convencionais. No ambiente urbano, o telhado verde representa uma solução sustentável para minimizar os volumes de chuva-vazão entregues aos sistemas de esgotos (HAKIMDAVAR et al., 2014). O telhado verde também ajuda na redução da temperatura interna das edificações, reduz os efeitos das “ilhas de calor urbano” nos centros urbanos e absorve partículas degradadoras suspensas no ar (D’AVILA et al., 2010; JR et al., 2011; WHITTINGHILL et al., 2014; VIRK et al., 2015).

Outros benefícios que podem ser obtidos pelo uso de telhados verdes é o combate à poluição visual, eficiência energética dos edifícios e, com a vegetação no telhado, aumento da

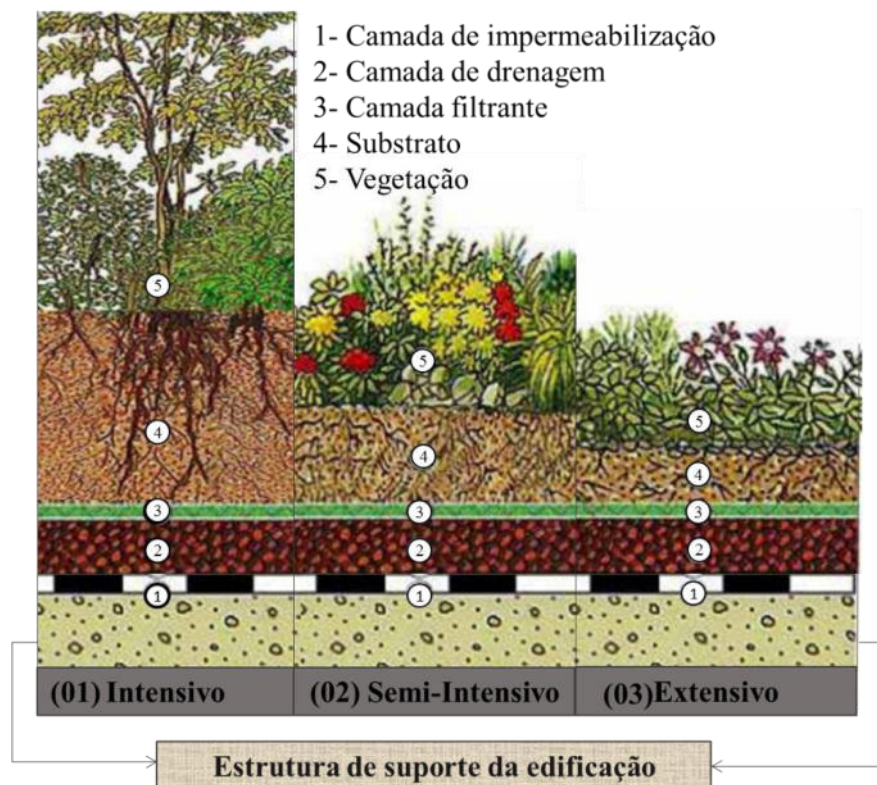
biodiversidade, além de maior embelezamento estético e valorização do imóvel (YOCCA, 2016; VIRK et al., 2015).

Apesar dos múltiplos benefícios apresentados pelo telhado verde é possível verificar também algumas desvantagens, como por exemplo: a necessidade de manutenção para deixar a estrutura saudável e com boa aparência. Assim como a necessidade de mão de obra especializada e alto investimento inicial na construção do mesmo, os quais são fatores que tornam a implantação de telhados verde economicamente inviável em curto prazo. Ainda assim, apesar dessas desvantagens, a relação custo-benefício é compensatória a longo prazo, conforme afirmam Clark et al. (2008) e Chan e Chow (2013).

2.4. TIPOS DE TELHADO VERDE

Para uma melhor compreensão das características de um telhado verde foram consultados estudos realizados por IGRA (2016), Tassi et al. (2014), Moruzzi et al. (2014), Reda et al. (2012), Santos et al. (2013) e Bacovis e Nagalli (2013), que descrevem os telhados verdes em três tipos de estruturas: (01) os intensivos, (02) semi-intensivos e (03) extensivos como mostrado na Figura 5.

Figura 5: Tipos de aspectos construtivos para telhados verdes.



Fonte: Adaptado de (MCINTYRE; SNODGRASS, 2010)

Segundo IGRA (2016), Tassi et al. (2014), Moruzzi et al. (2014), Reda et al. (2012), Santos et al. (2013) e Bacovis e Nagalli (2013), os telhados verdes diferem em virtude do tipo de vegetação, espessura do substrato e periodicidade de manutenção.

Os telhados “intensivos” são chamados dessa maneira por necessidades intensas de manutenção devido fertilizantes e irrigação, apresentam estrutura pesada devido à espessura do substrato, suportam maior diversidade de espécies vegetais, abriga plantas de médio e grande porte, possuem maior custo de implantação, possibilidade de simular ambientes naturais e serem visualmente mais atrativos.

Quanto ao telhado Semi-intensivo, este tem características compreendidas entre os telhados intensivo e extensivo. Comparado com o tipo extensivo, possui custo mais elevado, manutenção periódica, estrutura de maior peso e possui um substrato mais espesso que o extensivo (Tabela 1). O tipo de cultivo, em comparação ao tipo extensivo, abriga maior diversidade de plantas como: gramíneas, pequenos arbustos e plantas herbáceas.

Os extensivos são telhados com estruturas leves, os quais precisam de pouca ou nenhuma manutenção, ou seja, são autossustentáveis, comportam plantas resistentes a situações climáticas severas e tem baixa profundidade de substrato (Tabela 1). São mais acessíveis devido aos seus custos mais baixos, sua estrutura pode ser leve mesmo quando saturado, assim como há possibilidade de aplicação em coberturas inclinadas e pouca necessidade de conhecimento técnico por parte do operador.

Tabela 1: Características quanto ao tipo de telhado verde.

	Telhado verde extensivo	Telhado verde Semi-intensivo	Telhado verde intensivo
Manutenção	Baixa	Média	Alta
Irrigação	Sem irrigação	Periódica	Regular
Tipos de plantas	Musgos, herbáceas e Gramíneas	Gramíneas-herbáceas e arbustos	Árvores, arbustos e canteiros
Profundidade do Substrato	6 – 20 cm	12 – 25 cm	15 – 40 cm
Peso Específico	60 - 150 kg/m ²	120 - 200 kg/m ²	180 - 500 kg/m ²
Custo	Baixo	Médio	Alto

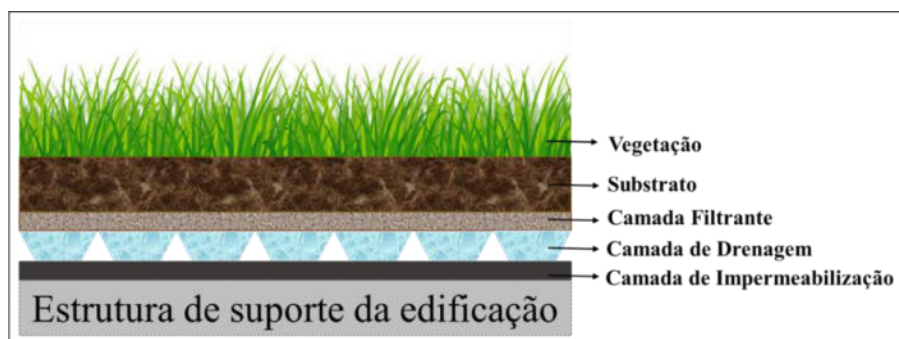
Fonte: (IGRA, 2016)

2.5. COMPOSIÇÃO GERAL DO TELHADO VERDE

O telhado verde é dividido em cinco camadas (Figura 6): camada de cobertura vegetal; camada de substrato, que retém parte da água pluvial, onde as plantas são fixadas; camada

filtrante, a qual tem a função de filtrar a água que passa do substrato para a camada de drenagem; camada de drenagem, que retém parte da água da chuva no sistema; e por fim, a camada de impermeabilização, que evita que qualquer tipo de infiltração passe para o interior das edificações (CASTRO, GOLDENFUM, 2010; CARBONE et al., 2014).

Figura 6: Telhado verde em camadas.



2.6. CAMADA DE VEGETAÇÃO

O sucesso na eficiência e o melhor desempenho ambiental dos telhados verdes dependem de uma boa seleção de espécies vegetais. Dentro dos critérios de seleção, a camada vegetal do telhado verde precisa sobreviver às condições climáticas locais e, além disso, a espessura do substrato e sua boa capacidade em armazenar e reter a água na camada de drenagem são de fundamental importância para a sobrevivência de espécies vegetais (MINKE, 2004; LOCATELLI et al., 2014).

O estudo realizado por Jimenez et al. (2014) em telhados verdes extensivos e semi-intensivos na cidade do México, mostram que o tipo de vegetação a ser adotada deve seguir alguns critérios, tal qual a capacidade de sobrevivência da espécie vegetal, como é o caso das plantas suculentas, que se mostraram mais aptas a sobreviver em telhados verdes. Por exemplo, a espécie de planta *Sedum* (*Sedum spathifolium*, *Sedum ternatum*, e *Sedum oreganum*), tem sido extensamente utilizada nos Estados Unidos e Canadá. A escolha dessas espécies em telhados verdes extensivos está gradativamente se incorporando por serem plantas extremamente resistentes e por formarem raízes relativamente rasas com grande capacidade de armazenar água e suportar com sucesso climas de frio e calor extremo (MACIVOR; LUNDHOLM, 2011).

No Mediterrâneo, em regiões de clima temperado, duas espécies de plantas foram estudadas: *S. vulgaris* e *L. ovatus*. A herbácea *S. vulgaris* atinge de 10 a 100 cm de altura,

suas partes aéreas sofrem murchamento ao final do verão. Já a *L. ovatus* é um grama perene, atingindo de 8 a 80 cm de altura. São espécies com grande potencial em sequestro de Carbono e Nitrogênio no sistema substrato-planta, bem como possuem maior eficiência no processo de evapotranspiração (MECHELEN, DUTOIT, HERMY, 2014; ONDOÑO, MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, MORENO, 2016).

No Brasil Laar et al. (2001) identificaram seis espécies de plantas tropicais que melhor se adaptaram na construção de telhados verdes extensivos em cidades de clima tropical, a saber: *Pilea microphylla*, *Pedilanthus tithymaloides*, *Portulaca grandiflora*, *Tradescantia pallida*, *Liriope muscar* e *Tradescantia spathacea*. Na análise, os autores tomaram como critérios os seguintes aspectos: alta resistência às condições climáticas locais, tamanho e desenvolvimento das raízes, tempo de crescimento vegetal e plantas com grande superfície foliar, visando melhorar a retenção de água, viabilizando maior sombreamento do substrato, logo, diminuindo a temperatura do ambiente através da evapotranspiração e o impacto das chuvas intensas, protegendo o substrato contra a erosão.

No município de Itirapina, no estado de São Paulo, Beatrice e Vecchia (2011) cultivaram três espécies de plantas *Paspalum notatum* Flüggé (grama-batatais), *Arachis repens* Handro (grama-amendoim) e *Ophiopogon japonicus* Ker Gawl (grama-preta), sob três tratamentos de profundidades de substrato, 0,050; 0,075 e 0,100 m. As espécies cultivadas em solos de 0,100 m apresentaram resultados satisfatórios quanto à cobertura do solo, crescimento vertical e sobrevivência. A espécie *Arachis repens* Handro (grama-amendoim) foi a que apresentou maior sensibilidade à profundidade e ao estresse hídrico durante outono e inverno, já o crescimento vertical foi satisfatório para todas as espécies analisadas, a menor altura alcançada foi da espécie *Ophiopogon japonicus* Ker Gawl (grama-preta).

Na Amazônia, no Parque de Ciência e Tecnologia do Guamá, Campus Universitário da Universidade Federal do Pará, foi implantado um telhado do tipo extensivo. O sistema recebeu substrato orgânico em módulos com dimensões 0,70 x 0,35 x 0,09 cm (comprimento, largura e altura) e tapetes de grama esmeralda (*Zoysia japonica* Steud), propícia ao clima de Belém-PA. Esta espécie foi favorecida pela alta umidade relativa do ar, e mesmo nos meses de baixo índice pluviométrico a grama esmeralda apresentou excelente resistência ao clima e boa capacidade de regeneração (MARINHO, 2013).

2.6.1. Tipos de plantas cultivadas em telhados verdes e suas características

A Grama São Carlos (*Axonopus compressus*), pertencente à família *Poaceae*, é uma planta herbácea com hábito de crescimento horizontal e sua taxa de crescimento varia de

acordo com a temperatura. Quanto maior a temperatura, maior será seu crescimento e, consequentemente, maior a necessidade de corte (COSTA et al., 2010).

Outra espécie muito utilizada em coberturas verdes são as gramas Batatais (*Paspalum notatum* Flüggé), que é uma planta herbácea perene pertencente à família *Poaceae* (*Gramineaceae*), a qual cresce por rizomas laterais subsuperficiais, possui folhas largas e extremamente pilosas. Apresenta coloração entre o verde claro e médio, sendo uma espécie adaptada a solos de baixa fertilidade, exigindo cortes frequentes devido ao seu rápido crescimento no verão, além de boa resistência ao pisoteio e ao déficit hídrico, sendo uma grama com sistema radicular de 15 cm, mostrando boa capacidade de recuperar e conservar solos degradados (FREITAS et al., 2002; COSTA et al., 2010; PEREIRA, 2008; PERUCHI, 2009; BEATRICE, VECCHIA, 2011; BRANCO et al., 2012).

A Grama Esmeralda (*Zoysia japonica* Steud) (Tabela 2) possui um crescimento horizontal capaz de brotar e recobrir o solo. Suas folhas possuem textura fina e média (GURGEL, 2003). Quanto ao clima, apresenta boa tolerância à seca, além de resistência à salinidade e boa tolerância a pisoteios (DERNOEDEN, 1999).




Outra espécie vegetal também utilizada em telhados verdes é a grama Amendoim (*Arachis pintoi*), que é uma leguminosa forrageira, tendo boa adaptação em áreas de altas regiões de chuva. Uma característica de destaque dessa grama é a presença de suas flores amarelas durante a estação chuvosa, com isso o ambiente esteticamente mais agradável (FISHER, 1994, LIMA et al., 2003; LUDWIG et al., 2010).




Quanto a Grama Brilhantina (*Pilea microphylla*) é uma planta herbácea perene, cujo comprimento está compreendido entre 9 e 18 cm. Apresenta boa capacidade de adaptação em solos pobres, sua folhagem tem coloração verde-clara, de tamanhos pequenos, ramagem densa, não necessitando de poda e apresentando boa capacidade em armazenar água (LAAR et al., 2001; RODRIGUES et al., 2007; MOREIRA, 2011).

Por fim, a grama preta (*Ophiopogon japonicus*) é uma herbácea perene com folhas lineares finas e escuras, sendo sensível a pisoteios. O seu crescimento é limitado, logo não necessita de poda e é cultivada em solo fértil e bem drenado (LORENZI; SOUZA, 2008).

Na Tabela 2 são mostradas as características importantes para telhado verde das gramas supracitadas.

Tabela 2: Características quanto ao tipo de vegetal em coberturas verdes.

Espécie	Origem	Altura (cm)	Hábito	Ciclo de vida	Clima	Luminosidade	Fonte
Grama São Carlos (Axonopus compressus) 	Espécie nativa da América do Sul	15 a 30	Formação densa	Perene	Capacidade de se desenvolver em regiões tropicais de clima quente com temperaturas na faixa de 27 e 35 °C	Pleno sol e meia sombra	(COSTA et al., 2010)
Grama Batatais (Paspalum notatum Flügge) 	Espécie nativa do Brasil	15 a 30	Formação densa	Perene	Capacidade de se desenvolver em climas quente e temperado com temperaturas na faixa de 5 a 35 °C	Pleno sol	(FREITAS et al., 2002; COSTA et al., 2010; PEREIRA, 2008; PERUCHI, 2009; BEATRICE, 2011; BRANCO et al., 2012)
Grama Esmeralda (Zoysia japonica Steud) 	Espécie nativa do Japão	10 a 15	Formação densa	Perene	Capacidade de se desenvolver em regiões tropicais de clima quente com temperaturas na faixa de 27 e 35 °C	Pleno sol	(GURGEL, 2003; LORENZI; SOUZA, 2001; DERNOEDEN, 1999; KOJOROSKI-SILVA et al., 2011)

<p>Grama Amendoim (<i>Arachis pintoi</i>)</p> 	Espécie nativa do Brasil	20 a 50	Formação densa	Perene	Capacidade de se desenvolver em regiões de climas quente e úmido com temperaturas na faixa de 25 a 35 °C	Pleno sol e meia sombra	(FISHER, 1994, LIMA et al., 2003; LUDWIG et al., 2010)
<p>Grama Brilhantina (<i>Pilea microphylla</i>)</p> 	Espécie nativa da América Tropical (do Norte, Central e do Sul)	20 a 30	Formação densa	Perene	Capacidade de se desenvolver em regiões Equatoriais, Subtropicais e Tropicais e clima quente e úmido	Pleno sol e meia sombra	(RODRIGUES et al., 2007; MOREIRA, 2011; Laar et al., 2001).
<p>Grama Preta (<i>Ophiopogon japonicus</i>)</p> 	Nativa do Japão e China	20 a 30	Formação densa	Perene	Capacidade de se desenvolver em regiões tropicais de clima quente com temperaturas na faixa de 27 e 35 °C	Pleno sol e meia sombra	(LORENZI; SOUZA, 2008)

Fonte: Autor, (2017).

2.7. CAMADA DE SUBSTRATO

O substrato é constituído por uma camada de solo, que dá sustentação às raízes das plantas, além de ter papel fundamental na absorção e retenção de água durante os eventos de chuva. O substrato também fornece água e nutrientes necessários para a manutenção da estrutura vegetal (TASSI et al., 2014).

Esta camada do telhado verde constituída de três fases distintas: fase sólida, que garante a manutenção mecânica do sistema radicular e sua estabilidade; fase líquida, que garante o abastecimento de água e nutriente às plantas; e a fase gasosa, que garante a troca de oxigênio (O_2) e gás carbônico (CO_2) entre as raízes e a atmosfera, visando o crescimento saudável do vegetal. O substrato também funciona como uma camada filtrante de nitratos e de outras partículas poluentes presente na água da chuva, as quais podem ser arrastadas para o interior de rios e mares (LEMAIRE, 1995; NAGASE, DUNNETT, 2011).

Ao ser projetada, a camada de substrato deve apresentar alta capacidade de retenção de água e boas condições de condutividade. Quando o substrato se encontra perto do seu estado de saturação hídrica, torna-se incapaz de atenuar o escoamento. Outro aspecto relevante é a condutividade térmica do substrato, pois quanto maior a sua umidade menor será sua condutividade térmica, essa redução térmica pode ser melhorada ao incluir uma camada de vegetação densa. Dessa forma, o comportamento do telhado verde depende fortemente de suas propriedades hidráulicas e térmicas (SANDOVAL et al., 2015).

O composto do substrato pode ser obtido por aditivos orgânicos ou minerais como turfa, húmus, areia, serragem ou barro. Esses aditivos apresentam bom potencial para retardar o escoamento superficial da chuva, podem melhorar a estabilidade estrutural do substrato e aumentam a capacidade de troca catiônica, reduzindo a lixiviação dos elementos, como potássio, cálcio e magnésio (NAGASE, DUNNETT, 2011; VIJAYARAGHAVAN, JOSHI, 2015).

Outra característica importante do substrato é em relação a sua espessura ou profundidade, visto que os resultados analisados por Calil, Bernardi e Righes (2014) mostram que a relação entre chuva e escoamento superficial em telhados verdes é fortemente determinada pela profundidade da camada de substrato. Portanto, quanto mais profundo o substrato maior será sua capacidade em reter água e menor será o escoamento superficial.

2.8. CAMADA FILTRANTE

A camada filtrante encontra-se entre a camada de substrato e a camada de drenagem. É a camada responsável pela separação do substrato e pelo restante dos demais elementos adjacentes da cobertura verde. Ela impede o carregamento das partículas do solo/substrato como grãos de areia e silte, deixando passar apenas a água para o interior do elemento drenante, evitando a obstrução do sistema. As camadas de filtro mais utilizadas constituem-se de material conhecido como geotêxtil, feito de poliéster ou polipropileno. Esse material é resistente à degradação química e biológica, possui alta permeabilidade, elevada resistência mecânica e alta durabilidade (CHENANI; LEHVÄVIRTA; HÄKKINEN, 2015).

2.9. CAMADA DE DRENAGEM

A camada de drenagem do telhado verde, tem como principal função: reter e drenar lentamente a água da chuva, garantindo o bom equilíbrio de aeração do substrato e das raízes do sistema do telhado verde. Essa camada de drenagem é composta por módulos pré-fabricados de plástico (placas, formas de plástico alveoladas ou recipientes com diversas capacidades hídricas), que também podem ser construídas basicamente dos seguintes itens: materiais granulares, argila expandida, minerais porosos e materiais reciclados de cerâmica (MIKLÓS, 1998; PÉREZ, 2012).

Autores como Bianchini e Hewage (2012), afirmam, no entanto, que os materiais utilizados na fabricação de camadas de drenagens precisam ser substituídos por produtos mais sustentáveis, devido ao processo de fabricação dos polímeros, que liberam grandes quantidades de substâncias tóxicas.

Na busca pela sustentabilidade de telhados verdes alguns autores como: Vila et al. (2011), Pérez et al. (2012) e Rincón et al. (2014) corroboram uma importante visão a respeito do reaproveitamento de materiais recicláveis na construção de camadas de drenagem. Desse modo, pode ser verificado um menor custo na montagem do telhado verde, além de proporcionar uma solução sustentável para o problema dos resíduos.

2.10. CAMADA DE IMPERMEABILIZAÇÃO

A camada de impermeabilização é indispensável na construção de telhados verdes, pois garante a estanqueidade do telhado convencional, impede o desenvolvimento das raízes e

impede a passagem de vapores e umidade para o interior das edificações (PECK; KUHN, 2003). O material mais utilizado para esse fim são os sistemas de impermeabilização flexíveis (mantas asfálticas, mantas elastoméricas, geomembranas de Perfil de Policloreto de Vinila - PVC e geomembranas tipo manta de polietileno de alta densidade - PEAD) (NRCA, 2007).

A manta asfáltica é uma manta impermeabilizante indicada para aplicação sobre telhados, platibandas, lajes inclinadas e lajes planas expostas de pequenas dimensões, até 50 m², possui vantagem por ser facilmente moldada e instalada, pois apresentam menor peso e espessura (DENVER, 2003).

Quanto as mantas elastoméricas são altamente resistentes ao acúmulo de água em telhados e funcionam como isolante térmico, pois tem grande resistência ao ozônio, radiação infravermelha e ultravioleta. Essas mantas, quando bem instaladas, resistem em média de 25 a 30 anos (SOUZA; PASCOAL; BOASQUIVES, 2011).

Geomembranas Plásticas ou Poliméricas (PVC e PEAD) são materiais poliméricos de baixa condutividade hidráulica e espessura pequena (PVC de 1,0 e 2,0 mm, e o PEAD de 0,8 mm e 2,5 mm). Tem como função controlar a percolação e o fluxo de líquidos e, em alguns casos, de gases. São aplicadas em lagoas de tratamento de efluentes, reservatórios de água, base e cobertura de aterros sanitários e industriais, revestimento de coberturas verdes, entre outras. Apresentam alta resistência à tração, boa resistência química aos raios UV e temperatura, excelente flexibilidade e fácil instalação (LODI; BUENO; ZORNBERG, 2009).

2.11. EXPERIÊNCIAS COM TELHADOS VERDES

Neste tópico foi elaborada uma revisão da literatura de trabalhos nacionais e internacionais, que tratam de telhado verde no controle das vazões de pico para eventos de cheias e a relação entre custo e benefícios apresentada por tais telhados.

A retenção da água da chuva por telhados verdes, segundo Getter e Rowe (2006), depende de fatores como a profundidade do substrato, a composição e o tipo de espécies de plantas, bem como fatores climáticos, tais como, intensidade e duração das chuvas. Liu (2003) verificou que o telhado verde ajuda a diminuir a erosão do solo ao retardar o escoamento superficial de intensidade de 2,8 mm/h para 0,5 mm/h.

Bacovis e Nagalli (2013) avaliaram o desempenho hidrológico de um telhado verde extensivo em comparação às coberturas convencionais (telhas de fibrocimento, de cerâmica, aço galvanizado e lajes impermeáveis). Os protótipos foram submetidos a testes hidrológicos com simulações de chuva de 43,6 mm com tempo de duração de 16 minutos. Os resultados

mostraram que a capacidade de retenção de água pluvial pelo telhado verde varia em função da condição de saturação do mesmo, com evidente atenuação dos picos de cheias.

Em diferentes locais do Brasil, trabalhos de Neto e Tassi (2014), Calil, Bernardi e Righes (2014), Silva, Paiva e Santos (2015) estudaram a resposta hidrológica em telhados verdes a partir do emprego de modelos empíricos. Esses autores identificaram que os telhados verdes têm um potencial médio de reduzir a vazão de pico em até 53%. Portanto, os telhados verdes mostram-se eficientes no controle do escoamento superficial urbano.

Karteris et al. (2016) avaliaram os benefícios do telhado verde em grande escala na segunda maior cidade da Grécia, Thessaloniki, utilizando a modelagem ambiental, por meio de dados de sensoriamento remoto com imagens de alta resolução e verificaram que 17% das áreas tem potencial para implementação de telhado verde. Os resultados mostraram que a retenção de água pluvial pode chegar a 45%, além disso a redução da temperatura e do consumo de energia dos edifícios foi correspondente a 5% e 16% respectivamente.

Na Dinamarca, os autores Locatellia et al. (2014) verificaram um retardo na vazão de pico de até 40 mm em telhados verdes. Eles utilizaram um modelo conceitual “chuva-vazão” determinístico e por meio de simulações de eventos individuais de chuva, em função do período de retorno. Foi observada uma redução do escoamento médio anual de 20% comparado ao telhado tradicional.

Em virtude da avaliação do ciclo de vida de um telhado verde, os autores: Acks (2006), Clark, Adriaens e Talbot (2008), Chan e Chow (2013) e Peng e Jim (2015), relatam que este dura em média de 25 a 55 anos. Já os telhados convencionais têm um tempo de vida médio de 20 anos. Assim, os telhados verdes tornam-se excelentes substitutos do telhado convencional avaliando-se a viabilidade econômica a longo prazo.

Wong et al. (2003) testaram a viabilidade econômica para telhados verdes tais como: extensivo, semi-intensivo e intensivo. Os autores observaram que os custos iniciais dos telhados verdes variam de acordo com o tipo de estrutura adotada e tipo de material utilizado. Chan e Chow (2013) realizaram estudo de viabilidade econômica em Hong Kong, e comprovaram que as variações nas taxas de inflação influenciam consideravelmente os custos das construções e manutenções de telhados verdes.

Xu et al. (2012), Huang, Chen e Tsai (2016), Alcazar, Olivieri e Neila (2016), Razzaghmanesh, Beecham e Salemi (2016) e Karteris et al. (2016) mostram que o telhado verde é uma técnica ambientalmente amigável. Sendo um sistema de múltiplos benefícios ambientais, a qual inclui a redução do efeito de ilha de calor urbano, redução no escoamento superficial, melhora a qualidade do ar, torna melhor o conforto térmico e sonoro dos edifícios,

ajuda a reduzir as emissões de CO₂ e aumenta a beleza estética do espaço urbano. Contudo, dentre tantos benefícios, o telhado verde tem enfrentado ainda desafios na indústria por seu elevado custo de instalação, logo, inviabilizando que as camadas sociais de menor renda possam ter acesso à essa tecnologia.

Diante dos impactos econômicos e ambientais que podem ser evitados na construção de telhados verdes, fez-se necessária a inserção da reciclagem na cadeia produtiva, tendo em vista reduzir o consumo dos recursos naturais, e assim, tornar o ciclo de vida dos materiais mais adequados ambientalmente e competitivos economicamente (SANTOS et al., 2011; PASSUELLO et al., 2014).

Nesse sentido, o alto custo de implantação de um telhado verde tem fomentado alguns autores como Vila et al. (2011), Júnior, Silva e Leite (2011), Pérez et al. (2012), Rincón et al. (2014) e Visentin, Neckel e Breda (2015), a introduzir novas técnicas adaptadas às tecnologias construtivas de telhados verdes, tendo em vista a reutilização de materiais recicláveis como as garrafas PET's ou polietileno e fragmentos de borracha reciclada de pneus no cultivo de telhados verdes.

Ainda sobre a reutilização de materiais recicláveis no cultivo de telhados verdes, verificou-se que vários autores desenvolvem estudos nessa linha, como Mary et al. (2010), Cortés e Castillo (2011), Olaya et al. (2014), Visentin, Neckel e Breda, (2015) e Panziera et al. (2015). Tais autores abordam a reutilização de garrafas PET's como instrumento para reduzir o custo inicial do telhado verde e, como consequência, viabilizar o uso dessa técnica em habitações de baixa renda.

2.12. POLÍTICAS PÚBLICAS PARA TELHADOS VERDES

Diante de tantos benefícios ambientais, econômicos e estéticos proporcionados pelo telhado verde, alguns países têm encorajado construções de edifícios com tal tecnologia verde, incentivados por meio de recursos financeiros (ZHENG et al., 2010). Um exemplo disso é a cidade de Tóquio, na qual se exige, por meio de políticas públicas, que em prédios privados superiores a 1000 m² e prédios públicos a partir de 250 m², pelo menos 20% da área superficial do telhado convencional seja composta de telhados verdes (BRENNEISEN, 2002). Em países como Alemanha, Austrália, Suíça, Canadá, Áustria, Grã-Bretanha, Hungria, Holanda e Suécia, os proprietários recebem descontos nas contas de água ou luz como incentivo na construção de telhados verdes (BERARDI; HOSEINI; HOSEINI, 2014).

Na conferência da ONU, Rio+20, sediada no Rio de Janeiro, o conselho Brasileiro de Construção Sustentável – CBCS apresentou a “Plataforma Global de Avaliação do Ciclo de Vida Simplificado para Construção Sustentável”. Nesse encontro foi discutida a importância das políticas públicas em virtude dos benefícios proporcionados pelo telhado verde ao meio ambiente. Desse modo, os municípios brasileiros têm como agenda estimular, por meio de leis de incentivo como o “IPTU Ecológico ou Verde”, a concessão de desconto no imposto para imóveis que estejam recobertos por estruturas verdes (RIBEIRO; CASTRO, 2014).

Partindo desse princípio, o chamado “IPTU verde” já tem mobilizado vários municípios no Brasil a adotarem medidas sustentáveis que estimulem a proteção, preservação e recuperação do meio ambiente como, por exemplo: construções com materiais sustentáveis, instalações de telhados verdes, construções de calçadas ecológicas, sistema de reuso de água etc.

Alguns municípios já promovem o IPTU verde, são eles: São Vicente (SP), Seropédica (RJ), Camboriú (SC), Salvador (BA) e Goiânia (GO). Estes recebem incentivos em torno de 10% a 27% de desconto no IPTU (LEIS MUNICIPAIS, 2014). A Secretaria do Meio Ambiente de Porto Alegre, por meio da Instrução normativa nº 22/2007, prevê como medida compensatória para áreas livres a utilização de terraços e coberturas vegetadas. Outro instrumento jurídico em estudo é a Reserva Legal Urbana, a qual prevê que no mínimo 20% da área do terreno sejam vegetadas (AGUIAR; FEDRIZZI, 2010).

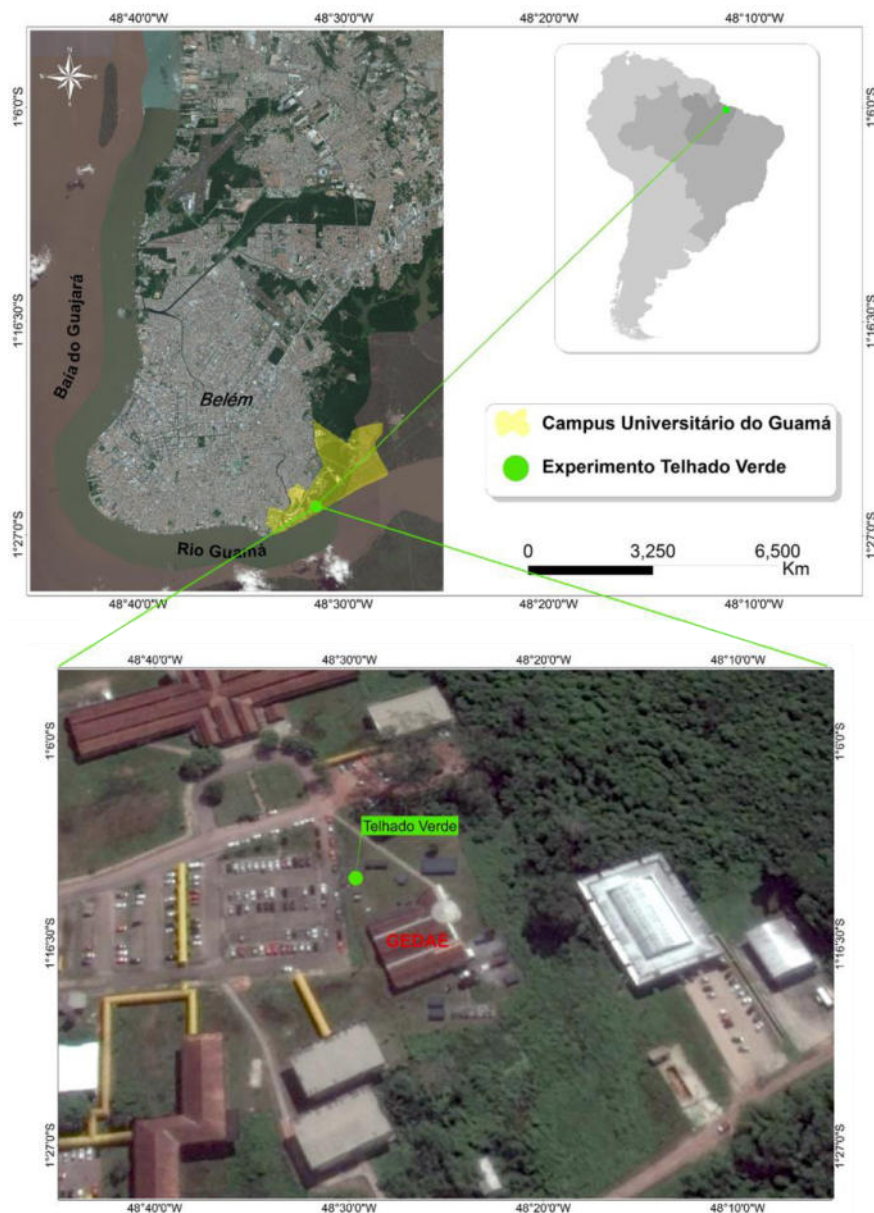
O IPTU verde é um instrumento inserido no contexto de benefícios fiscais de suma importância para que se tenha uma gestão municipal que possa efetivar o desenvolvimento sustentável. Porém, é notável que muito ainda precise ser feito, pois se compararmos as cidades que já adotaram as construções sustentáveis ao resto do Brasil é perceptível a necessidade de mais incentivos que estimulem o comportamento do contribuinte para a proteção ambiental das cidades (RIBEIRO; CASTRO, 2014; DANTAS, 2014).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. LOCALIZAÇÃO DO TELHADO VERDE EXPERIMENTAL

O telhado verde experimental foi construído na dependência do Campus Universitário da UFPA, localizado às adjacências do prédio de Grupo de Estudos e Alternativas Energéticas – GEDAE. O campus universitário da UFPA (Figura 7) encontra-se na cidade de Belém e está situado às margens do rio Guamá, a aproximadamente 120 km do Oceano Atlântico.

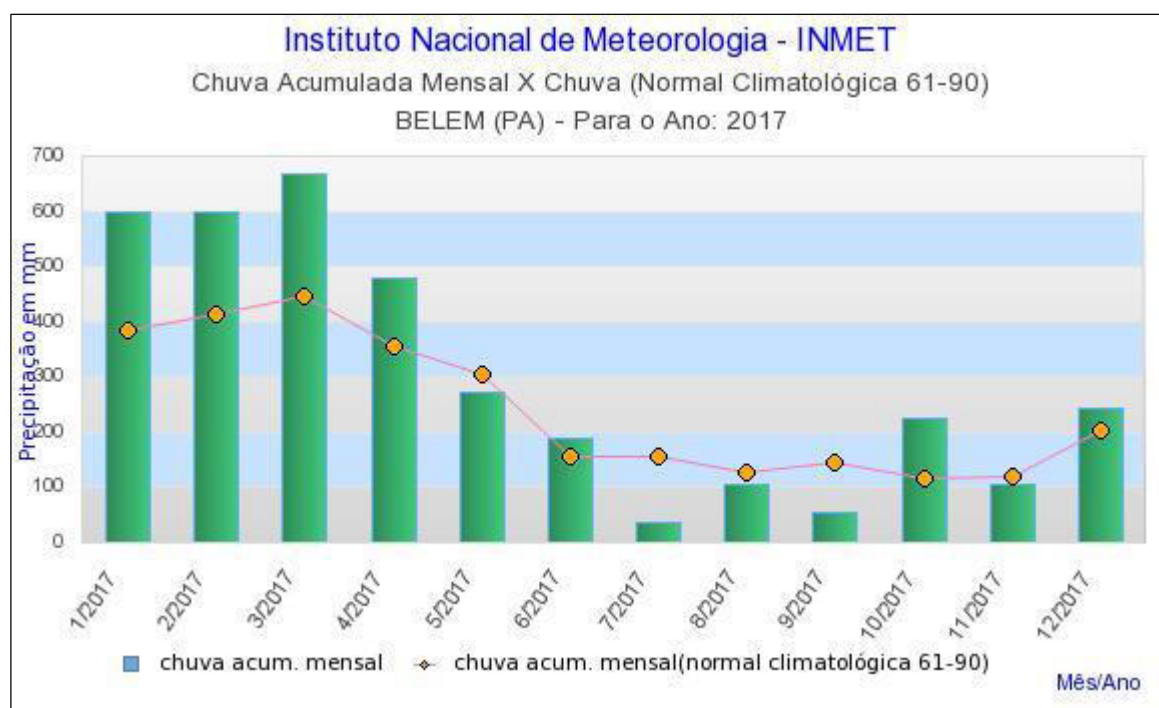
Figura 7: Localização do Telhado Verde Experimental.



Segundo a classificação de Köppen et al. (1936), o clima da Região Metropolitana de Belém (RMB) é do tipo “Am”, possui clima quente e úmido, contendo pouca variação de

temperatura e umidade ao longo do ano. Por sua vez, o regime pluviométrico da capital paraense apresenta boa variação espaço-temporal, sendo possível dividir o ano em duas estações: chuvosa e menos chuvosa (Figura 8), (JÚNIOR; CONTINI; NAVARRO, 2011; JÚNIOR et al., 2013).

Figura 8: Chuva média mensal com relação a normal climatológica para o ano de 2017.



Fonte: INMET (2017)

Os solos que compõem a cidade de Belém caracterizam-se por terraços de idade pleistocênica de terra firme. São solos de fácil drenagem, baixa fertilidade natural e espessos. Ocorrem de forma dominante nos latossolos amarelos distróficos típicos e latossolos amarelos distróficos petroplínticos. Entretanto, na planície aluvial de inundação (várzea alta e baixa), também conhecida como solos hidromórficos, a maior área é ocupada pelos gleissolos háplicos Tb distróficos (em menor proporção) e pelos neossolos flúvicos Tb distróficos, que são solos com baixas fertilidades (WATRIN et al., 2011).

A vegetação predominante encontrada na cidade de Belém é do tipo: floresta ombrófila densa aluvial. Classificada anteriormente, como floresta perenifólia de várzea. Tem uma cobertura vegetal, relacionando-se com ambientes situados às margens de cursos d'água e periferias de brejos, bem como, baixadas úmidas e até mesmo em áreas alagadas temporariamente (ALMEIDA; VIEIRA, 2013).

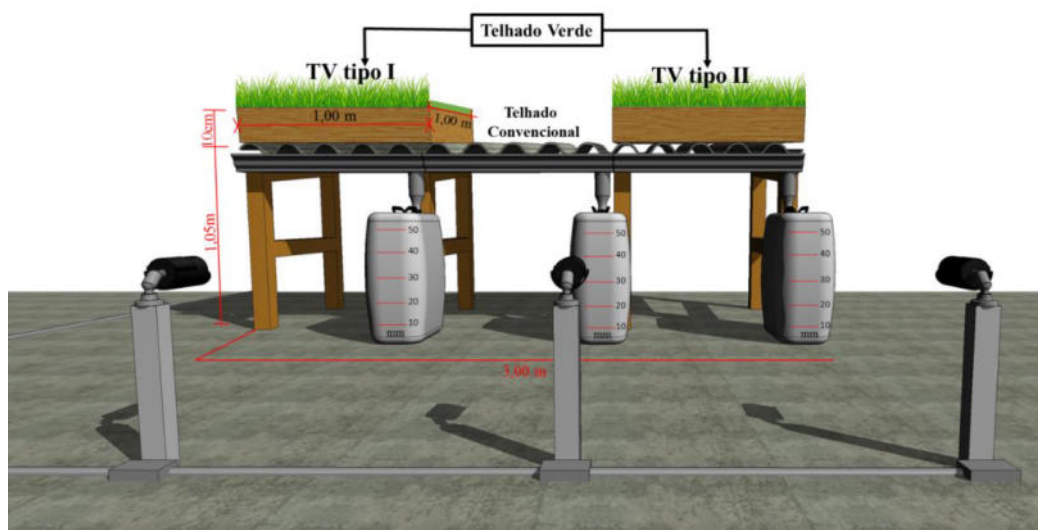
O estudo de uso do solo realizado por Luz et al. (2014), em bacias hidrográficas da Região Metropolitana de Belém (RMB), mostra predominâncias de 70% da área para edificações e vias pavimentadas, 1% para rios e lagos e menos de 30% para coberturas vegetais. Essa ausência da cobertura vegetal prejudica a capacidade de interceptação, infiltração, evapotranspiração. Em consequência aumenta o escoamento da água na forma concentrada, gerando o aumento da magnitude e da frequência das enchentes urbanas na RMB (BOTELHO, 2011).

Embora as baixadas sejam formas naturais e integrantes do perímetro urbano da cidade de Belém, elas estão sujeitas às inundações decorrentes dos efeitos das marés, que podem alcançar até 4 m nas marés de sizígia e que ocorrem nos meses de março/abril todos os anos (PINHEIRO, 1987). Portanto, essas formas naturais associadas às predominâncias de áreas pavimentadas e edificadas aumentam consideravelmente a ocorrência de enchentes na cidade de Belém.

3.2. CONSTRUÇÃO DO TELHADO VERDE EXPERIMENTAL

Foi projetado e construído um protótipo de telhado verde, com as medidas: 1x1x0,1 m (Figura 9).

Figura 9: Desenho Esquemático do Telhado Verde Experimental.



O protótipo foi dividido em três lotes. Dois lotes com 1 m² de área com cobertura verde, um lote posicionado entre os dois, com telhado convencional (telha de fibrocimento), também com 1 m² de área. Em área frontal encontram-se três câmeras, que registraram o intervalo de tempo para cada evento de chuva sobre os telhados. Posteriormente mediu-se a lâmina de

água escoada para o interior de cada bomba. Sendo possível observar, assim, o retardo no escoamento superficial e a redução no pico do hidrograma durante os eventos de chuvas nos telhados verdes.

3.3. TELHADO VERDE TIPO I

O telhado verde tipo I com dimensão de 1m x 1m, foi projetado sobre telhas de fibrocimento junto à camada de impermeabilização. A camada de drenagem foi construída de material reutilizado (Polietileno Tereftalato - PET), camada filtrante, substrato e vegetação. As camadas do telhado verde tipo I são detalhadas a seguir.

3.3.1. Camada de impermeabilização

A manta impermeabilizante adotada no experimento foi a manta asfáltica (Figura 10), pois sua instalação comportou 1m x 1m do telhado verde tipo I, sua aplicação foi facilmente moldada ao telhado verde com inclinação de 5° (cinco graus), além de apresentar menor peso e espessura.

Figura 10: Manta impermeabilizante asfáltica.



3.3.2. Camada de drenagem

Posterior à camada de impermeabilização foi sobreposta a camada de drenagem, sendo fabricada a partir de fundos de garrafas PET arranjadas lado a lado (Figura 11), o quantitativo

necessário foi de 100 fundos de garrafas para 1 m² de telhado, com espessura de 4 cm e com capacidade de armazenar até 21 litros de água.

Figura 11: Camada de drenagem reutilizada de PET.



3.3.3. Camada de filtrante

Sobre a camada de drenagem foi colocada a camada filtrante, também conhecida como Manta Geotêxtil (composta 100% de poliéster de cor branca modelada com dimensão de 1,20 x 1,20 m), conforme Figura 12.

Figura 12: Camada filtrante manta geotêxtil.



3.3.4. Camada de substrato

Com a camada filtrante logo disposta, foi sobreposta a camada de substrato comercial denominada “Flores & Folhagens” da BIOMIX® (Figura 13). Trata-se de um substrato que concentra macros e micros nutrientes essenciais à vida vegetal, em sua composição apresentam-se: turfa, casca de pinos, vermiculita, resíduo orgânico classe A, serragem e esterco compostado.

Figura 13: Camada de Substrato Flores & Folhagens.



3.4. TELHADO VERDE TIPO II

O Telhado verde tipo II com dimensões de 1m x 1m, é composto de módulos drenantes pré-fabricados, denominados camada de drenagem Alveolar Leve. Possui formato retangular com dimensões de 0,14 x 11,5 x 0,35 cm (Espessura, Largura e Comprimento), conforme a Figura 14 abaixo.

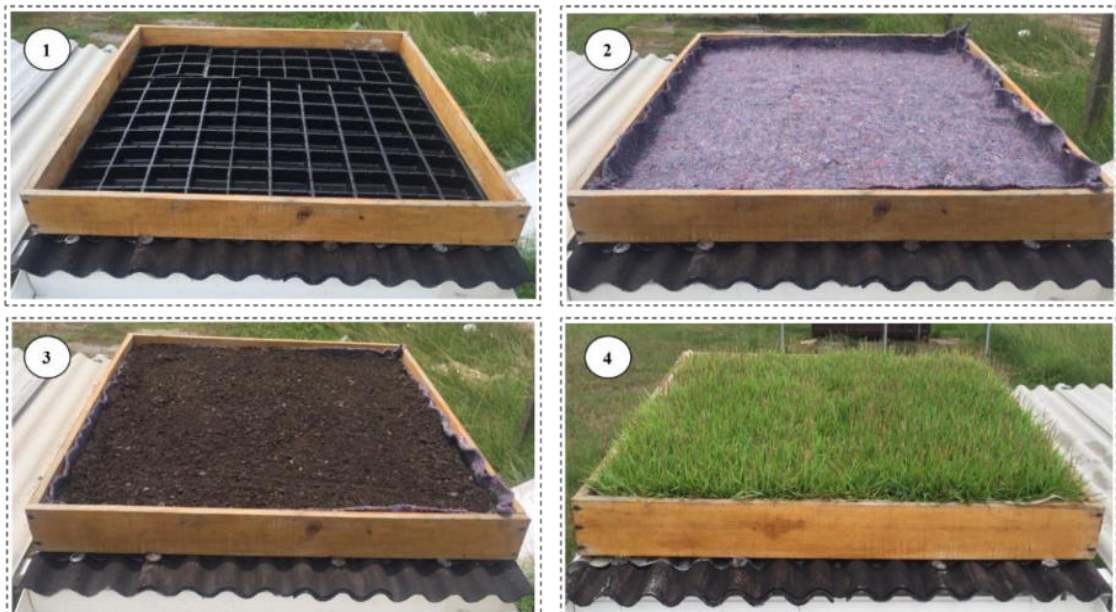
Figura 14: Camada de drenagem alveolar leve



Fonte: EcoTelhado (2016).

A finalidade do módulo pré-fabricado é realizar a drenagem controlada, a retenção de água para as raízes da vegetação e evitar o contato direto da vegetação com lajes ou telhas. O sistema suporta uma estrutura de até 80 kg. Na Figura 15 são encontradas as camadas do telhado verde tipo II.

Figura 15: Montagem do telhado verde tipo II.



Descrição da montagem ilustrada na Figura 15:

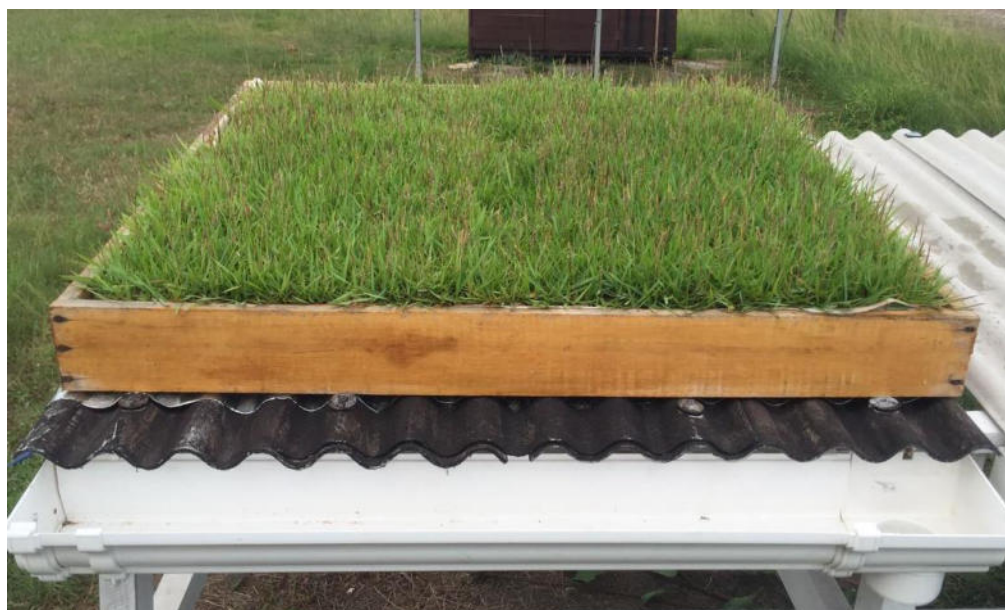
1. Camada de drenagem Alveolar Leve sobre telhas impermeabilizadas;
2. Camada filtrante sobre a camada de drenagem Alveolar Leve;

3. Camada de substrato sobre a camada filtrante e camada de drenagem Alveolar Leve;
4. Camada de vegetação sobre o sistema de camada de drenagem Alveolar Leve.

3.4.1. Vegetação Utilizada para os Telhados Verdes tipo I e II

A Grama Esmeralda (*Zoysia japonica Steud*) foi a grama escolhida na implantação do protótipo telhado verde, pois para proposta de um telhado extensivo, a grama esmeralda mostra-se melhor adaptada ao clima tropical, requer pouca irrigação, é resistente às doenças e a ervas daninhas. Forma uma grama densa (Figura 16), apresentando ótima relação custo-benefício e baixo custo com manutenção.

Figura 16: Camada com grama Esmeralda.



O resultado obtido da construção do telhado verde experimental, foi subdividido em: telhado verde tipo I (TV I), telhado convencional (TC) e telhado verde tipo II (TVII), conforme a Figura 17. Os dois tipos de telhados verdes classificam-se como telhado verde extensivo, pois sua espessura total foi de 10 cm.

Figura 17: Vista frontal dos três modelos de telhados com monitoramento por câmeras



3.5. CAPACIDADE MÁXIMA DO TELHADO VERDE EM ARMAZENAR ÁGUA

Segundo Ohnuma Jr. (2014) a capacidade de armazenamento água em telhados verdes podem variar com a intensidade da chuva e com a umidade antecedente do solo. Dessa forma, o armazenamento de água em telhados verdes (S) pode ser calculado a partir da altura da platibanda sobre o telhado (h) e da porosidade do solo (\emptyset_s) utilizado no plantio, como mostra a equação 1.

$$S = h \times \emptyset_s \quad (1)$$

Sendo que;

S = armazenamento máximo de água acumulada no telhado verde em mm;

h = altura da platibanda sobre o telhado verde em mm; e

\emptyset_s = porosidade do solo utilizado no plantio.

Com base nos dados do resultado da (Equação 1), determinou-se o valor de CN através da (Equação 2), que relaciona o parâmetro S com um fator CN.

$$CN = \frac{25400}{S + 254} \quad (2)$$

A partir dos dados observados de precipitação incidente e o volume escoado nos reservatórios será possível determinar as condições de umidade antecedente (AMC) no substrato, permitindo observar o armazenamento de água no telhado verde e suas variações em cada evento de chuva, bem como a eficiência observada em cada telhado, além de relacionar à umidade presente no substrato resultante dos eventos de chuvas anteriores, Tassi et al. (2014).

Para verificar a eficiência do telhado verde, é imperativo considerar a influência da umidade antecedente do solo (AMC). Neste trabalho foi utilizada a classificação estabelecida por Tucci (2005), que avalia o volume de chuva para 5 dias que antecedem o evento chuvoso monitorado, dividindo a condição de umidade antecedente do solo em três diferentes classes AMC (I, II e III):

- 1) AMC I: situação em que os solos estão secos. A precipitação acumulada dos cinco dias anteriores é menor que 13 mm;
- 2) AMC II: situação média em que os solos correspondem à umidade da capacidade de campo. A precipitação acumulada dos cinco dias anteriores é maior que 13 mm e menor que 28 mm;
- 3) AMC III: situação em que ocorreram precipitações consideráveis nos cinco dias anteriores e o solo encontra-se saturado. A precipitação acumulada dos cinco dias anteriores é maior que 28 mm.

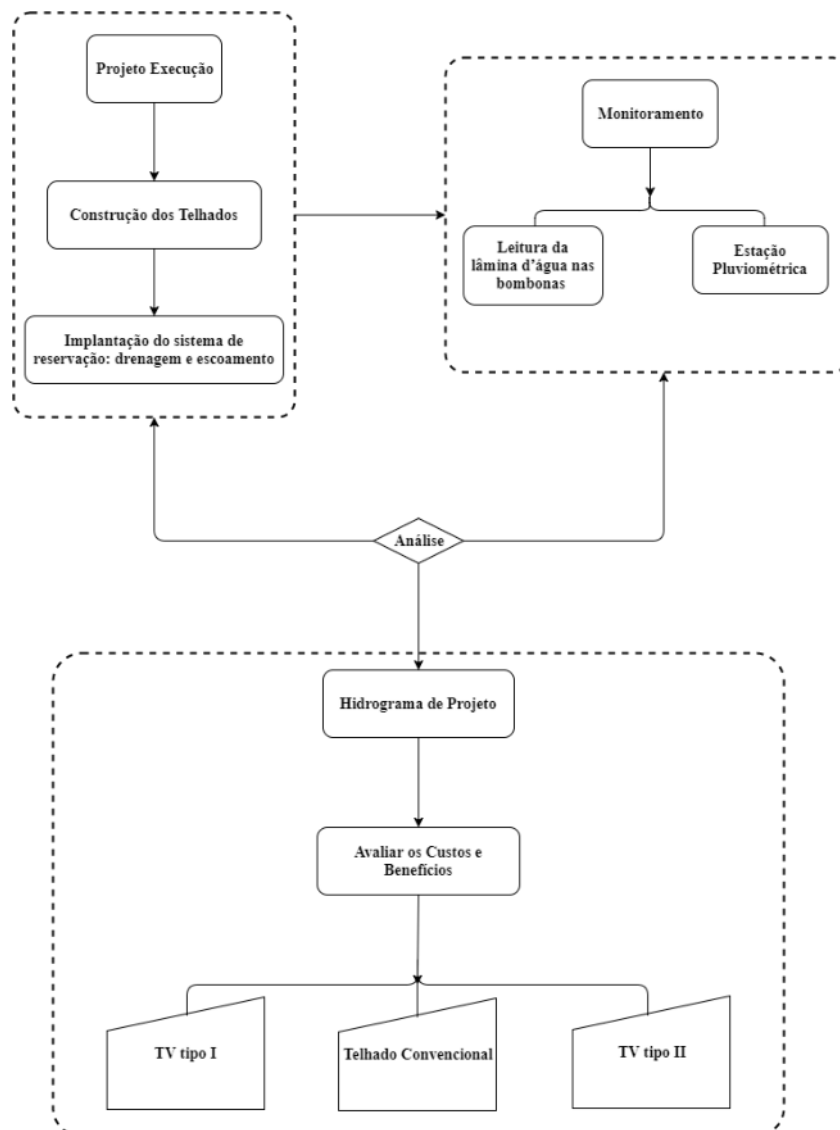
3.6. MONITORAMENTO

Os dados foram monitorados por meio de registros de câmeras filmadoras, as quais observaram os eventos de cada chuva em determinado intervalo de tempo, visto que para cada evento de precipitação é gerado um escoamento. Por fim, esse escoamento excedente é o resultado da chuva total incidente, exceto a parcela da chuva que fica retida no sistema telhado verde, por meio da interceptação da água pela grama, do armazenamento de água pelo substrato e da camada de drenagem. Assim, o escoamento excedente é conduzido por meio de calhas interligadas por tubos de PVC instalados juntos as bombonas com capacidades de armazenamentos de 50 L.

3.7. ANÁLISE DOS DADOS MONITORADOS

No experimento em questão, foram determinados hidrogramas de projeto em cada telhado (verdes e convencional). Para a realização das análises dos hidrogramas, foram efetivadas leituras das lâminas de água, no intervalo de 5 em 5 minutos, além da verificação do tempo de saturação do telhado verde. Na análise econômica dos telhados, determinaram-se os custos totais dos telhados verdes tipo I e II, bem como do telhado convencional, cujo objetivo é avaliar se o telhado fabricado com material reutilizado possui uma relação custo-benefício aceitável em relação ao telhado comercial. Na figura 18 estão descritos todos os procedimentos metodológicos da pesquisa.

Figura 18: Esquema operacional da pesquisa



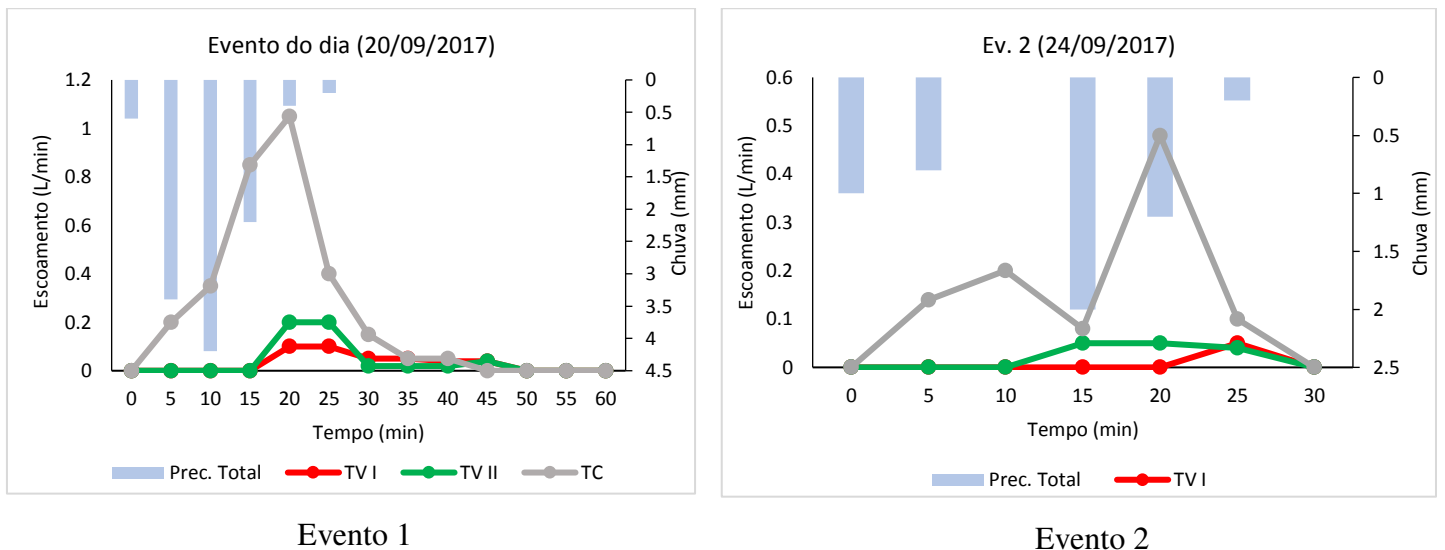
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

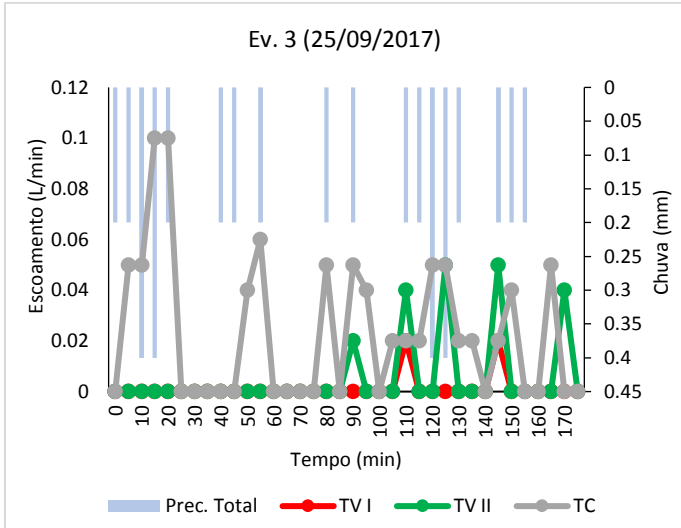
4.1. DESEMPENHO HIDROLÓGICO DOS TELHADOS VERDES

Na Figura 19 são apresentados 08 eventos de chuvas monitorados em tempo real. A partir dos hidrogramas, foi possível verificar o comportamento hidrológico dos telhados verdes extensivos e convencional. Os dados foram coletados no período de 20/09/2017 à 03/11/2017. Dentre os vinte oito eventos de chuva do período, oito resultaram em hidrogramas (Figura 19), treze não geraram escoamento nos telhados verdes, pois resultaram de chuvas inferiores a 2 mm e sete eventos foram perdidos por falha no equipamento ou falta de energia elétrica. Os volumes de chuva registrados nos oito eventos válidos variaram de 2,6 a 11 mm, enquanto os escoamentos superficiais dos telhados verdes variaram de 0 a 0,2 L/min.

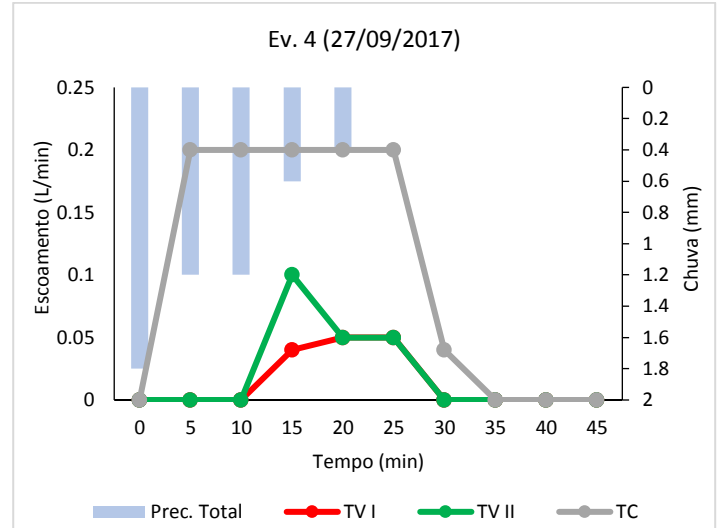
O TV I apresentou saturação média de suas camadas após 16 minutos do início de cada evento de chuva. Em contrapartida, o TV II mostrou suas camadas saturadas após 12 minutos para cada evento de chuva. E o tempo médio que o telhado convencional levou para começar a escoar superficialmente foi de 1 minuto e 30 segundos.

Figura 19: Hidrogramas dos oito eventos de chuva nos TV I, TV II e TC.

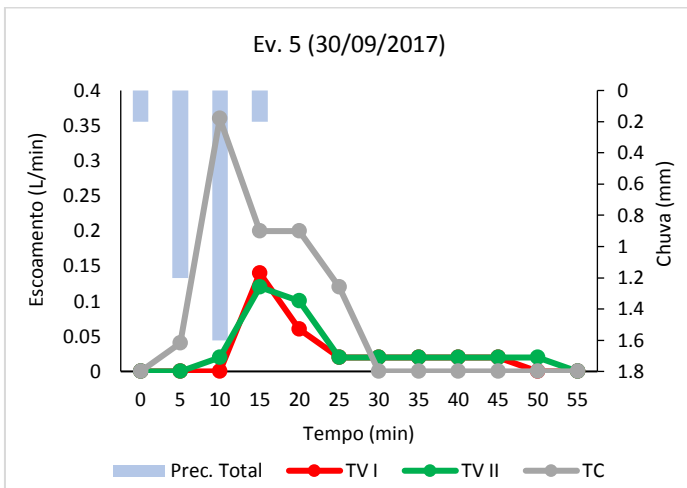




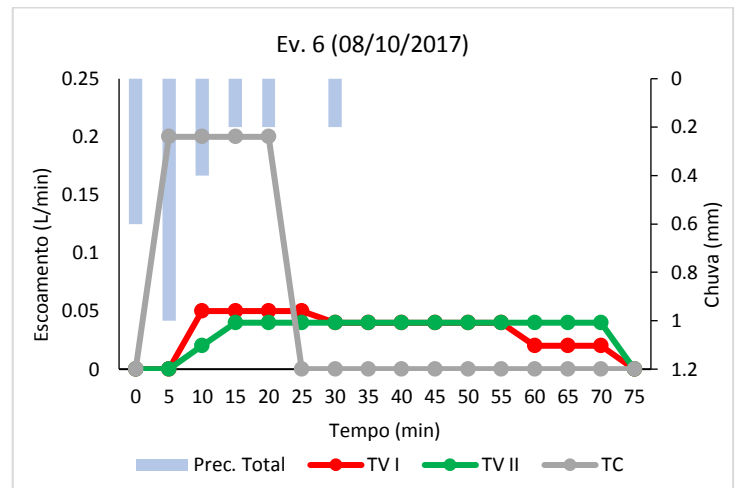
Evento 3



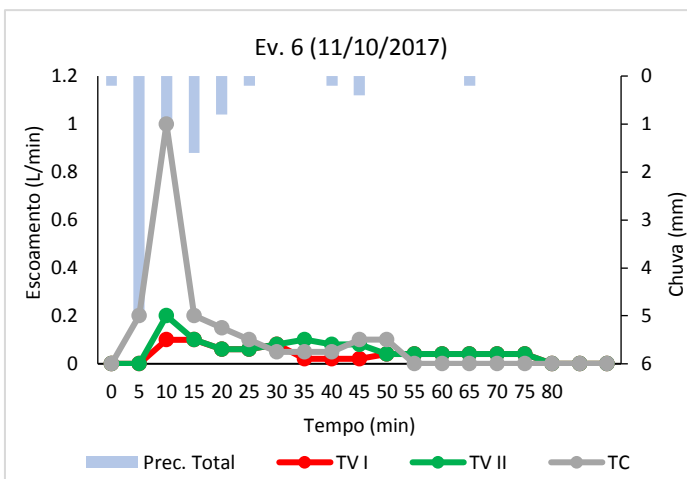
Evento 4



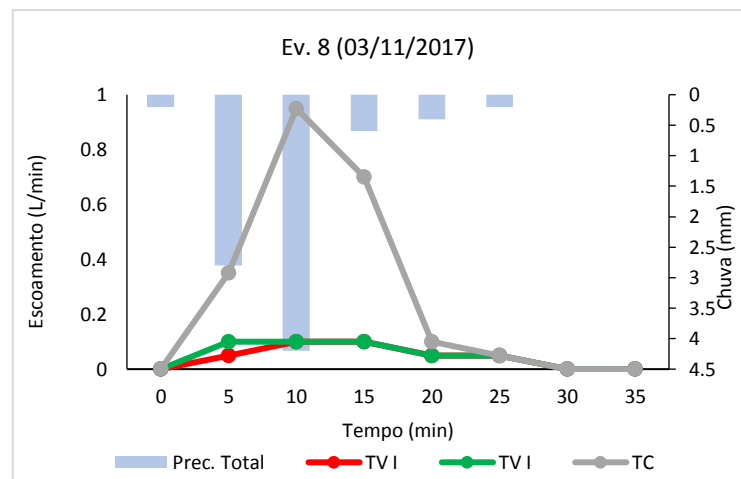
Evento 5



Evento 6



Evento 7



Evento 8

Com relação ao aspecto quantitativo, o TV Tipo I proporcionou, em todos os eventos monitorados, maior amortecimento ou retardo do escoamento superficial comparado ao TV

tipo II e ao telhado convencional. Essa mesma característica pode ser observada por Santos et al. (2013) e Costa et al. (2012) respectivamente no estado de Pernambuco e São Paulo, onde os autores demonstram, que a diferença de vazão de pico entre os telhados verdes foi mínima, contudo o telhado convencional comparado aos telhados verdes apresentou maior vazão de pico.

De acordo com Silva (2017), a análise física realizada no substrato BIOMIX®, o mesmo utilizado nesta pesquisa, apresentou porosidade igual a 71%. Diante disso, considerou-se 10 cm a altura da platibanda dos TV tipo I e II, logo o armazenamento máximo de água acumulada nos telhados verdes é igual a ($S = h \times \text{Øs} = 71 \text{ mm}$). Diante do resultado do armazenamento máximo de água acumulada nos telhados verdes, calculou-se o valor de (CN) para os dois telhados verdes resultando no (CN=78,2). Sendo assim, o CN dos TV tipo I e II ficou compreendido dentro do grupo hidrológico C (Tabela 3).

Tabela 3: Valores de CN para áreas urbanas.

Descrição da cobertura Tipo de cobertura e condição hidrológica	Porcentagem Média da área Impermeável ^{1/}	CN para o grupo Hidrológico			
		A	B	C	D
Espaço aberto (gramados, parques, campos de ^{2/} golfe, cemitérios, etc.); Condição deficiente (cobertura com grama < 50%);		68	79	86	89
Condição regular (cobertura com grama 50 a 75%);		49	69	79	84
Condição boa (cobertura com grama > 75%);		39	61	74	80
Áreas Impermeáveis: Estacionamentos pavimentados, telhados, entrada para carros em moradias, etc. (excluindo faixa de domínio)		98	98	98	98
Ruas e rodovias: Pavimentadas com calçadas, guias e galeria de drenagem (não incluindo faixa de domínio)		98	98	98	98
Pavimentadas com canais abertos (incluindo faixa de domínio)		83	76	72	89
Pedregulhadas (incluindo faixa de domínio)		85	82	92	89
De terra (incluindo faixa de domínio)		87	93	91	89
Áreas urbanas no deserto (meio oeste dos EUA): ^{3/} Paisagem natural do deserto (somente áreas permeáveis) Paisagem artificial do deserto (barreiras impermeáveis com ervas,		63	77	85	88
arbustos do deserto com 25 a 50 mm de material em decomposição com areia ou pedregulho na borda do caule)		96	96	96	96
Zonas urbanas: Comerciais e serviços	85%	89	92	94	95
Industriais	72%	81	88	91	93

Descrição da cobertura Tipo de cobertura e condição hidrológica	Porcentagem Média da área	CN para o grupo Hidrológico			
Residenciais pela média do tamanho dos lotes: 500 m ou menor (casas de cidades)	65%	77	85	90	92
1000 m ²	38%	61	75	83	87
1350 m ²	30%	57	72	81	86
2000 m ²	25%	54	70	80	85
4000 m ²	20%	51	68	79	84
8000 m ²	12%	46	65	77	82
Áreas urbanas em desenvolvimento Áreas alteradas recentemente (somente áreas permeáveis, sem vegetação)		77	86	91	94

Descrição da cobertura Tipo de cobertura e condição hidrológica	Porcentagem Média da área Impermeável	CN para o grupo			
		A	B	C	D
Espaço aberto (gramados, parques, campos de golfe, cemitérios, etc.); Condição deficiente (cobertura com grama < 50%);		68	79	86	89
Condição regular (cobertura com grama 50 a 75%);		49	69	79	84
Condição boa (cobertura com grama > 75%);		39	61	74	80
Áreas Impermeáveis: Estacionamentos pavimentados, telhados, entrada para carros em moradias, etc. (excluindo faixa de domínio)		98	98	98	98
Ruas e rodovias: Pavimentadas com calçadas, guias e galeria de drenagem (não incluindo faixa de domínio)		98	98	98	98
Pavimentadas com canais abertos (incluindo faixa de domínio)		83	76	72	89
Pedregulhadas (incluindo faixa de domínio)		85	82	92	89
De terra (incluindo faixa de domínio)		87	93	91	89
Áreas urbanas no deserto (meio oeste dos EUA): Paisagem natural do deserto (somente áreas permeáveis) Paisagem artificial do deserto (barreiras impermeáveis com ervas,		63	77	85	88
arbustos do deserto com 25 a 50 mm de material em decomposição com areia ou pedregulho na borda do caule)		96	96	96	96
Zonas urbanas: Comerciais e serviços	85%	89	92	94	95
Industriais	72%	81	88	91	93
Residenciais pela média do tamanho dos lotes: 500 m ou menor (casas de cidades)	65%	77	85	90	92
1000 m ²	38%	61	75	83	87
1350 m ²	30%	57	72	81	86

2000 m2	25%	54	70	80	85
4000 m2	20%	51	68	79	84
8000 m2	12%	46	65	77	82
Áreas urbanas em desenvolvimento Áreas alteradas recentemente (somente áreas permeáveis, sem vegetação)		77	86	91	94

Fonte: NRCS (1986).

1/ *Condição média de escoamento e $I_a = 0,2.S$.*

2/ *As porcentagens apresentadas de área impermeabilizada foram usadas para desenvolver os CNs compostos. Outras suposições são: áreas impermeáveis diretamente conectadas ao sistema de drenagem, áreas impermeáveis têm um CN de 98, e as áreas permeáveis são consideradas equivalentes a espaços abertos em boa condição hidrológica.*

3/ *Os CNs apresentados são equivalentes àqueles de pastagem. CNs compostos podem ser estimados para outras combinações de espaço aberto.*

Nesse contexto, os valores encontrados para os TV I e TV II, já mostram uma redução do CN encontrado nas tabelas CN (NRCS, 1986), no qual o telhado convencional tabelado em (NRCS, 1986) mostra valor CN igual a 98. Ohnuma Jr. et al. (2014) estimaram o CN sobre dois telhados verdes com valores entre 76 e 84. Getter et al. (2007) encontrou CN para telhados verdes variando entre 84 e 90. Nesse cenário, pode-se afirmar que o valor do CN encontrado nos TV I e TV II é menor que o CN de um telhado convencional, além de compatível com os CN's encontrados na literatura. Então, o escoamento efetivo do TV I e TV II foi menor, tal como a vazão de pico se comparado com o telhado convencional.

Os eventos com maior volume de chuva precipitado nos cinco dias antecedentes (Tabela 4), eventos 05 e 06 de classe AMC 3, apresentaram menor porcentagem de retenção que o evento 01 de classe AMC 1, o de menor volume de chuva antecedente. Se for avaliado o volume de chuva precipitado nos eventos e o volume das chuvas dos cinco dias que antecederam os eventos, pode-se inferir que, para esta amostra, a umidade antecedente do solo (AMC) apresentou maior impacto na capacidade de retenção dos telhados verdes do que o volume precipitado. Entretanto, a amostra não incluiu eventos extremos, que segundo Carter e Rasmussen (2006) têm forte influência na redução da capacidade de retenção dos telhados verdes.

Tabela 4: Relação da AMC e do volume precipitado com a retenção.

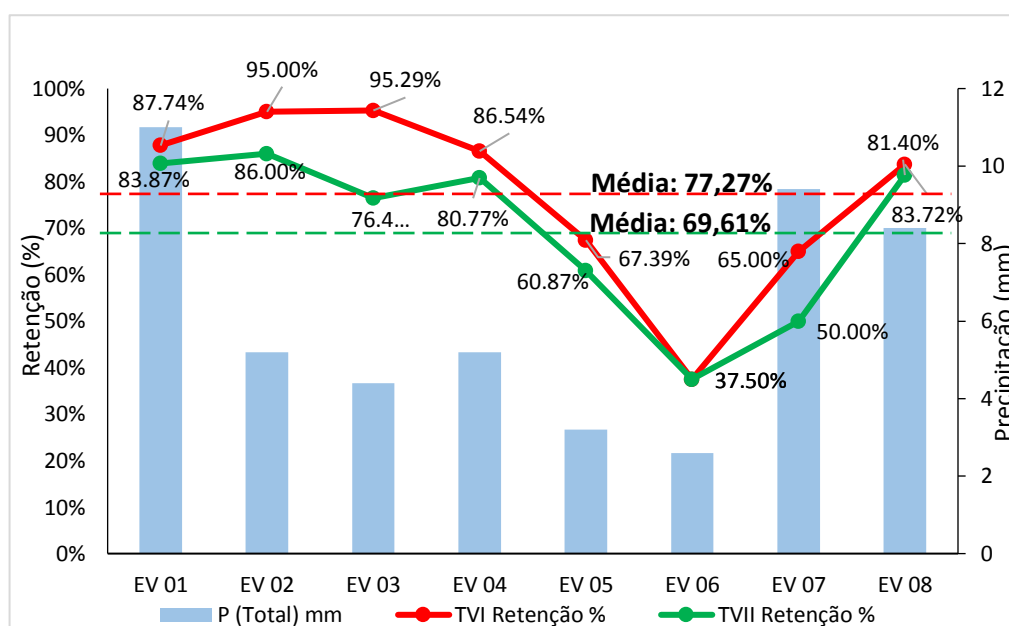
Eventos	Data	Volume dos últimos cinco dias (mm)		Volume de chuva precipitado (mm)		
		AMC	Retenção TV I	Retenção TV II	Retenção TV I	Retenção TV II
EV 01	20/09/2017	1,2	1	11	87,74%	83,87%
EV 02	24/09/2017	11,4	1	5,2	95,00%	86,00%
EV 03	25/09/2017	16,6	2	4,4	95,29%	76,47%

Eventos	Data	Volume dos últimos cinco dias (mm)	AMC	Volume de chuva precipitado (mm)	Retenção TV I	Retenção TV II
EV 04	27/09/2017	9,6	1	5,2	86,54%	80,77%
EV 05	05/10/2017	39,8	3	3,2	67,39%	60,87%
EV 06	08/10/2017	37,8	3	2,6	37,50%	37,50%
EV 07	11/10/2017	11,2	1	9,4	65,00%	50,00%
EV 08	03/11/2017	11,8	1	8,4	83,72%	81,40%

Assim, a variabilidade da retenção hídrica encontrada nos TV I e TV II para eventos em período mais seco e úmido mostraram-se semelhantes aos estudos de Bacovis e Nagalli (2013), os quais constataram que a capacidade do telhado verde de reter água está diretamente relacionada com a condição inicial de saturação do telhado verde. Tassi et al. (2014) também verificaram que o telhado verde no período chuvoso apresentou menor eficiência.

Avaliando os percentuais médios da retenção hídrica constata-se que: das precipitações ocorridas no TV tipo I, 77,27% ficaram retidas no interior de suas camadas, e das chuvas ocorridas no telhado verde tipo II, 69,61% permaneceram retidas. Portanto, o TV I, mostra-se mais eficiente que o TV II em até 7,66% (Figura 20). Conforme Rosseti et al. (2013) e Jr., Neto e Mendiondo (2014) mostraram em seu trabalho, a média da capacidade de retenção hídrica em telhados verdes variou entre 39 e 85%. Contudo, podendo reter até 100% em caso de clima com baixo índice pluviométrico

Figura 20: Taxa Percentual da Retenção em cada TV

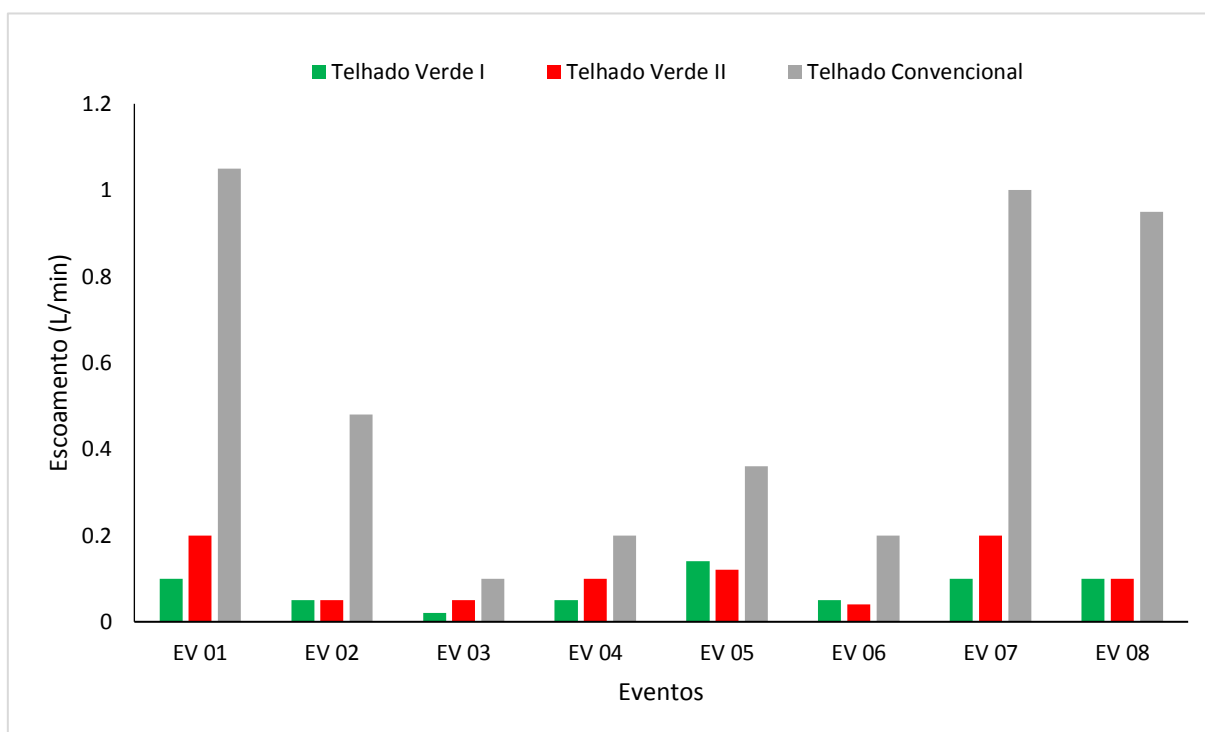


É importante ressaltar, que a diferença da retenção hídrica entre os TV tipo I e II, pode ser explicada por meio da observação *in loco*, através da qual foi possível verificar que no TV tipo I ocorreu maior aeração das raízes devido a estrutura da camada de drenagem ter

favorecido a presença de alguns espaços vazios. Desse modo, favorecendo o adensamento das raízes com mais O_2 disponível, ocasionando com isso maior absorção de água e sais minerais resultando no maior crescimento do vegetal e maior interceptação de água da chuva pelas folhas da grama. De acordo com Franco e Inforzato (1946), a boa aeração do solo, favorece o crescimento das raízes, que se subdividem abundantemente, resultando em uma superfície de absorção maior.

A Figura 21 compara a redução da vazão de pico de cheia dos telhados verdes extensivos em relação ao telhado convencional, o qual apresentou uma lâmina d'água de pico média de 0,54 L/min. O telhado verde tipo I registrou uma redução de vazão de pico média de 85,94%, correspondendo a uma lâmina d'água de pico média de 0,08 L/min, enquanto o telhado verde tipo II mostra uma redução na vazão de pico média de 80,18%, logo uma lâmina d'água de pico média de 0,11 L/min.

Figura 21: Vazões de Pico dos telhados verdes em função dos eventos analisados.



É pertinente afirmar que as vazões de pico medidas obtiveram menor dispersão entorno da média do TV Tipo I (Tabela 5). Diante disso, o desvio padrão do TV Tipo I foi o que mais se aproximou de zero, logo maior grau de homogeneidade da vazão de pico do TV Tipo I comparado ao TV Tipo II e telhado convencional. O TV Tipo I mostra que 95% da vazão de pico está dentro do intervalo de confiança de 0,05 L/min a 0,10 L/min com margem de erro de 0,014 L/min. Em seguida, o TV Tipo II com intervalo de confiança de 0,06 L/min a 0,15

L/min dentro da margem de erro de 0,023L/min. E o telhado convencional com intervalo de confiança de 0.27 L/min a 0.82 L/min e margem de erro igual a 0,140L/min (Tabela 5).

Tabela 5: Estatística das vazões de pico monitoradas em cada Telhado.

Estatística	TV I	TV II	TC
	(L/min)		
Média	0.08	0.11	0.54
Mínimo	0.020	0.040	0.100
Máximo	0.140	0.200	1.050
Variância	0.002	0.004	0.157
Desvio padrão	0.04	0.06	0.40
Erro padrão	0.014	0.023	0.140
Intervalo de confiança de 95%	0.05 a 0.10	0.06 a 0.15	0.27 a 0.82

Quanto à redução da vazão de pico, estudos realizados no Brasil por Tassi et al. (2014) e Araújo et al. (2014), além de estudos no âmbito internacional (BENGTSSON et al., 2005; CARTER e RASMUSSEN, 2006; VOYDE et al., 2010; FIORETTI et al., 2010; METSELAAR, 2012; STOVIN et al., 2012), indicam que os telhados verdes podem reduzir o escoamento na ordem de 40% a 89%. Portanto, a redução da vazão de pico apresentada pelos Telhados Verdes tipo I e II mostram-se compatíveis com a literatura disponível sobre o tema.

4.2. SISTEMAS METEOROLÓGICOS ATUANTES NOS EVENTOS DE CHUVA

As chuvas que ocorrem em Belém são moduladas por diferentes sistemas atmosféricos, que atuam em diferentes escalas, entre eles: Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Linhas de Instabilidade (LI), Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL) e Sistema Convectivo de Mesoescala (SCM). Dentre os 8 eventos de chuva monitorados nos telhados, foram detectados os seguintes sistemas meteorológicos (Tabela 6).

Tabela 6: Sistemas meteorológicos atuantes nos 8 eventos de chuva monitorados.

Data	Evento	Sistemas Meteorológicos	TVI Retenção %	TVII Retenção %	Volume Precipitado (mm)
20/09/2017	EV01	SCM formado a partir do escoamento do vento (em 850 hPa) combinado com energia disponível na baixa troposfera.	88%	83,87%	11
24, 25/09 e 27/09/2017	EV02, EV03 e EV04	Aglomerados convectivos de mesoescala desencadeados pelo padrão do escoamento do vento na baixa e alta troposfera.	95%, 95% e 86,54%	86%, 76,47% e 80,77%	5,2, 4,4 e 5,2
03 e 05/10/2017	EV05 e EV08	Aglomerados convectivos de mesoescala favorecidos pelas condições termodinâmicas presentes nos baixos níveis da troposfera.	67,38% e 83,72%	60,87% e 81,4%	5,2 e 9,4
08/10/2017	EV06	Aglomerado convectivo de mesoescala beneficiado pelo perfil termodinâmico da atmosfera combinado ao padrão do escoamento do vento em baixos e médios níveis.	37,5%	37,5%	3,2
11/10/2017	EV07	Linha de Instabilidade (Tipo I) favorecida pelo aquecimento diferencial entre oceano e superfície terrestre, além do escoamento do vento em 850 hPa.	65%	50%	2,6

No período chuvoso, período que vai de janeiro a abril, as chuvas são moduladas pela ZCIT e por sistemas meteorológicos de escala menor, que atuam mais efetivamente, favorecendo ocorrência de chuvas com volumes intensos. A ZCIT é uma banda de nebulosidade altamente convectiva de ordem planetária que acompanha o movimento aparente do Sol, que durante o verão no Hemisfério Sul posiciona-se sobre a região amazônica (Waliser e Jiang, 2014; Moura e Vitorino, 2012).

Por outro lado, no período menos chuvoso da região, as chuvas são predominantemente influenciadas pelas condições termodinâmicas favoráveis e por sistemas de mesoescala, os três principais sistemas precipitantes que atuam são: Lis, SCM e aglomerados convectivos de mesoescala. Ambos são compostos por aglomerados de nuvens de convecção profunda e podem ocorrer durante todo o ano. Para uma descrição completa e aprofundada sobre os

sistemas e suas características, analisar Cohen (1989), Machado et al. (1998) e Campos e Eichholz (2011).

4.3. CUSTO DOS TELHADOS VERDES

Na confecção da camada de drenagem do telhado verde tipo I, adotou-se a reutilização de material reciclável, o que permitiu reduzir o custo total do telhado. Assim, o m^2 da camada de drenagem do telhado verde tipo I apresentou custo total de R\$ 26,00. O custo da camada de impermeabilização, camada filtrante, camada de substrato e vegetação obtiveram valores de R\$ 54,00; R\$ 10,00; R\$ 35,00 e R\$ 7,10 respectivamente.

A camada de drenagem do telhado verde tipo II, a qual foi pré-fabricada pela empresa ECOTELHADO, apresentou custo total de R\$ 82,50 reais para 1 m^2 de área. Por seguinte, o custo da camada filtrante foi de R\$ 26,40, além do custo de R\$ 350,00 reais de frete cobrado na entrega dos módulos para cidade de Belém. A camada de impermeabilização, camada de substrato e de vegetação contabilizaram custos de R\$ 54,00, R\$ 35,00 e R\$ 7,10 reais, respectivamente. Por fim, o custo do telhado convencional foi de R\$ 68,00 reais o metro quadrado.

Diante disso, na Tabela 7 verifica-se que o custo do telhado verde tipo I foi menor que o telhado verde tipo II, ou seja, o custo inicial do telhado verde tipo I obteve uma redução de até 3 vezes comparado ao custo do telhado verde tipo II. Isso mostra que o custo de instalação do Telhado verde Tipo I, tornou-se mais viável economicamente devido adoção de material reciclável no processo de montagem do telhado. Entretanto, não foi contabilizado o custo de montagem desse tipo de telhado verde, o que se trata de uma limitação do presente trabalho.

Tabela 7: Custo total de Instalação.

Tipo	Custo (1m²)
TV Tipo I	R\$ 197,89
TV Tipo II	R\$ 620,79
Telhado Convencional	R\$ 68,00

Ainda sobre a Tabela 7, ambos os TV tipo I e TV tipo II apresentam custo inicial superior em até 3 e 9 vezes comparados ao telhado convencional, respectivamente. Em virtude disso, estudos mostram que a implantação de um telhado verde demanda um custo inicial 2 a 6 vezes superior ao de um telhado convencional (PATTERSON, 1998; ROSSETI et al. 2013). Mesmo considerando-se o uso de garrafas PET na estrutura do telhado verde tipo

I, este ainda apresentou um custo de instalação três vezes superior ao de um telhado convencional. Portanto, ressalta-se, que o alto investimento inicial de um telhado verde pode ser recuperado via:

- Redução no consumo energia elétrica, pois o uso da vegetação em telhados minimiza os efeitos da radiação solar no interior de residências e prédios proporcionando melhor conforto térmico e menor consumo de energia (COSTA; COELHO; PEREIRA, 2015; BEVILACQUA et al., 2016; WILLIAM et al., 2016);

- Redução do efeito de ilha de calor no meio urbano e redução do escoamento superficial, conforme apontado por Karteris et al. (2016) e Razzaghmanesh, Beecham e Salemi (2016); e

- O uso de garrafas Pet, que se justifica por apresentar lenta decomposição no meio ambiente, pois segundo estudo realizado por Vasconcelos (2007), o qual mostra que o tempo mínimo de decomposição de uma garrafa PET é de 100 anos. Sabe-se, que o ciclo de vida útil de um telhado verde dura em média entre 25 e 55 anos e o telhado convencional apenas 20 anos, conforme estudos realizados por Acks (2006), Clark, Adriaens e Talbot (2008), Chan e Chow (2013) e Peng e Jim (2015). Logo, a adoção da reutilização de garrafas PET na estrutura de um telhado verde não implica no tempo de vida útil do telhado, pois esse tempo é menor que o tempo mínimo de decomposição de uma garrafa PET. Portanto, a reutilização de garrafas PET em telhados verdes ajuda a retardar o seu descarte no meio ambiente, podendo gerar projetos de créditos de carbono, que compensariam o alto custo inicial dos telhados verdes.

5. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, os TV I e TV II mostram melhor desempenho quanto ao retardo do escoamento superficial em relação ao telhado convencional. Fica evidente que o TV I apresentou melhor capacidade de absorção de água da chuva em relação ao TV II. Dessa forma, a diferença na capacidade de retenção entre os telhados verdes está diretamente relacionada com a estrutura drenante adotada em cada telhado verde extensivo. Ressalta-se também que a redução da vazão de pico de cheia dos telhados verdes extensivos variou entre 80,18 a 85,94% respectivamente (TV II e TV I) comparados ao telhado convencional. Em relação ao custo do TV I apresentou menor custo de instalação comparado ao TV II. Entretanto, não foi contabilizado o custo de montagem do telhado verde, o que se trata de uma limitação do presente trabalho. Nesse contexto, é possível afirmar que o telhado verde pode contribuir significativamente para a redução da vazão de pico de cheias no ambiente urbano amazônico, e que o uso de materiais recicláveis na construção de telhados verdes mostra-se uma alternativa viável tanto ambientalmente como economicamente.

6. REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, L. E. Análise Estatística de Chuvas Intensas na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.23, n.2, 162-169, 2008.
- ARAÚJO, A. P. C. S et al. Balanço hídrico de sistema modular para telhado verde. **Enciclopédia biosfera, Centro Científico Conhecer. Goiânia**, v. 10, n. 18, p. 637-644, 2014.
- ALCAZAR, S. S.; OLIVIERI, F.; NEILA, J. Green roofs: Experimental and analytical study of its potential for urban microclimate regulation in Mediterranean–continental climates. **Urban Climate**, 2016.
- ACKS, K. A framework of cost-benefit analysis of green roofs: initial estimates, 2006. Disponível em: http://greenroofs.org/grtok/economic_browse.php?id=39&what=view, Acesso em 09 de Agos. 2016.
- AGUIAR, C.; FEDRIZZI, B. Telhados verdes na habitação de interesse social. **In: PUCRS (Pontifícia Universidade do Rio Grande do Sul), Congresso Internacional de Sustentabilidade e Habitação de Interesse Social. Porto Alegre. 2010.**
- ALMEIDA, A. S; VIEIRA, I. C. G. **Cenários para a Amazônia Área de Endemismo Belém**, 2013.
- BACOVIS, T. M.; NAGALLI, A. Avaliação do desempenho hidrológico de protótipo de telhado verde extensivo. **Rev. Acad., Ciênc. Agrár. Ambient.** Curitiba, v. 11, Supl. 1, p. 35-42, 2013.
- BEATRICE, C. C.; VECCHIA, F. Avaliação do potencial de uso de três espécies vegetais como cobertura leve de telhados em edificações. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 5, n. 1, p. 5-24, 2011.
- BEIJO, L. A.; MUNIZ, J. A.; VOLPE, C. A.; PEREIRA, G. T. Estudo da precipitação máxima em Jaboticabal, SP, pela distribuição de Gumbel utilizando dois métodos de estimação dos parâmetros. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.11, n.1, p.141-147, 2003.
- BERARDI, U.; HOSEINI, A.; HOSEINI, A. State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs. **Applied Energy**, v. 115, p. 411-428, 2014.
- BEVILACQUA, P. et al. Experimental investigation of the thermal performances of an extensive green roof in the Mediterranean area. **Energy and Buildings**, v. 122, p. 63-79, 2016.
- BENGTSSON, L.; GRAHN, L.; OLSSON, J. Hydrological function of a thin extensive green roof in southern Sweden. **Hydrology Research**, v. 36, n. 3, p. 259-268, 2005.
- BIANCHINI, F.; HEWAGE, K. How “green” are the green roofs? Lifecycle analysis of green roof materials. **Building and Environment**, v. 48, p. 57-65, 2012.

BOTELHO, R. G. M. Bacias hidrográficas urbanas. In: Geomorfologia urbana. A. J. T. GUERRA (orgs.). Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

BRANCO, V. T. A. et al. Caracterização morfológica de quatro espécies do gênero *Paspalum*. In: II Congresso Brasileiro de Recursos Genéticos, Belém, PA, 2012.

BRENNEISEN, S. Green Roofs-How nature returns to the city. In: **International Conference on Urban Horticulture**, v. 643. p. 289-293, 2002.

BRISTOT, R. I.; ÁLVARO, J. B. **Estudo da viabilidade técnica e econômica do emprego de água proveniente de chuvas na avicultura**, 2013.

BRASIL, SANTA CATARINA. **LEI Nº 14.243, de 11 de dezembro de 2007**. Disponível em: <www.leisestaduais.com.br>, Acesso: 18 de jul. 2016.

BLUME, T.; ZEHE, E.; BRONSTERT, A. Rainfall—runoff response, event-based runoff coefficients and hydrograph separation. **Hydrological Sciences Journal**, v. 52, n. 5, p. 843-862, 2007.

CAMPOS, C. R. J.; EICHHOLZ, C. W. Características físicas dos Sistemas Convectivos de Mesoescala que afetaram o Rio Grande do Sul no período de 2004 a 2008. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 29, n. 2, p. 331-345, 2011.

CARTER, T. L.; RASMUSSEN, T. C. Hydrologic Behavior of Vegetated Roofs. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 42, n. 5, p. 1261, 2006.

CARTER, T.; JACKSON, C. R. Vegetated roofs for stormwater management at multiple special scales. **Landscape and Urban Planning**, v. 80, p. 84-94. 2007.

CARBONE, M. et al. A conceptual model for predicting hydraulic behaviour of a green roof. **Procedia Engineering**, v. 70, p. 266 – 274. 2014.

CASTRO, A. S.; GOLDENFUM, J. A. Uso de telhados verdes no controle quantitativo do escoamento superficial urbano. Agosto de 2008. **Revista Atitude**, v. 4, n. 7, p. 75-81, 2010.

CALIL, V. S.; BERNARDI, E. C. S.; RIGHES, A. A. Impacto da utilização de telhados verdes no escoamento superficial do Arroio Esperança em Santa Maria-RS. **Disciplinarum Scientia| Naturais e Tecnológicas**, v. 15, n. 1, p. 1-16, 2014.

CHAN, A. L. S.; CHOW, T. T. Energy and economic performance of green roof system under future climatic conditions in Hong Kong. **Energy and Buildings**, v. 64, p. 182-198, 2013.

CAPAZ, R. S.; NOGUEIRA, L. A. H. **Ciências ambientais para engenharia**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014. 354 p.

CHENANI, S. B.; LEHVÄVIRTA, S.; HÄKKINEN, T. Life cycle assessment of layers of green roofs. **Journal of Cleaner Production**, v. 90, p. 153-162, 2015.

COHEN, J. C. P. **Um estudo observacional de linhas de instabilidade na Amazônia**. 1989. Tese de Doutorado. INPE.

FRANCO, C. M.; INFORZANO, R. O sistema radicular do cafeeiro nos principais tipos de solo do estado de São Paulo. **Bragantina**, Vol. 6, nº 9, 1946.

CORTÉS, C. F.; CASTILLO, C. A. D. Mejora de las condiciones de habitabilidad y del cambio climático a partir de ecotechos extensivos. v. 4, n. 8, 2011.

COSTA, J.; COSTA, A.; POLETO, C. Telhado Verde: redução e retardo do escoamento superficial. **Revista de Estudos Ambientais**, v. 14, n. 2, edição especial, p. 50-56, 2012.

COSTA, B. S; COELHO, G. F.; PEREIRA, D. R. Estudo da influência do telhado verde, como material empregado em construção, sobre a temperatura. **In: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA**, Fortaleza. 2015.

COSTA, N. V. et al. Efeito do trinexapac-ethyl na anatomia foliar de quatro espécies de grama. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 28, n. 3, p. 551-560, 2010.

CRUCIANI, D. E.; MACHADO, R. E.; SENTELHAS, P. C. Modelos da distribuição temporal de chuvas intensas em Piracicaba, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 1, p. 76-82, 2002. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-43662002000100014&script=sci_arttext>. Acesso em 31 mai. 2016.

CLARK, C; ADRIAENS, P; TALBOT, F. B. Green roof valuation: a probabilistic economic analysis of environmental benefits. **Environmental science & technology**, v. 42, n. 6, 2008.

DANTAS, G. T. IPTU Verde e o Direito à Cidade Sustentável. **Revista do Programa de Pós-Graduação em Direito**, v. 24, n. 26, 2014.

D'AVILA, M.R; PERALTA, Ê; S.; FRITSCHER, J. P. C. **Cobertura Vegetal: desenvolvimento e produção da tecnologia Telhado Vivo**. Congresso internacional sustentabilidade e habitação de interesse social. Porto Alegre, 04 a 07 de maio de 2010.

DENVER. **IMPERMANTA TELHADO, Manta asfáltica aluminizada para impermeabilização**. Rev. 00, 2003. Disponível em: <<http://www.denverimper.com.br/files/produtos/0000001-0000500/90/2baed0feb3e1fcf812ed6b790e77fc8f.pdf>>. Acesso em: 16 de jun. 2016.

DERNOEDEN, P. H., Planting and care of a zoysiagrass lawn. Home & Garden, Maryland Cooperative extension, **Univ. of Maryland**, Rev 2/99, p. 4, 1999.

ECOTELHADO, (2016). Informações: Produtos. Disponível em: <<http://www.ecotelhado.com.br/>>. Acesso em: 01 de jul. 2016.

VASCONCELOS, Y. FAPESP. ed. nº 135, p. 76 - 77, 2007.

FRANÇA., L. C. J. O uso do telhado verde como alternativa sustentável aos centros urbanos: opção viável para a sociedade moderna do século XXI. **Revista Húmus**, v. 2, n. 4, 2012.

FISHER, M.J.; CRUZ, P. Some ecophysiological aspects of *Arachis pintoi*. In: KERRIDGE, P.C.; HARDY, B. (Eds.) **Biology and agronomy of forage Arachis**. Cali: CIAT. p.53-70, 1994.

FREITAS, F. C. L. et al. Efeitos do Trinexapac-Ethyl sobre o crescimento e florescimento da grama-batatais. **Planta Daninha**, v. 20, n. 3, p. 477-486, 2002.

FIORETTI R.; PALLA A.; LANZA L G, PRINCIPI P. Green roof energy and water related performance in the Mediterranean climate. **Building and Environment**, v. 45, n. 8, p. 1890-1904, 2010

GAROTTI, L. M.; BARBASSA, A. P. Estimativa de área impermeabilizada diretamente conectada e sua utilização como coeficiente de escoamento superficial. **Eng. Sanit. Ambient**, v. 15, n. 1, p. 19-28, 2010.

GETTER, K. L.; ROWE, D. B. The role of extensive green roofs in sustainable development. **HortScience**, v. 41, n. 5, p. 1276-1285, 2006.

GITMAN, L. J. Princípios da Administração Financeira. **Prentice-Hall**, 10ª ed. São Paulo-SP, 2004.

GONÇALVES, M.; POLIDORO, M.; SILVA, D. F. Análise dos índices de impermeabilização do solo utilizando Geoprocessamento: proposta de atualização do decreto nº. 402/1980 para projetos de drenagem no município de Londrina-PR. **In. II Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul**, 2009.

GURGEL, R.A.G. Principais espécies e variedades de grama. In: SIMPÓSIO SOBRE GRAMADOS, 1, Botucatu. Produção, implantação e manutenção: **Anais**. Botucatu: Departamento de Recursos Naturais, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 2003.

Hakimdavar, R. et al. Scale dynamics of extensive green roofs: Quantifying the effect of drainage area and rainfall characteristics on observed and modeled green roof hydrologic performance. **Ecological Engineering**, v. 73, p. 494-508, 2014.

HUANG, Y.; CHEN, C.; TSAI, Y. Reduction of temperatures and temperature fluctuations by hydroponic green roofs in a subtropical urban climate. **Energy and Buildings**, v. 129, p. 174-185, 2016.

INÁCIO, A. R. et al. Dimensionamento de um Sistema de Captação de Água Pluvial Para uso Doméstico em São Bernardo do Campo-SP. **InterfacEHS-Revista de Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 8, n. 2, 2013.

International Green Roof Association-IGRA. Green Roof NEWS. **Issue**, v. 1, 2016.

INMET. Chuva Acumulada Mensal X Chuva (Normal Climatológica 61-90). Disponível: < http://www.inmet.gov.br/sim/abre_graficos.php >. Acesso em: 10/12/2018.

JIMÉNEZ, E. I. T.; CASTREJÓN, A. F.; SÁNCHEZ, M. G. Criteria for Selection of Plant Species for its Deployment in Thermally Efficient Architectural Green Roofs in the Metropolitan Area of Mexico City: Methodological Guidelines. **Energy Procedia**, v. 57, p. 1798-1807, 2014.

JUNIOR, A. A. M.; SILVA, S. A.O; LEITE, R. R Montagem de um telhado verde com a utilização de materiais de baixo custo. **In.** III Seminário Nacional de Educação profissional e Tecnológica-SENEPT, CEFET-MG, Belo Horizonte, 2011.

JÚNIOR, G. B. M.; CONTINI, E.; NAVARRO, Z. **Caracterização da Amazônia Legal e macrotendências do ambiente externo.** Brasília, DF: Embrapa Estudos e Capacitação, 2011.

JÚNIOR, J. A. S. et al. Variabilidade espacial do conforto térmico e a segregação social do espaço urbano na Cidade de Belém, PA. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 4, 2013.

JUSTINO, E. A.; PAULA, H. M.; PAIVA, E. C. R. Análise do efeito da impermeabilização dos solos urbanos na drenagem de água pluvial do município de Uberlândia-MG. **Espaço em Revista**, v. 13, n. 2, 2012.

JR, E. F. C.; GÓIS, J. A. Eficiência Energética em um Escritório Modelo Sustentável: O Caso do Escritório Verde da UTFPR. **In.** 3º Simpósio Brasileiro de Design Sustentável (III SBDS) Rede Brasil de Design Sustentável – RBDS, Recife, Brasil, 2011.

JR, A. A. O; NETO, P. A; MENDIONDO, E. M. Análise da Retenção Hídrica em Telhados Verdes a Partir da Eficiência do Coeficiente de Escoamento. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos –RBRH**, V. 19, n. 2, p. 41-52, 2014.

LAAR, M. et al. Estudo de aplicação de plantas em telhados vivos extensivos em cidades de clima tropical. **Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído-ENCAC**, v. 6, 2001.

LEMAIRE, F. Physical, chemical and biological properties of growing medium. **Acta Horticulturae, Wageningen**, n.396, p.273-284, 1995.

Leis Municipais, 2014 Disponível em: < https://leismunicipais.com.br/noticias/2014/08/desconto-no-iptu-atraves-da-lei-iptu-verde.html?utm_source=widget_sociedade&utm_medium=display&utm_content=Mat%C3%A9rias%20mais%20acessadas&utm_campaign=widget-sociedade >; Acesso em: 18 de jul. 2016.

LIU, K. Engineering performance of rooftop gardens through field evaluation. **Proc. of the 18th International Convention of the Roof Consultants Institute.** p. 93–103, 2003.

LIU, Y.B.; SMEDT, F. WetSpa Extension, A GIS-based Hydrologic Model for Flood Prediction and Watershed Management. **Documentation and User Manual.** 2004. 126p. Disponível em: < http://www.vub.ac.be/WetSpa/downloads/WetSpa_manual.pdf>; Acesso em: 13 de set. 2016.

LOCATELLIA, L. et al. Modelling of green roof hydrological performance for urban drainage applications. **Journal of Hydrology**, v. 519, p. 3237–3248, 2014.

LODI, P. C.; BUENO, B. S.; ZORNBERG, J. G. Avaliação da degradação de geomembranas de polietileno de alta densidade (PEAD) e de poli (Cloro de Vinila) (PVC) utilizando análise termogravimétrica. **Revista Iberoamericana de Polímeros**, v. 10, n. 2, p. 110-118, 2009.

LORENZI, H.; SOUZA, H.M. Plantas ornamentais do Brasil: arbustivas, herbáceas e trepadeiras. 3. ed. Nova Odessa: **Instituto Plantarum**, 1088p, 2001.

LOGSDON, N. B. – Estruturas de madeira para coberturas, sob a ótica da NBR 7190/1997. Faculdade de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, MT. 2002.

LIMA, J.A; PINTO, J.C.; EVANGELISTA, A.R. et al. **Amendoim forrageiro (Arachis pintoi Krapov. & Greg)**. UFLA/CNPq, 2003.

LUDWIG, R. L, et al. ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, **Centro Científico Conhecer** - Goiânia, vol.6, n.11. p.5 2010.

LUZ, L. M. et al. Estudo Geoambiental em Bacias Urbanas em Belém-PA. **Boletim Amazônico de Geografia**, v. 01, n. 02, p. 145-160, 2014.

MACIVOR, J. S.; LUNDHOLM, J. Performance evaluation of native plants suited to extensive green roof conditions in a maritime climate. **Ecological Engineering**, v. 37, n. 3, p. 407-417, 2011.

MACHADO, L. A. T. et al. Life cycle variations of mesoscale convective systems over the Americas. **Monthly Weather Review**, v. 126, n. 6, p. 1630-1654, 1998.

MARINHO, D. T. **Desempenho termo energético da utilização de telhado vegetal em edificação no clima Amazônico**. 2013. 125f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará-UFPA, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo do Instituto de Tecnologia da UFPA. PA, 2013.

MARTINS, J. R. S. Gestão da drenagem urbana: só tecnologia será suficiente? **Artigo Científico**, v. 1, p. 11, 2012.

MARY, W. et al. Tecnologias alternativas de produção vegetal em telhados verdes em áreas de interesse social. **Revista Conexão UEPG**, v. 6, n. 1, p. 60-67, 2010.

MECHELEN, C. V.; DUTOIT, T.; HERMY, M. Mediterranean open habitat vegetation offers great potential for extensive green roof design. **Landscape and Urban Planning**, v. 121, p. 81-91, 2014.

MELESSE, A.M.; Shih, S.F. Spatially distributed storm runoff depth estimation using Landsat images and GIS. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 37, n. 1-3, p. 173-183, 2002.

METSELAAR, K. Water retention and evapotranspiration of green roofs and possible natural vegetation types. **Resources, conservation and recycling**, v. 64, p. 49-55, 2012.

MINKE, G. Techos verdes, Planificación, ejecución, consejos practicos. Editorial Fin de siglo, Montevideo, Uruguay, 2004. ISBN 9974-49-323-4.

MIKLÓS, O. **Green roofs**. SZIU-Ybl Miklós School of Building Sciences, 1998. Disponível em:
<http://iti.vgtu.lt/sure/Media/Default/Supplementary_information/Roger4Students/Green%20roofs.pdf>. Acesso em: 10 de jul. de 2016.

MILITO, J. A. Técnicas de construção civil e construção de edifícios. **Faculdade de Ciências Tecnológicas da PU Campinas**. 2004.

MCINTYRE, L.; SNODGRASS, E. C. **The green roof manual: a professional guide to design, installation, and maintenance**. Timber Press, 2010.

MOURA, M. N.; VITORINO, M. I. Variabilidade da Precipitação em Tempo-Escala Associada à Zona de Convergência Intertropical. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 4, 2012.

MOREIRA, H. J. C. Manual de identificação de plantas infestantes: hortifrúti / Henrique José da Costa Moreira, Horlandezan Belirdes Nippes Bragança – São Paulo: **FMC Agricultural Products**, p.1017, 2011.

MORGAN, R. P. C. et al. The European Soil Erosion Model (EUROSEM): **Documentation and user guide**. Version 3.6. Silsoe. 1998. 124p. Disponível em:
<<https://core.ac.uk/download/pdf/70066.pdf>>; Acesso em: 13 de set. 2016.

MORUZZI, R. B.; MOURA, C. C. de; BARBASSA, A. P. Avaliação do efeito da inclinação e umidade antecedente na qualidade e quantidade das parcelas escoadas, percoladas e armazenadas em telhado verde extensivo. **Ambiente Construído**, v. 14, n. 3, p. 59-73, 2014.

MCMARLIN, R. M. Green roofs: not your garden-variety amenity. **Facilities Design and Management**, v. 16, n. 10, p. 32, 1997.

NAGASE, A.; DUNNETT, N. The relationship between percentage of organic matter in substrate and plant growth in extensive green roofs. **Landscape and Urban Planning**, v. 103, n. 2, p. 230-236, 2011.

NRCS – Natural Resources Conservation Service: US Department of Agriculture (USDA), Urban Hydrology for small watersheds, Technical Release 55 (TR-55), 2nd Edn., **Natural Resources Conservation Service**, Conservation Engineering Division, USA, 1986.

NRCA - National Roofing Contractors Association. **Green Roof Systems Manual**, 2007. Disponível em:< <http://www.nrca.net/>>. Acesso em: 29 de mar. de 2017.

NETO, F. L.; TASSI, R. Resposta Hidrológica da Implementação de Telhados Verdes em Pequena Escala. **In. XII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE**. Natal –

RN, 2014. ISSN 2359-1900. Disponível em: <<http://www.abrh.org.br/xiisrhn/anais/papers/PAP018221.pdf>>; Acesso em: 06 de jul. 2016.

OHNUMA Jr, A. A., ALMEIDA, N. P. De, & Mendiondo, E. M. Análise da Retenção Hídrica em Telhados Verdes a Partir da Eficiência do Coeficiente de Escoamento. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 19(August), 41–52, 2014.

ONDOÑO, S.; MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, J. J.; MORENO, J. L. The composition and depth of green roof substrates affect the growth of *Silene vulgaris* and *Lagurus ovatus* species and the C and N sequestration under two irrigation conditions. **Journal of environmental management**, v. 166, p. 330-340, 2016.

OLAYA, L. et al. Evaluación del comportamiento sísmico de viviendas de estratos marginales con cubiertas verdes: estudio de caso del municipio de Soacha, Colombia. **Revista ingeniería de construcción**, v. 29, n. 1, p. 98-114, 2014.

PANZIERA, A. G; Calil, V. S; AMARAL, F. D; SWAROWSKY, A. Desempenho de diferentes tipos de telhado verde no conforto térmico urbano na cidade de Santa Maria, RS. **Disciplinarum Scientia Naturais e Tecnológicas**, v. 16, n. 3, p. 445-457, 2015.

PATTERSON, M. What color green? **Buildings**, v. 92, n. 5, p. 80–82, 1998.

PATIL, J. P. et al. Evaluation of modified CN methods for watershed runoff estimation using a GIS-based interface. **Biosystems Engineering**, v. 100, n. 1, p. 137-146, 2008.

PENG, L. L. H.; JIM, C. Y. Economic evaluation of green-roof environmental benefits in the context of climate change: The case of Hong Kong. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 14, n. 3, p. 554-561, 2015.

PEREIRA, A. R. **Como selecionar plantas para áreas degradadas e controle de erosão**. 2. ed. rev. e amp. Belo Horizonte: Ed. FAPI, 2008. ISBN: 8590614719. Disponível em:<<http://deflor.com.br/pdf/LivroSEAD.pdf>>; Acesso em: 21 de jun. 2016.

PECK, S. W; KUHN, M. Design guidelines for green roofs. **Ontario Association of Architects**, 2003.

PÉREZ, G. et al. Use of rubber crumbs as drainage layer in green roofs as potential energy improvement material. **Applied energy**, v. 97, p. 347-354, 2012.

PERUCHI, F. **Evapotranspiração real a partir de medidas lisimétricas e sob diferentes Condições de disponibilidade hídrica**. 2009. 141f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

PINHEIRO, R.V.L. **Estudo hidrodinâmico e sedimentológico do estuário Guajará- Belém (PA)**. Belém: **Universidade Federal do Pará**. 1987. 152f. (Dissertação de Mestrado). Centro de Geociências.

PONCE, V.M. e HAWKINS, R.H. Runoff curve number: has it reached maturity? **Journal of Hydrologic Engineering**. v.1, p. 11–19, 1996.

PORTO, R. M. Uso conjunto dos métodos racional e do “Soil Conservation Service” na determinação da vazão de projeto em bacias urbanas. **REVISTA DAE**. v. 47, n. 148, p. 37, 1987.

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

RAZZAGHMANESH, M.; BEECHAM, S.; SALEMI, T. The role of green roofs in mitigating Urban Heat Island effects in the metropolitan area of Adelaide, South Australia. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 15, p. 89-102, 2016.

REDA, A. L. L.; TANZILLO, A. A.; COSTA, G. B. TELHADOS VERDES: Uma proposta econômica em busca do desenvolvimento urbano sustentável. **In**. Congresso Brasileiro de Avaliação de Impacto, 2012.

REIS, P. E. et al. O Escoamento Superficial como Condicionante de Inundações em Belo Horizonte, MG: Estudo de caso da sub-bacia Córrego do Leitão, Bacia do Ribeirão Arrudas. **Rev. Geociências**, São Paulo, UNESP. v. 31, n. 1, p. 31-46, 2012.

REIS, D. H.; CARVALHO, E. R. C. Estudo Comparativo sobre os Benefícios Econômicos e ambientais do Telhado Verde e do Telhado Convencional. **In**. XVI Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, XII Encontro Latino Americano de Pós-Graduação e VI Encontro Latino Americano de Iniciação Científica Júnior - Universidade do Vale do Paraíba, 2012.

RINCÓN, L. et al. Environmental performance of recycled rubber as drainage layer in extensive green roofs. A comparative Life Cycle Assessment. **Building and Environment**, v. 74, p. 22-30, 2014.

RIBEIRO, M. F.; CASTRO, A. A. Políticas Públicas e os Novos Rumos para as Construções Verdes. **REVISTA CIENTÍFICA SENSUS-DIREITO**, v. 1, n. 8, p. 55-78, 2014.

RODRIGUES, I.M.C.et al. Ocorrência de Plantas Daninhas no Cultivo de Bromélias. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v.25, n. 4, p. 727-733, 2007.

RODRIGUES, E. **Técnica das Construções: Cobertura**. Rio de Janeiro: UFRRJ, 2006.

ROSSETI, K. A. C. et al. Abordagem sobre as barreiras e benefícios da utilização do sistema de telhado verde em áreas urbanas de regiões tropicais. **Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium**, v. 4, n. 1, p. 55-77, 2013.

SANDOVAL, V. et al. Impact of the Properties of a Green Roof Substrate on its Hydraulic and Thermal Behavior. **Energy Procedia**, v. 78, p. 1177-1182, 2015.

SANTOS, M. F. N. et al. Importância da avaliação do ciclo de vida na análise de produtos: possíveis aplicações na construção civil. **Revista GEPROS**, n. 2, p. 57-73, 2011.

SANTOS. P. T. S. et al. Telhado Verde: desempenho do sistema construtivo na redução do escoamento superficial. **Ambiente Construído, Porto Alegre**, v. 13, n. 1, p. 161-174, 2013.

SILVA, T. F.; PAIVA, A. L. R. SANTOS, S. M. Capacidade de Retenção de Água em um Telhado Verde: Estudo de Caso em Caruaru. **In.** XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Brasília-DF, 2015. Disponível em: < http://www.evolvedoc.com.br/sbrh/detalhes-791_capacidade-de-retencao-de-agua-em-um-telhado-verde-estudo-de-caso-em-caruaru>; Acesso em: 22 de jul. 2016.

SILVA, M. L.; FONTES, A. A. Discussão sobre os critérios de avaliação econômica: valor presente líquido (VPL), valor anual equivalente (VAE) e valor esperado da terra (VET). **Revista Árvore**, v. 29, n. 6, p. 931-936, 2005.

SILVA, Dione Galvão da. et al. Crescimento de mudas de hortaliças em substratos orgânicos. **Cadernos de Agroecologia** – ISSN 2236-7934 – Anais do VI CLAA, X CBA e V SEMDF – Vol. 13, Nº 1, Jul. 2018.

SOUZA, F. C.; PASCOAL, I. R.; BOASQUIVES, V. B. **IMPERMEABILIZAÇÃO DE LAJES COM USO DE MANTA ASFÁLTICA: Estudo de caso no tratamento de infiltração em laje de cobertura.** 2011. 116f. Trabalho de Graduação em Engenharia Civil – Universidade Vale do Rio Doce. 2011.

SOUZA, C. F.; CRUZ, M. A. S.; TUCCI, C. E. M. Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto: Planejamento e Tecnologias Verdes para a Sustentabilidade das Águas Urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 17, n. 2, p. 9-18, 2012.

STAHLHÖFER, I. S.; PEREIRA, M. F. B. Políticas Públicas de Implementação de Coberturas Verdes: O Projeto De Lei Nº 115/2009 da Câmara De Vereadores de São Paulo. **Revista Eletrônica do Curso de Direito da UFSM**, v. 8, p. 386-398. 2013.

STOVIN, V.; VESUVIANO, G.; KASMIN, H. The hydrological performance of a green roof test bed under UK climatic conditions. **Journal of Hydrology**, v. 414, p. 148-161, 2012.

SVIECH, V.; MANTOVAN, E. A. Análise de investimentos: controvérsias na utilização da TIR e VPL na comparação de projetos. **Percursos**, v. 13, n. 1, p. 270-298, 2013.

TASSI, R. et al. Telhado verde: uma alternativa sustentável para a gestão das águas pluviais. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 139-154, 2014.

TAVARES, J. P. N. Enchentes repentinas na cidade de Belém-PA: condições climáticas associadas e impactos sociais no ano de 1987. **Caminhos de Geografia**, v. 9, n. 28, 2009.

TUCCI, C. E. M. Modelos Hidrológicos. 2. Ed. Porto Alegre: **ABRH**, 2005. 678 p.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia Ciência e Aplicação.** 4ª Edição - Porto Alegre: Editora da UFRGS/ ABRH. Cap. 6, p. 243-249, 2012.

VERA, S. et al. Influence of Plant and Substrate Characteristics of Vegetated Roofs on a Supermarket Energy Performance Located in a Semiarid Climate. **Energy Procedia**, v. 78, p. 1171-1176, 2015.

VILA, A. et al. Use of rubber crumbs as drainage layer in experimental green roofs. **Building and Environment**, v. 48, p. 101-106, 2011.

VISENTIN, T. G.; NECKEL, A.; BREDI, A. Telhados verdes como um meio sustentável nas cidades: Propostas recicláveis de produção. **In.** VI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, Porto Alegre-RS, IBEAS – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais, 2015.

VIJAYARAGHAVAN, K.; JOSHI, U. M. Application of seaweed as substrate additive in green roofs: Enhancement of water retention and sorption capacity. **Landscape and Urban Planning**, v. 143, p. 25-32, 2015.

VIRK, G., JANSZ, A., MAVROGIANNI, A., MYLONA, A., STOCKER, J; DAVIES, M. Microclimatic effects of green and cool roofs in London and their impacts on energy use for a typical office building. **Energy and Buildings**, v. 88, p. 214-228, 2015.

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

XU, T. et al. Quantifying the direct benefits of cool roofs in an urban setting: Reduced cooling energy use and lowered greenhouse gas emissions. **Building and Environment**, v. 48, p. 1-6, 2012.

KARTERIS, M. et al. Towards a green sustainable strategy for Mediterranean cities: Assessing the benefits of large-scale green roofs implementation in Thessaloniki, Northern Greece, using environmental modelling, GIS and very high spatial resolution remote sensing data. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 58, p.510–525, 2016.

KOJOROSKI-SILVA, C. M. et al. Desenvolvimento morfológico das gramas Esmeralda, São Carlos e Tifton 419. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 3, p. 471-477, 2011.

KÖPPEN, W. et al. Das geographische System der Klimate (Handbuch der Klimatologie, Bd. 1, Teil C). **Borntraeger Science publishers**, 1936.

Yocca, D. Chicago City Hall Green Roof, Chicago, Illinois. (2002). Disponível em: <<https://www.asla.org/meetings/awards/awds02/chicagocityhall.html>> Acesso: 25 de Mai de 2016:

YUAN, YONGPING et al. Initial abstraction and curve numbers for semiarid watersheds in Southeastern Arizona. **Hydrological processes**, v. 28, p. 774–783, 2014.

WALISER, D. E.; JIANG, X. TROPICAL METEOROLOGY AND CLIMATE: Intertropical Convergence Zone. 2014. DOI: 10.1016/B978-0-12-382225-3.00417-5.

WATRIN, O. S. et al. **Base de Dados Geográficos como Subsídio à Gestão Territorial na Fazenda Experimental da Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA.** Embrapa Amazônia Oriental. Belém, PA, 2011.

WILLIAM, R. et al. An environmental cost-benefit analysis of alternative green roofing strategies. **Ecological Engineering**, v. 95, p. 1-9, 2016.

WHITTINGHILL, L. J; ROWE, D. B; SCHUTZKI, R; CREGG, B. M. Quantifying carbon sequestration of various green roof and ornamental landscape systems. **Landscape and Urban Planning**, v. 123, p. 41-48, 2014.

WOOLHISER, D. A. et al. A kinematic runoff and erosion model: documentation and user manual. **USDA - Agricultural Research Service**, ARS-77. 1990. 130p.

WONG, Nyuk Hien et al. Life cycle cost analysis of rooftop gardens in Singapore. **Building and environment**, v. 38, n. 3, p. 499-509, 2003.

ZHENG, G et al. Application of improved grey relational projection method to evaluate sustainable building envelope performance. **Applied Energy**, v. 87, n. 2, p. 710-720, 2010.